



Regione Lazio
Comune di Anzio (RM)



CAPO D'ANZIO S.p.A.
C.D.M. n. 6586/2011

PROGETTAZIONE ESECUTIVA
FASE 2 - ADEGUAMENTO DARSENA NORD

Proponente:



Marina di
Capo d'Anzio

Presidente:
Luigi D'Arpino

A.D.:
Ing. Enrico Aliotti

Titolo elaborato:

OPERE MARITTIME
RELAZIONE DI CALCOLO
OPERE A GETTATA

Progettazione:



Marinedi S.r.l.

Ing. Renato Marconi

Arch. Vittoria Biego

Dott.ssa in G.P.E. Dionisia Poulacos



**Regione Lazio
Comune di Anzio (RM)**

Proponente: Capo d'Anzio S.p.A.

Progettazione: Marinedi S.r.l.

Capo d'Anzio S.p.A.

C.D.M n. 6586/2011

**PROGETTAZIONE ESECUTIVA
FASE 2
ADEGUAMENTO DARSENA NORD**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

INDICE

1.	PREMESSA.....	4
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
2.1	Azioni sulle costruzioni.....	5
2.2	Terreni, rocce, opere di sostegno e di fondazione	6
2.3	Elaborati tecnici.....	7
3.	MATERIALI	8
3.1	Calcestruzzo strutturale e non strutturale	8
3.2	Terreni.....	8
4.	CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO	9
4.1	Tempo di Ritorno per il calcolo dell'onda di progetto	9
4.2	Caratteristiche del moto ondoso in acque profonde	11
4.3	Caratteristiche del moto ondoso a ridosso delle opere	13
4.4	Pressioni indotte dal moto ondoso sui muri paraonde	16
4.4.1	Primo picco - Dynamic Pressures	16
4.4.2	Secondo Picco – Reflecting Pressures	19
4.4.3	Pressioni di up-lift	20
4.4.4	Calcolo delle spinte idrodinamiche sul muro paraonde della diga di sopraflutto... 	21
5.	VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO.....	23
5.1	Coefficienti parziali adottati per le azioni, per le resistenze e per le verifiche	24
5.1.1	Muro paraonde – Stato Limite Ultimo	25
5.2	Verifiche di stabilità.....	26

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

5.2.1	Verifiche alla traslazione.....	26
5.2.2	Verifiche al ribaltamento	27
5.2.3	Verifiche della capacità portante in condizioni drenate	27
6.	DIGA DI SOTTOFLUTTO	29
6.1	Nucleo.....	31
6.2	Dimensionamento della mantellata esterna in massi naturali	31
6.3	Strato filtro	38
6.4	Quote di progetto	39
6.4.1.1	Valutazione del run-up	39
6.4.1.2	Determinazione dell'overtopping.....	41
6.5	Verifiche del muro paraonde.....	44
6.5.1	Verifiche SLU	44
6.5.1.1	Verifica a scorrimento: Approccio 1 – Combinazione 1 (A1+M1+R1)	47
6.5.1.2	Verifica a scorrimento: Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2)	49
6.5.1.3	Verifiche al ribaltamento: Combinazione AEQU+M2.....	51
6.5.1.4	Verifica capacità portante: Approccio 2 – Combinazione (A1+M1+R3)	52
	ALLEGATO 1	56
	ALLEGATO 2	148

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

1. PREMESSA

Il presente elaborato costituisce la Relazione di calcolo delle opere a gettata del progetto esecutivo della Fase 2, Adeguamento della Darsena Nord del Marina di Anzio.

Le analisi effettuate si riferiscono a quelle sezioni che presentano le condizioni di carico più gravose e pertanto la verifica delle stesse può essere estesa a tutte le sezioni di uguale geometria, anche sottoposte ad azioni inferiori.

Per le verifiche di stabilità delle nuove banchine si rimanda alla “RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA, IDRAULICA, IDROGEOLOGICA, SEDIMENTOLOGICA E SISMICA” del progetto definitivo a suo tempo approvato.

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione delle opere in oggetto è condotta nel rispetto delle seguenti norme:

2.1 Azioni sulle costruzioni

2.1 Azioni sulle costruzioni

- **D.M. 14 Gennaio 2008**
Norme tecniche sulle costruzioni

- **UNI EN 1998-5 DEL 01/01/2005**
Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

- **O.P. Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 e succ. agg.**
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica

- **Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP. Serv. Tecn. Centrale, 12/1996**
Linee guida sul calcestruzzo strutturale

- **D.M. LL.PP. del 16/01/1996 e succ. agg.**
Norme tecniche per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi. Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- **D.M. LL.PP. del 09/01/1996**
Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- **Circ.Min. LL.PP. del 24/06/1993, n° 37406/STC**
Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche, di cui al D.M. 14/02/1992.

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

- **D.M. LL.PP. del 14/02/1992**
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- **D.M. LL.PP. del 03/12/1987**
Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate.
- **D.M. LL.PP. del 12/02/1982**
Aggiornamento delle norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni, dei carichi e sovraccarichi.
- **Circ.Min. LL.PP. del 24/05/1982, n° 22631**
Istruzioni relative ai carichi, ai sovraccarichi ed ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni.
- **Circolare Min. LL.PP. n. 11951 14/02/1974**
Istruzioni per l'applicazione delle "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica."
- **Legge del 05/11/1971, n° 1086**
Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

2.2 Terreni, rocce, opere di sostegno e di fondazione

- **D.M. LL.PP: del 11/03/1988**

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

▪ **Circ.Min.LL.PP. del 24/09/1988, n° 30483**

Ministero LL.PP. Legge 02/02/1974, n° 64 art. 1 – D.M.LL.PP. 11/03/1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

2.3 Elaborati tecnici

▪ **CNR 10024 n° 160 del 06/10/1986**

Analisi delle strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.

▪ **UNI 936 Settembre 1986**

Disegni tecnici – Formati e disposizioni degli elementi grafici dei fogli da disegno.

▪ **UNI 938 Settembre 1981**

Disegni tecnici – Piegatura dei fogli.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

3. MATERIALI

3.1 Calcestruzzo strutturale e non strutturale

Per il calcestruzzo dei massi prefabbricati e dei getti in opera per la realizzazione delle sovrastrutture (muro paraonde, box auto, etc.) sono stati assunti i seguenti pesi di volume:

- Peso di volume asciutto: $\gamma_c = 24.50 \text{ kN/m}^3$
- Peso di volume immerso: $\gamma_c' = 14.40 \text{ kN/m}^3$

3.2 Terreni

Il sottosuolo in loco, in base al punto 3.2.2 delle NTC/2008 ricade all'interno della categoria "C" – *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)".*

Le caratteristiche geo-meccaniche del tout venant di cava impiegato per la formazione del nucleo delle scogliere sono le seguenti:

- Peso specifico dei granuli (scheletro solido): $\gamma_s = 25.00 \text{ kN/m}^3$
- Porosità: $n = 0.40$
- Peso secco dell'unità di volume: $\gamma_d = 15.00 \text{ kN/m}^3$
- Peso saturo dell'unità di volume: $\gamma_{\text{sat}} = 19.02 \text{ kN/m}^3$
- Peso di volume immerso: $\gamma' = 8.97 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito: $\phi' = 40^\circ$
- Coesione: $c = 0.00 \text{ kN/m}^2$

Le caratteristiche geo-meccaniche del materiale impiegato per la formazione dell'imbasamento dei muri paraonde sono le seguenti:

- Peso specifico dei granuli (scheletro solido): $\gamma_s = 25.00 \text{ kN/m}^3$
- Porosità: $n = 0.40$
- Peso secco dell'unità di volume: $\gamma_d = 15.00 \text{ kN/m}^3$
- Peso saturo dell'unità di volume: $\gamma_{\text{sat}} = 19.02 \text{ kN/m}^3$

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

- Peso di volume immerso: $\gamma' = 8.97 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito: $\phi' = 45^\circ$
- Coesione: $c = 0.00 \text{ kN/m}^2$

4. CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDO SO

Per poter procedere al dimensionamento delle opere a gettata che andrà a costituire la diga di sottoflutto del porto di Anzio, è necessario dapprima stabilire, in termini probabilistici, le caratteristiche delle forzanti ondose. Tale aspetto è stato approfondito nella "Relazione idraulico marittima e studi su modello", commissionata dalla Capo d'Anzio S.p.A. al Prof. Ing. Paolo De Girolamo a supporto della redazione del Progetto Definitivo. Le conclusioni di tale studio, riportate nel paragrafo "Caratteristiche del moto ondo so in acque profonde", sono assunte alla base di questa progettazione.

4.1 Tempo di Ritorno per il calcolo dell'onda di progetto

Per poter ricavare il tempo di ritorno, sulla base del quale stimare il valore dell'onda di progetto, è necessario effettuare delle considerazioni preliminari circa la durata della vita presunta dell'opera ed il livello di rischio o probabilità di superamento dell'onda di progetto, tenuto conto dei danni che tali onde possono arrecare all'opera e della possibilità di ripristinare la normale funzionalità con operazioni di manutenzione.

Nelle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996) si consigliano i valori riportati nelle seguenti Tabella 1 e Tabella 2.

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

Tabella 1- Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo T_v

Per infrastrutture di uso generale si intendono opere di difesa di complessi civili o industriali, che non siano destinati ad uno specifico scopo e per i quali non è chiaramente identificabile il termine della vita funzionale dell'opera. Per infrastrutture ad uso specifico si intendono le opere di difesa di singole installazioni industriali, di porti industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

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

Il livello di sicurezza 2 si riferisce ad opere e installazioni di interesse generale, comportanti un moderato rischio di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso dell'opera (opere di grandi porti, scarichi a mare di grandi città, ecc.).

Il livello di sicurezza 3 si riferisce ad opere o installazioni per la protezione dall'inondazione o di interesse sopranazionale, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso della stessa (difese di centri urbani o industriali, ecc.).

Per quanto riguarda la probabilità di occorrenza dell'onda di progetto, si devono assumere le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente od alla distruzione totale in relazione alle deformazioni-modificazioni subite dall'opera, in caso di danneggiamento, ed alla difficoltà di riparare il danno subito.

Per strutture flessibili o comunque per opere riparabili (ad es. dighe a gettata) come le scogliere in esame, si assume la probabilità corrispondente al danneggiamento incipiente inteso come il livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale il danno è apprezzabile e risulta necessario intervenire con lavori di manutenzione. Per queste opere si deve comunque verificare anche lo scenario di rovina totale, cioè del superamento di un livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale l'opera cessa di svolgere un'apprezzabile funzione protettiva.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Danneggiamento incipiente		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0.50	0.30
Media	0.30	0.20
Alta	0.25	0.15
Distruzione totale		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0.20	0.15
Media	0.15	0.10
Alta	0.10	0.05

Tabella 2- Massima probabilità di danneggiamento P_f ammissibile nel periodo di vita operativa

Per rischio limitato per la vita umana si intendono i casi in cui a seguito del danneggiamento non è prevista alcuna perdita di vite umane. Quando queste perdite sono preventivabili, il rischio è elevato.

Per ripercussione economica bassa, media ed alta si intendono casi in cui il rapporto fra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti dovuti alla perdita di funzionalità delle opere protette ed al costo totale per la realizzazione dell'opera è rispettivamente minore di 5, compreso fra 5 e 20 oppure maggiore di 20.

La combinazione del tempo di vita dell'opera T_v e della probabilità di danneggiamento P_f , determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto T_{rp} :

$$T_{rp} = T_v / [-\ln (1-P_f)] \quad (1)$$

Nel caso in esame si può considerare un rischio limitato di perdita di vite umane ed una ripercussione economica medio-bassa. Assumendo il criterio del danno incipiente si impone $P_f = 0,4$ e quindi $T_{rp} = 50 / [-\ln (0.6)] = 100$ anni.

4.2 Caratteristiche del moto ondoso in acque profonde

Per la determinazione delle caratteristiche del moto ondoso al largo di Anzio (altezza significativa H_s , periodo di picco T_p , direzione media di provenienza θ , etc.), si è fatto riferimento alle registrazioni ondametriche della boa di Ponza. Questa, ubicata a sud-

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

ovest di Punta della Guardia (coordinate: 40°52' N; 12°57'E), oltre a ricadere all'interno dell'area climatica di generazione del moto ondoso che interessa il paraggio in esame, risulta in esercizio dal 1 luglio 1989 con un rendimento medio del 75%. Inoltre, per tener conto della diversa esposizione geografica, tali registrazioni sono state trasferite al largo di Anzio utilizzando la formulazione proposta da P. Contini e P. De Girolamo (1998), secondo cui le stesse condizioni di vento, velocità e direzione, che hanno determinato le condizioni di moto ondoso registrate dall'ondametro di Ponza, hanno contemporaneamente interessato l'area di generazione situata al largo del sito di interesse (Anzio). Quindi, per la determinazione dell'onda di progetto, ovvero dell'altezza dell'onda associata ad un prefissato tempo di ritorno, è stata eseguita un'elaborazione statistica delle altezze delle onde significative registrate al picco di mareggiate indipendenti (metodo delle serie tronche) con le distribuzioni di probabilità cumulata di non superamento di Weibull e di Gumbel.

Per la definizione del periodo associato all'altezza d'onda di progetto è uso corrente impiegare formule del tipo $T = c H^{1/m}$ (vedi le espressioni Bretschneider, Grancini ed altri); nel nostro caso si è utilizzato $T_p = 4.15s$ in acque profonde

Si riportano di seguito i valori dell'onda di progetto al largo di Anzio, indicata nel menzionato studio del Prof. De Girolamo:

L'onda di progetto al largo di Anzio determinata nello studio del Prof. De Girolamo, presenta le seguenti caratteristiche:

“l'altezza d'onda significativa di progetto è pari a 7.1 m al largo e quindi 4.76 m a riva (in presenza di frangimento)”;

“il periodo di picco è pari a $4.51 \times H_s^{0.5} = 12 s$ secondo le consuete relazioni empiriche per fetch limitati”;

“la direzione di provenienza del moto ondoso corrispondente è compresa tra 178° e 236° N”.

Tale onda, determinata per un tempo di ritorno $T=100$ anni, viene assunta alla base di questo livello di progettazione.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

4.3 Caratteristiche del moto ondoso a ridosso delle opere

Per procedere al dimensionamento delle opere ricadenti su fondali decrescenti è necessario valutare come le onde di progetto, individuate al paragrafo 4.2, si modificano propagandosi dal largo verso riva. Infatti, man mano che le onde si avvicinano alla costa, si innescano diversi fenomeni fisici che ne modificano tutte le caratteristiche (lunghezza, altezza, celerità di propagazione, etc...).

Per il dimensionamento dei massi costituenti le mantellate poste a protezione delle scogliere di sopraflutto e di sottoflutto, l'altezza dell'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento dell'opera è stata ricavata considerando, in maniera semplificata, i fenomeni di shoaling e di frangimento. Come primo approccio alle verifiche, si è proceduto quindi con l'individuazione della profondità di frangimento dell'onda di progetto. Questa può essere valutata graficamente attraverso l'utilizzo di abachi presenti in letteratura, frutto di numerose analisi sperimentali e di seguito riportati. Più precisamente, noto il periodo T e l'altezza al largo H_0 dell'onda di progetto, dall'abaco riportato in Figura 1, si ricava l'altezza dell'onda al frangimento H_b (pari a circa 7.80 m sopra il l.m.m.) e, quindi, utilizzando l'abaco di Figura 2 si ricava la profondità di frangimento d_b cercata (pari a circa -9.20 m sotto il l.m.m.). Appurato, quindi, che l'onda di progetto considerata, calcolata nel precedente paragrafo, frange all'incirca in corrispondenza della batimetrica posta alla quota di -9 m, nei successivi calcoli di verifica idraulica delle differenti sezioni individuate, verrà considerata la massima onda frangente limitata dal fondale calcolata secondo la formulazione di Kamphuis (1992) di seguito riportata:

$$H_b = 0.56 \cdot d_b \cdot e^{3.5 \cdot m} \quad (2)$$

dove $m=0.02$ rappresenta la pendenza media del fondale.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

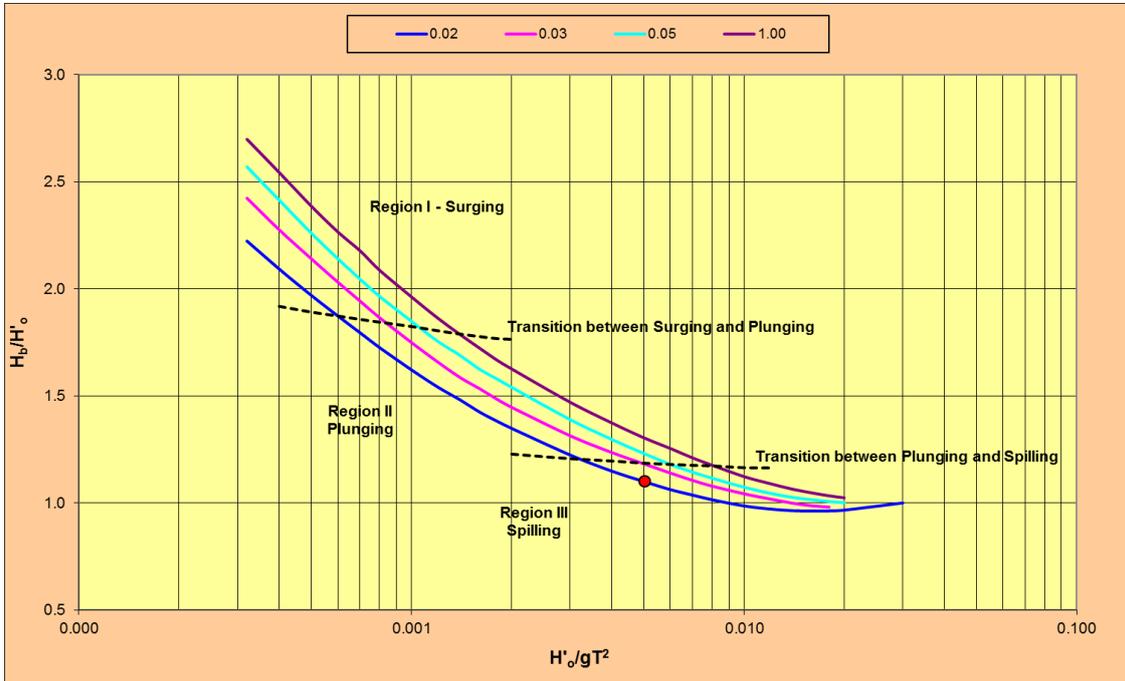


Figura 1: Abaco per il calcolo dell'altezza d'onda al frangimento H_b

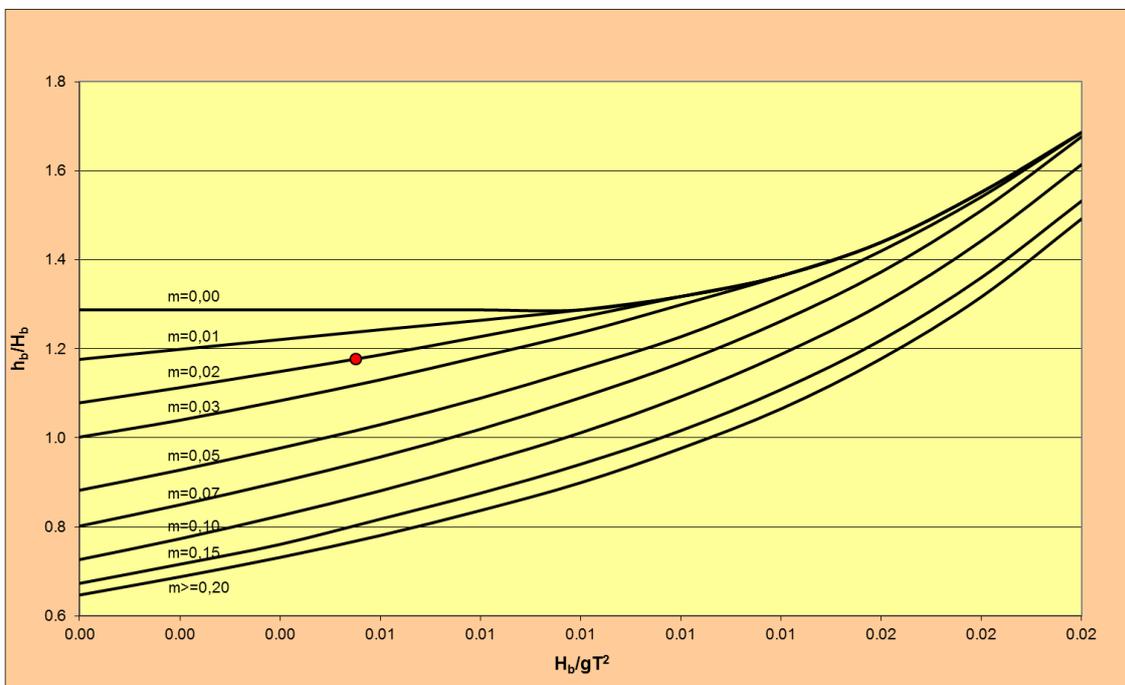


Figura 2: Abaco per il calcolo della profondità di frangimento d_b

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

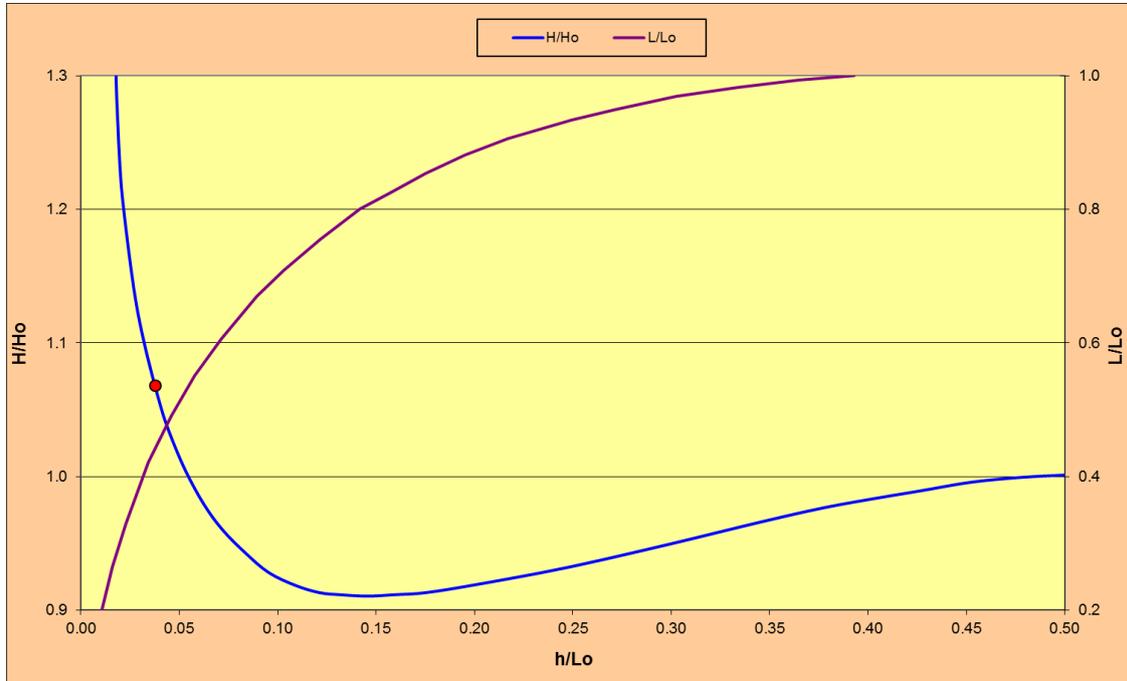


Figura 3: Andamento del coefficiente di *shoaling* in funzione della profondità relativa (sez. F)

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

4.4 Pressioni indotte dal moto ondoso sui muri paraonde

Le azioni esercitate dal moto ondoso sul muro paraonde sono calcolate mediante la formulazione proposta da F.L. Martin et al. (Coastal Engineering, 1999). Tale metodo, basato su osservazioni sperimentali, consente di calcolare:

- ✓ le distribuzioni delle pressioni indotte dall'onda di progetto sul paramento verticale del muro paraonde;
- ✓ le distribuzioni delle pressioni di up-lift agenti sulla base del muro paraonde.

A partire dai risultati dello studio sperimentale condotto presso il Laboratorio di Ingegneria dell'Università della Cantabria, (Losada et al, 1995; Martin, 1995.), gli autori osservano che una singola onda produce due picchi di pressione, il primo generato durante il brusco cambiamento di direzione dell'onda incidente (per effetto del muro paraonde), il secondo registrato immediatamente dopo l'istante di massima risalita del moto ondoso (correlato al progressivo avvicinamento della massa d'acqua al paramento del muro paraonde).

Si riportano di seguito le espressioni formulate dagli autori per la determinazione dei diagrammi di pressioni da assumere nelle verifiche progettuali, conseguenti al primo ed al secondo picco.

4.4.1 Primo picco - Dynamic Pressures

La distribuzione delle pressioni conseguente al primo picco si mantiene costante lungo il paramento verticale del muro paraonde, con valori differenti a seconda che il muro sia protetto o meno dai massi della mantellata..

Il profilo delle pressioni $P_d(z)$, può essere rappresentato mediante la seguente espressione:

$$P_d(z) = \begin{cases} P_{s0} & \text{per } z > A_c \\ \lambda \cdot P_{s0} & \text{per } w_f < z < A_c \end{cases} \quad (3)$$

dove λ è un coefficiente che tiene conto della schermatura offerta dai massi della mantellata che rivestono il muro paraonde, P_{s0} è il valore associato al primo picco, A_c è la

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

quota sommitale della mantellata e w_f è la quota a cui si trova la base del muro paraonde.
Si precisa che tutte le quote si riferiscono al l.m.m.

F.L. Martin et al. / Coastal Engineering 37 (1999) 149–174

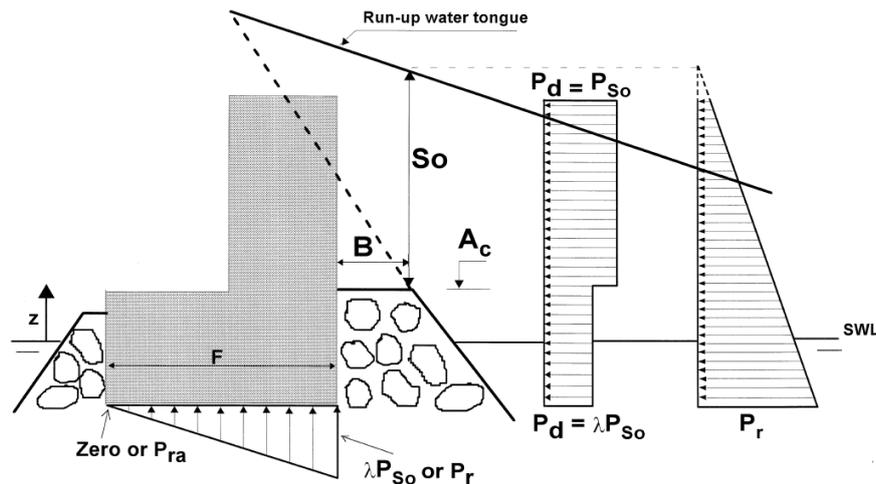


Figura4: Schema per il calcolo dei diagrammi di pressione con le espressioni F.L. Martin et al (1999)

Il valore della pressione P_{s0} all'estradosso della mantellata per $z=A_c$, è linearmente correlata allo spessore dell'acqua a quel livello S_0 , e può essere valutata mediante la seguente espressione (Martin, 1995):

$$P_{s0} = \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot S_0 \quad (4)$$

ove:

ρ è la densità dell'acqua marina;
 g è l'accelerazione di gravità;
 α è un parametro adimensionale determinato come:

$$\alpha = 2.9 \cdot [(Ru/H) \cdot \cos \beta]^2 \quad (5)$$

essendo H il valore dell'altezza massima associata all'onda di progetto al piede delle scogliera, β l'inclinazione del paramento esterno della mantellata e Ru . Questo viene determinato mediante la formulazione proposta dagli autori e di seguito riportata:

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

$$R_u/H = A_u \cdot [1 - \exp(-B_u \cdot I_r)] \quad (6)$$

ove:

$I_r = \tan \beta / (H/L_0)^{0.5}$ è il parametro di Irribarren (1965),

L_0 è lunghezza dell'onda in acque profonde;

A_u e B_u sono dei coefficienti empirici che dipendono dal tipo di massi utilizzati per la mantellata, ovvero dalla porosità che questa assume. Per la determinazione di questi valori si utilizza l'abaco fornito da Losada (1992).

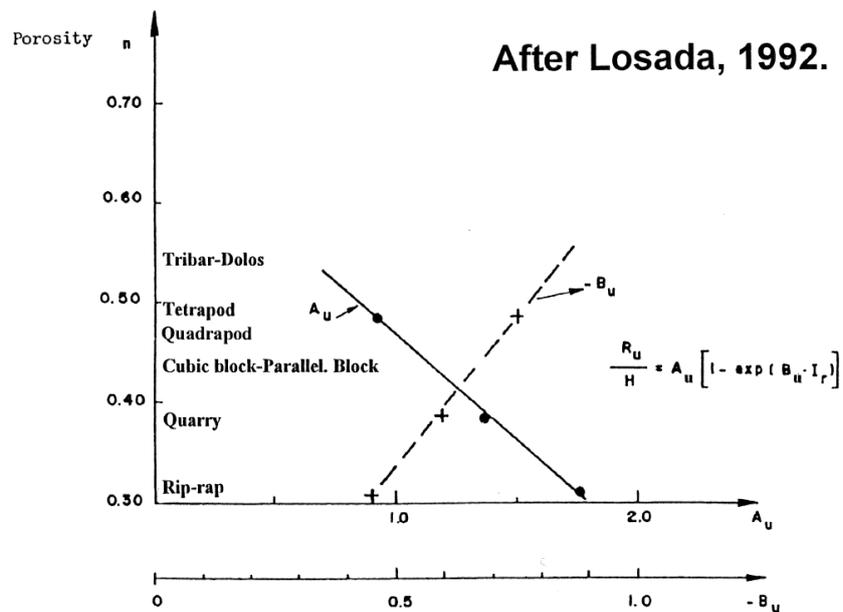


Figura 5: A_u e B_u coefficienti per il calcolo del run-up in funzione della porosità della mantellata

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

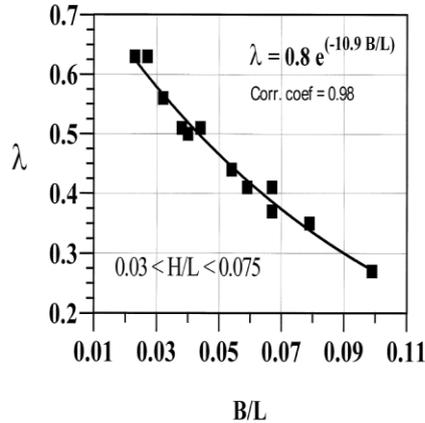


Figura 6: valori sperimentali di λ al variare del rapporto B/L.

Per il calcolo dello spessore d'acqua S_0 gli autori forniscono la seguente espressione:

$$S_0 = H \cdot (1 - A_c / R_u) \quad (7)$$

Come si evince dalla figura 6, per la determinazione del parametro λ si utilizza l'espressione analitica, $\lambda = 0.8 \cdot \exp[-10.9 \cdot B/L]$, che meglio interpola i dati relativi a esperienze condotte in canale artificiale con onde monocromatiche, determinata per valori di $0.03 < H/L < 0.075$. Tali valori risultano in accordo con quelli determinati da Jensen (1984) e Günbak e Gökce (1984).

4.4.2 Secondo Picco – Reflecting Pressures

F.L. Martin et al. (Coastal Engineering, 1999) osservano che al verificarsi del secondo picco, la distribuzione delle pressioni registrate lungo la parete del muro paraonde assume un andamento linearmente crescente dalla sommità verso il piede del muro, secondo la seguente formulazione:

$$P_r(z) = \mu \cdot \rho \cdot g \cdot (S_0 + A_c - z) \text{ per } w_f < z < A_c + S_0 \quad (8)$$

dove il parametro adimensionale, $\mu = a \cdot e^{c \cdot (H/L - b)^2}$, è stato valutato sperimentalmente per test con onde monocromatiche.

I valori delle costanti a, b e c (vedi Tabella 3) dipendono dal rapporto tra la larghezza della berma orizzontale misurata in sommità e il parametro l_e determinato come lato del

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

cubo equivalente, avente un peso pari al peso medio dei massi che costituiscono la mantellata. Tali valori sono riportati nella seguente tabella.

B/le	a	b	c
1	0.446	0.068	259
2	0.362	0.069	357.1
3	0.296	0.073	383.1

Tabella 3- Valori dei parametri a, b, e c (F.L. Martin et al., 1999)

4.4.3 Pressioni di up-lift

Gli autori assumono un diagramma delle pressioni di up-lift agenti alla base del muro paraonde di tipo lineare. Nel caso specifico, come si evince dalla Figura 4, per determinare l'andamento di questa distribuzione teorica, occorre determinare le pressioni in corrispondenza del paramento esterno e del paramento interno del solettone di fondazione. Poiché tali sottopressioni hanno valori differenti a seconda dello schema analizzato, si assume:

Primo picco - Dynamic Pressures:

$$P_s = \begin{cases} \lambda \cdot P_{S0} & \text{in corrispondenza del paramento esterno} \\ 0 & \text{in corrispondenza del paramento interno} \end{cases} \quad (9)$$

Secondo Picco - Reflecting Pressures:

$$P_s = \begin{cases} P_{re} & \text{in corrispondenza del paramento esterno} \\ P_{ra} & \text{in corrispondenza del paramento interno} \end{cases} \quad (10)$$

dove il valore di P_{ra} può essere determinato in funzione del rapporto tra la larghezza F, misurata alla base del muro paraonde e la lunghezza L dell'onda calcolata al piede della scogliera, mediante l'uso dell'abaco riportato in Figura 7.

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

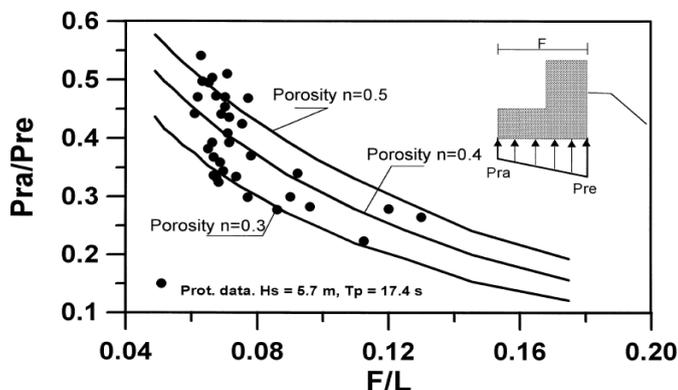


Figura 7: valori del rapporto P_{ra}/P_{re} in funzione della porosità n e del rapporto F/L .

4.4.4 Calcolo delle spinte idrodinamiche sul muro paraonde della diga di sopraflutto

Per il calcolo delle spinte sul muro paraonde della diga di sottoflutto si fa riferimento alla sezione C, per la quale il valore assunto dal moto ondoso risulta più gravoso. Si riportano di seguito le elaborazioni eseguite con la determinazione delle pressioni relative alle configurazioni descritte in precedenza.

Wave loads on rubble mound breakwater crown walls

Formulazione di Francisco L. Martin, Miguel A. Losada, Raul Medina (Coastal Engineering 37 1999. 149–174)

Onda di progetto

$H_o =$	7.1	m	Altezza d'onda al largo
$H_s =$	3.3	m	Altezza d'onda al piede dell'opera (comprensiva di sovrizzo)
$H_{max} =$	5.9	m	Altezza d'onda di calcolo
$T_p =$	12.0	s	Periodo di picco
$L_o =$	225	m	Lunghezza d'onda in acqua profonda corrispondente al periodo di picco
$s_o =$	0.026	-	Ripidità dell'onda
$L_p =$	80.0	m	Lunghezza d'onda al piede dell'opera
$s_{op} =$	0.074	-	Ripidità dell'onda al piede dell'opera
$\gamma_w =$	10.1	kN/m ³	Peso Specifico dell'acqua marina

Dimensioni struttura

$h =$	5.00	m s.l.m.	Profondità del fondale al piede dell'opera
$s^{\dagger} =$	0.50	m s.l.m.	Sovrizzo del livello marino
$h' =$	5.50	m s.l.m.	Profondità di calcolo
$A_c =$	5.50	m s.l.m.	Quota sommitale della berma
$B =$	4.50	m	Larghezza sommitale della berma
$\text{tang } \beta =$	3/5	-	Pendenza della mantellata

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

$w_c =$	5.50	m s.l.m.	Quota sommitale del muro paraonde
$w_f =$	0.15	m s.l.m.	Quota di imbasamento del muro paraonde
$F =$	5.00	m	Larghezza in fondazione del muro paraonde
$n =$	0.39	-	Porosità mantellata in massi naturali
$l_e =$	1.50	m	Lato del cubo equivalente di peso pari al peso medio dei massi della mantellata

Pressioni esercitate durante il primo picco - Dynamic Pressures

$z = A_c =$	5.50	m s.l.m.	Quota di calcolo
$l_r =$	3.69	-	Parametro di Iribarren (1965)
SURGING			Tipo di Frangente
$A_u =$	1.37	-	Parametro determinato graficamente in funzione della porosità n
$B_u =$	-0.59	-	Parametro determinato graficamente in funzione della porosità n
$R_u =$	7.2	m	Run-up associato all'altezza d'onda H_{max}
$S_0 =$	1.4	m	Spessore d'acqua compreso tra la superficie di run-up e la mantellata
$ctg \beta =$	1.67	-	$1 < ctg \beta < 2.5$: valore di controllo per la validità della formulazione adottata per S_0
$\alpha =$	3.10	-	
$\lambda =$	0.4	-	
$s_{op} =$	0.074	-	$0.03 < s_{op} < 0.075$: valore di controllo per la validità della formulazione adottata per λ

Risultati

$P_d = P_{s0} =$	44.5	kN/m²	press. idrod. nel tratto di muro non protetto dalla scogliera, ovvero per $z > A_c$
$P_d = \lambda * P_{s0} =$	17.8	kN/m²	press. Idrod. nel tratto di muro schermato dalla scogliera, per $w_i < z < A_c$
$P_{se,1} = P_d = \lambda * P_{s0} =$	17.8	kN/m²	pressione di up-lift esercitata sul bordo esterno (lato mare) della fondazione
$P_{si,1} =$	0	kN/m²	pressione di up-lift esercitata sul bordo interno della fondazione

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Pressioni esercitate durante il secondo picco - Reflecting Pressures

B/L = 0.06 - H/L = 0.07 -

Table 1 Costal Engineering 37 (1999 149-174)

B/le	a	b	c
1	0.446	0.068	259
2	0.362	0.069	357.1
3	0.296	0.073	383.1

B/l_e = 3.00 → → → →
 $\mu = 0.3$
 a = 0.296
 c = 383.1
 b = 0.073

F/L = 0.06
 $P_{ra}/P_{re} = 0.47$ - Parametro determinato grafic. in funzione del rapporto F/L e ella porosità n

Risultati

$P_r = (z=w_c)$	4.3	kN/m²	pressione idrodinamica in sommità al muro paraonde $z=w_c$
$P_r = (z=w_f)$	20.5	kN/m²	pressione idrodinamica al piede del muro paraonde $z=w_f$
$P_{se,2}=P_{re}$	20.5	kN/m²	pressione di up-lift esercitata sul bordo esterno (lato mare) della fondazione
$P_{se,2}=P_{ra}$	9.64	kN/m²	pressione di up-lift esercitata sul bordo interno della fondazione

5. VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Le verifiche dei muri di banchina e dei muri paraonde sono state condotte, in conformità a quanto disposto dal D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche sulle costruzioni" e nel rispetto della normativa riportata nel par. 2, attraverso il metodo dei coefficienti parziali secondo cui gli effetti delle condizioni di carico non devono superare quelle compatibili con lo stato limite considerato. Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi quanto detto si traduce nel rispetto della seguente disequazione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

E_d valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

R_d valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

L'effetto delle azioni e della resistenza possono essere espresse in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d , mentre nella formulazione della resistenza compare un coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema:

$$E_d = E \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

I valori delle azioni di progetto possono essere esplicitate mediante le seguenti combinazioni:

Combinazione SLU: $\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \Psi_{02} Q_{k2} + \dots$

Combinazione sismica: $E + G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \dots$

dove:

G_1 sono i carichi permanenti strutturali;

G_2 sono i carichi permanenti non strutturali;

E azione sismica;

Q_{k1} azione variabile dominante;

Q_{kj} azioni variabili restanti;

γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili;

γ_{G1} coefficiente parziale dei carichi permanenti strutturali;

γ_{G2} coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali;

Ψ_{0j}, Ψ_{2j} coefficienti di combinazione delle azioni.

5.1 Coefficienti parziali adottati per le azioni, per le resistenze e per le verifiche

Nel seguito vengono riportati sinteticamente tutti i coefficienti parziali utilizzati nelle verifiche di stabilità dei muri paraonde.

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

5.1.1 Muro paraonde – Stato Limite Ultimo

Verifiche GEO alla traslazione:

Approccio 1 - Combinazione 1 - (A1+M1+R1):

A1						M1		R1
$\gamma_{G,fav}$	$\gamma_{G,fav}$	$\gamma_{Q,fav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	γ_{ψ}	γ_{γ}	γ_R
1.0	1.0	0.0	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1
p-p _N	p-p _T	S _{w-d,N}	S _{w-d,T}	S _{s,N}	S _{s,T}	terreno	terreno	scorrimento

Approccio 1 - Combinazione 2 - (A2+M2+R2):

A2						M2		R2
$\gamma_{G,fav}$	$\gamma_{G,fav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	γ_{ψ}	γ_{γ}	γ_R
1.0	1.0	0.0	1.3	1.3	1.3	1.3	1.0	1.1
p-p _N	p-p _T	S _{w-d,N}	S _{w-d,T}	S _{s,N}	S _{s,T}	terreno	terreno	scorrimento

con:

Componenti delle azioni ortogonali al piano di fondazione	
Abbreviazione	Descrizione
p-p _N	Peso proprio
w-d,N	Spinta idrodinamica del moto ondoso
s,N	Sottospinta del moto ondoso

Componenti delle azioni tangenti al piano di fondazione	
Abbreviazione	Descrizione
p-p _T	Peso proprio
w-d,T	Spinta dinamica e statica del moto ondoso
s,T	Sottospinta del moto ondoso

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Verifiche EQU al ribaltamento:

Combinazione: (AEQU+M2)

A _{EQU}			M2		R
$\gamma_{G, fav}$	$\gamma_{Q, sfav}$	$\gamma_{Q, sfav}$	γ_{ψ}	γ_{γ}	γ_R
0.9	1.5	1.5	1.3	1.0	1
peso proprio	Spinta idrodinamica del moto ondoso	Sottospinta del moto ondoso	terreno	terreno	ribaltamento

Verifiche GEO alla schiacciamento:

Approccio 2 - Combinazione (A1+M1+R3):

A1			M1		R3
$\gamma_{G, fav}$	$\gamma_{Q, sfav}$	$\gamma_{Q, sfav}$	γ_{ψ}	γ_{γ}	γ_R
1.0	1.5	1.5	1.0	1.0	2.3
peso proprio	Spinta idrodinamica del moto ondoso	Sottospinta del moto ondoso	terreno	terreno	capacità portante

5.2 Verifiche di stabilità

5.2.1 Verifiche alla traslazione

La condizione di stabilità alla traslazione dei muri di banchina e dei muri paraonde è stata accertata verificando la condizione:

$$R_d / E_d > 1$$

dove:

R_d è dato dal prodotto della risultante della combinazione delle forze favorevoli per il coefficiente di attrito μ ;

E_d è la risultante della combinazione delle forze sfavorevoli.

Per il coefficiente di attrito μ si assumono i seguenti valori:

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

$\mu = \tan(\phi_d)$ nel caso di verifica rispetto alla base della fondazione dell'intero muro, essendo ϕ_d l'angolo di attrito interno di progetto del terreno, ottenuto come:

$$\phi_d = \arctan\left(\frac{\tan(\phi_k)}{\gamma_{\phi'}}\right)$$

ove $\gamma_{\phi'}$ è il coefficiente parziale riportato nella Tab. 6.2.II delle NTC 08 dei coefficienti parziali per i parametri geotecnici.

5.2.2 Verifiche al ribaltamento

La condizione di stabilità alla rotazione dei muri di banchina e dei muri paraonde è stata accertata verificando la condizione:

$$R_d / E_d > 1$$

dove:

- R_d è dato dalla risultante della combinazione dei momenti favorevoli (stabilizzanti);
- E_d è la risultante della combinazione dei momenti sfavorevoli (ribaltanti).

5.2.3 Verifiche della capacità portante in condizioni drenate

La verifica a collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è stata accertata verificando la condizione:

$$R_d / E_d > 1$$

con:

- R_d coincidente con la tensione limite q_{lim} ammessa dal terreno;
- E_d pari alla pressione massima agente sul terreno in conseguenza dell'applicazione della combinazione delle azioni considerata.

Per la valutazione del carico unitario limite si adotta la formulazione di Brinch-Hansen (11) per fondazione nastriforme e carico inclinato.

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 1/2 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \quad (11)$$

con:

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

-
- N_c, N_q, N_γ fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di attrito ϕ' ;
 i_c, i_q, i_γ fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;
 d_c, d_q, d_γ fattori correttivi che dipendono dalla profondità del piano di posa.

Nelle verifiche effettuate, il coefficiente γ è stato assunto pari al peso secco dell'unità di volume γ_d , nel caso di piano di fondazione sopra il l.m.m. e coincidente al peso immerso dell'unità di volume γ , nel caso di piano di fondazione posto sotto il l.m.m.. Conformemente a quanto disposto dalle NTC 08 non si considera il contributo offerto dalla presenza del masso guardiano o dei massi di protezione al piede. Pertanto per il valore della pressione q agente a valle del muro ed a tergo del piano di fondazione si assume sempre il valore nullo. Tale scelta risulta cautelativa ed a vantaggio di sicurezza. Per il calcolo dei fattori di inclinazione i_q ed i_γ si adotta la formulazione di Hansen (1970), "(...) usando però un esponente 2 nell'espressione di i_q e di 3 in quella di i_γ , invece del 5..." come indicato nel testo "Foundation Analysis and Design" (Joseph E. Bowles, 1988). Rimossa l'ipotesi di carico baricentrico, il valore B' della base ridotta, definita come la minima superficie rispetto alla quale il carico risulta centrato (Meyerhof, 1953), è stato calcolato come:

- $B' = B - 2e$ nel caso di sezione interamente reagente, con B larghezza della fondazione ed e eccentricità data da:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_A}{E_d}$$

ove M_A rappresenta la risultante dei momenti calcolati rispetto al polo di rotazione A ed E_d risultante delle azioni verticali;

- $B' = 2u$ nel caso di parzializzazione della sezione di fondazione. In questo caso la larghezza della sezione reagente risulta pari al doppio della distanza u tra il punto di applicazione delle azioni verticali E_d ed il lembo compresso della sezione.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

6. DIGA DI SOTTOFLUTTO

La diga di sottoflutto ha un'estensione lineare complessivamente pari a circa 385. Tale opera, radicata a Est dell'attuale diga di sottoflutto, si estende su fondali progressivamente crescenti fino a raggiungere la profondità di circa 5 m in prossimità della testata. L'opera, realizzata secondo la tradizionale tipologia di scogliera a gettata, presenta un nucleo in tout-venant di cava protetto verso l'esterno dalle forzanti ondose da una mantellata di rivestimento costituita in massi naturali disposti in doppio strato secondo una pendenza pari a 2/3, ovunque meno che in testata, ove la pendenza di 3/5 consente di adottare ancora dei massi naturali in luogo di quelli artificiali. Al fine di impedire l'asportazione del tout-venant di cava attraverso le cavità della mantellata, tra questa ed il nucleo viene interposto uno strato filtro in massi naturali di adeguata pezzatura.

Poiché la scogliera in esame si sviluppa prevalentemente lungo la direzione ortogonalmente alla linea di riva, l'altezza dell'onda di progetto a ridosso dell'opera è diversa per ciascuna delle sezioni di verifica individuate. Il dimensionamento dell'opera a gettata è stato effettuato con riferimento a due sezioni di verifica, ubicate a profondità diverse, attraverso cui è possibile individuare tre distinti tratti caratteristici del molo di sottoflutto in oggetto (vedi Figura 10). Il tratto più esterno, corrispondente alla sezione caratteristica F-F (sezione di testata), presenta uno sviluppo di circa 110 m ed insiste su fondali massimi di -5 m s.l.m.m.. Il tratto intermedio si sviluppa per una lunghezza di 120 m, secondo la sezione tipologica D-D, su fondali caratterizzati da profondità costante di circa -3 m s.l.m.m. e consente di realizzare un graduale passaggio tra le due sezioni di progetto (F-F ed A-A). Il tratto verso riva, di sezione caratteristica A-A, presenta uno sviluppo longitudinale pari a circa 155 m su profondità progressivamente decrescenti a partire dalla batimetrica di circa -3 m s.l.m.m.

Nella seguente Tabella 17 vengono riepilogati i valori dell'altezza d'onda considerati nelle successive verifiche idrauliche di stabilità dei massi della mantellata esterna.

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Sezione	Profondità al piede	Profondità di calcolo	Condizione di Frangimento	H ₀ (m)
A-A	3.00	3.50	Frangente	2.10
F-F	5.00	5.50	Frangente	3.30

Tabella 17- Onde incidenti a ridosso dell'opera-paramento esterno

Si precisa che la profondità di calcolo tiene conto della variazione del livello idrico ad opera del sovrizzo, individuato in + 0.50 m nella "Relazione idraulico marittima e studi su modello" redatta dal Prof. Ing. De Girolamo.

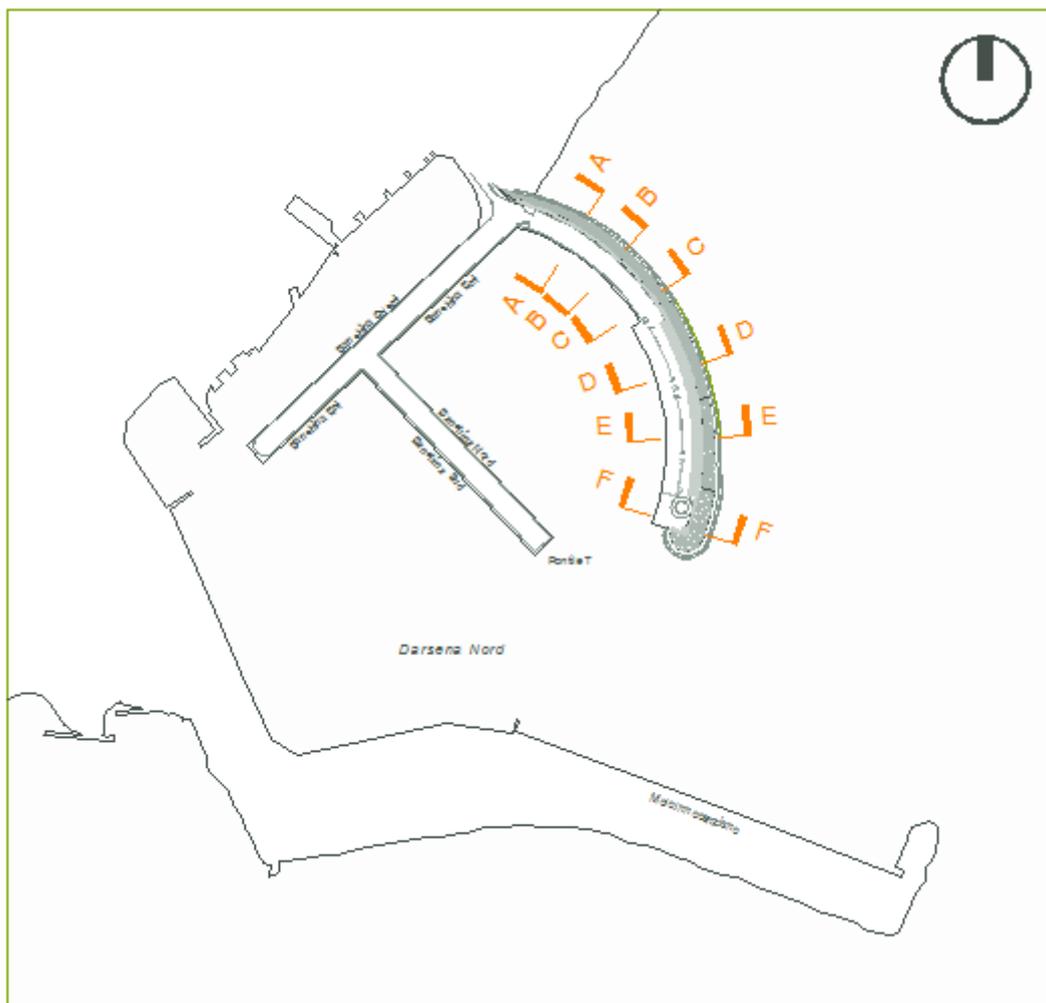


Figura10: Pianta chiave con posizionamento delle sezioni di progetto per la diga sottoflutto da realizzarsi durante la Fase2

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

6.1 Nucleo

Il corpo centrale dell'opera a gettata è costituito da tout-venant di cava, ossia materiale lapideo di pezzatura assortita con peso variabile tra 0.5 e 500 Kg. Tale gradazione conferisce al nucleo il richiesto grado di impermeabilità, utilizzando il materiale più "povero" ottenuto dalla cava.

La sommità del nucleo si trova, durante la fase di avanzamento, ad una quota costante nelle diverse sezioni e verrà posizionata ad una quota opportuna (circa +1.0 m s.l.m.) per permettere l'esecuzione con mezzi terrestri anche in presenza di moto ondoso non eccessivo, in seguito tale quota verrà portata al valore di progetto.

La larghezza del nucleo in sommità è dettata da esigenze funzionali oltre che idrauliche (riduzione delle permeazioni) ed è sufficiente a permettere il passaggio alternato della gru di posa in opera dei massi e degli automezzi di scarico del tout-venant del nucleo.

6.2 Dimensionamento della mantellata esterna in massi naturali

Il dimensionamento dell'opera a gettata è stato effettuato impiegando la collaudata formula di Hudson (1974) applicata secondo le indicazioni del Coastal Engineering Manual che consente di ricavare il peso medio dei massi da adottare in funzione di un assegnato grado di stabilità valutato, tenendo conto dell'impiego dei massi tetrapodi e considerando l'onda frangente o non frangente, in relazione alla sezione considerata.

Si ricorda che la relazione semi-empirica di Hudson è espressa da:

$$\frac{H}{\Delta D_{n50}} = (K_D \cot \alpha)^{\frac{1}{3}} \quad (25)$$

oppure, esplicitando in funzione del peso mediano del singolo elemento, da:

$$M_{50} = \frac{\rho_s H^3}{K_D \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)^3 \cot \alpha} \quad (26)$$

dove:

- H = altezza d'onda caratteristica (H_s oppure $H_{1/10}$);

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

- D_{n50} = spigolo del cubo equivalente del masso mediano;
- M_{50} = peso mediano dei massi, $M_{50} = \rho_s D_{n50}^3$;
- ρ_s = densità del masso;
- ρ_w = densità dell'acqua marina;
- $D = (\rho_s / \rho_w) - 1$;
- K_D = coefficiente di stabilità (SPM 1984)
- α = angolo formato dalla scarpa con l'orizzontale.

Applicando l'equazione (26) si ottengono i pesi teorici dei massi naturali per ciascuna delle sezioni di verifica adottate. In particolare, mentre per la Sez. A-A si assume come coefficiente di stabilità il valore per la sezione corrente, per la Sez. C-C si assume quello relativo alla testata. Tale scelta risulta coerente con le previsioni di sviluppo del porto di Anzio, per le quali un ridosso maggiore della sezione in esame si ottiene solo nella fase di sviluppo a lungo termine, tanto più se verranno effettuati i dragaggi del canale di accesso, come previsti nella fase di progettazione definitiva.

Dai risultati dei calcoli effettuati si evince che mentre per la sezione A-A sono sufficienti massi naturali di circa 2.5 t, per la sezione F-F sono necessari massi naturali da circa 8.8 t. Si precisa che per la sezione F-F si è assunto per il coefficiente di stabilità il valore $K_D=1.8$ ottenuto per interpolazione lineare dei valori di letteratura assumendo come pendenza della mantellata il valore di 3/5. Quindi, si sceglie di realizzare il tratto iniziale, più vicino alla riva, in massi naturali di II categoria (peso del singolo elemento appartenente all'intervallo 2÷3 t), il tratto finale in massi naturali di IV categoria (peso del singolo elemento appartenente all'intervallo 8÷10 t) ed il tratto intermedio, di transizione, con massi naturali di III categoria (peso del singolo elemento pari a 3÷5 t).

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Criterio di "non danneggiamento" con limitata tracimazione							
Elemento	n (3)	Posa in opera	Sezione corrente		Testata		
			K _D (2)		K _D		Scarpa Cot α
			Onda frangente	Onda non frangente	Onda frangente	Onda non frangente	
Masso naturale arrotondato	2	alla rinfusa	1.2	2.4	1.1	1.9	da 1.5 a 3.0
arrotondato	>3	alla rinfusa (4)	1.6 (4)	3.2	1.4 (4)	2.3	
a spigoli vivi	2	alla rinfusa	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
					1.6	2.8	2.0
a spigoli vivi	2	alla rinfusa	2.2	4.5	2.1	4.2	(5)
a spigoli vivi	<3	speciale (6)	5.8	7.0	5.3	6.4	(5)
Parallelepipedo (7)	2	speciale (1)	7.0-20.0	8.5-24.0	--	--	
Tetrapodo	2	alla rinfusa	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
e					4.5	5.5	2.0
Quadripodo	2	alla rinfusa			3.5	4.0	3.0
Tribar	2	alla rinfusa	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
Dolos	2	alla rinfusa	15.8(8)	31.8(8)	8.0	16.0	2.0(9)
					7.0	14.0	3.0
Cubo modificato	2	alla rinfusa	6.5	7.5	--	5.0	(5)
Hexapod	2	alla rinfusa	8.0	9.5	5.0	7.0	(5)
Toskane	2	alla rinfusa	11.0	22.0	--	--	(5)
Masso naturale (k _{RR}) assortiti	-	alla rinfusa	2.2	2.5	--	--	

(1) Avvertenza: i valori di K_D scritti in *italico* non sono stati prodotti da apposite prove di laboratorio e, pertanto, sono riportati solo per consentire una progettazione preliminare dell'opera.
(2) Per pendenze comprese tra 1/1.5 e 1/5.
(3) n è il numero di elementi compresi nello spessore della mantellata (numero di strati).
(4) Non è consigliato l'uso di un singolo strato nelle mantellate di massi naturali sottoposte a onde frangenti. Nel caso di onde non frangenti, è ammissibile il singolo strato solo nel caso di una attenta posa in opera di massi.
(5) Nelle more dell'acquisizione di più dettagliate informazioni sulla variazione del coefficiente k_D con la pendenza, l'uso del k_D dovrebbe essere limitato a pendenze comprese tra 1/1.5 e 1/3. Alcune prove su elementi di mantellata in testata mostrano una relazione funzionale tra k_D e pendenza.
(6) Speciale posa in opera con l'asse maggiore del masso posto normalmente al piano della mantellata.
(7) Massi sagomati con forma parallelepipeda quando la maggiore dimensione lineare è circa 3 volte più grande della piccola (Markle e Davidson, 1979).
(8) I valori si riferiscono al criterio di "non danneggiamento" (spostamenti e oscillazioni dei massi < 5%); se non si tollera l'oscillazione dei dolos (<2%) occorre ridurre il k_D del 50% (Zwamborn e Van Niekerk, 1982).
(9) La stabilità del dolos su pendenze superiori a 1/2 dovrebbe essere indagata con apposite prove su modello in funzione delle locali condizioni al contorno.

Tabella 18-Valore del coefficiente di stabilità al variare dei massi utilizzati.

Si riportano di seguito i risultati delle elaborazioni effettuate. (Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime CSLLPP)

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Table VI-5-22 ; VI-5-38 CEM					
(Hudson 1974 - K_D values by SPM 1984)					
Parametri di progetto					
$\gamma_w =$	10.1	kN/m ³	Peso Specifico dell'acqua marina		
$H_{prog} =$	2.1	m	Altezza d'onda di calcolo		
Parametri caratteristici della scogliera (Sezione Corrente)					
$\gamma_r =$	25.5	kN/m ³	Peso specifico dei massi		
cotg $\alpha =$	1.50	-	Inclinazione del paramento esterno		
n =	2	-	Numero degli strati mantellata		
$K_D =$	2	-	Coefficiente di stabilità		
$M_{50} =$	22.2	kN (2.3 t)	Peso mediano massi		

Tabella 19 : Sez. Corrente A – A Determinazione peso e spessore massi naturali per la mantellata

Table VI-5-22 ; VI-5-38 CEM					
(Hudson 1974 - K_D values by SPM 1984)					
Parametri di progetto					
$\gamma_w =$	10.1	kN/m ³	Peso Specifico dell'acqua marina		
$H_{prog} =$	3.3	m	Altezza d'onda di calcolo		
Parametri caratteristici della scogliera (Sezione Corrente)					
$\gamma_r =$	25.5	kN/m ³	Peso specifico dei massi		
cotg $\alpha =$	1.67	-	Inclinazione del paramento esterno		
n =	2	-	Numero degli strati mantellata		
$K_D =$	1.8	-	Coefficiente di stabilità		
$M_{50} =$	86.2	kN (8.8 t)	Peso mediano massi		

Tabella 20 : Sez. Corrente F-F Determinazione peso e spessore massi Naturali per la mantellata

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Come ulteriore verifica, per la sezione A-A si è anche utilizzata la più recente e completa relazione di Van Der Meer (valida solo per massi naturali) nella quale il diametro nominale dei massi è legato alla altezza significativa dalle seguenti espressioni:

Per onda frangente tipo plunging ($\xi_m < \xi_{mc}$):

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2 P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5} \quad (27)$$

Per onda frangente tipo surging ($\xi_m > \xi_{mc}$):

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^P \quad (28)$$

con

H_s = altezza d'onda significativa in corrispondenza della struttura,

ξ_m = parametro di surf o numero di Iribarren per il periodo medio

$$\xi_m = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H_s}{g T_m^2}}}$$

T_m = periodo d'onda medio (s)

α = pendenza della mantellata ($^\circ$)

Δ = $(\rho_s / \rho_w - 1)$ massa relativa del masso

ρ_w = peso specifico dell'acqua marina (kN/m^3)

ρ_s = peso specifico del masso (kN/m^3)

D_{n50} = diametro nominale del masso, $D_{n50} = (W_{50} / \gamma_m)^{1/3}$ (m)

W_{50} = valore del peso corrispondente al 50% nella curva di distribuzione (kN)

P = coefficiente di permeabilità della struttura (= 0.4 per scogliere convenzionali)

S = livello di danneggiamento ammesso, $S = A / D_{n50}^2$ (v. tab. 1)

A = area erosa nella sezione

N = numero di onde (tipicamente tra 1000 e 7500).

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Il parametro critico di surf per paramenti ripidi ($\cot\alpha < 3$) è calcolato come

$$\xi_{mc} = \left[6.2 P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha} \right]^{\frac{1}{P+0.5}} \quad (29)$$

mentre per pendenze lievi ($\cot\alpha > 3$) è pari a:

$$\xi_{mc} = \left[3.58 P^{0.31} \right]^{\frac{1}{P+0.5}} \quad (30)$$

Pendenza	Livello di danno S		
	Danno iniziale	Danno intermedio	Danno totale
1:1.5	2	3-5	8
1:2	2	4-6	8
1:3	2	6-9	12
1:4	3	8-12	17
1:6	3	8-12	17

Tabella 21: Livelli di danno per mantellate in doppio strato in funzione della pendenza

Esplicitando le espressioni di Van der Meer in funzione del grado di danneggiamento S, si è proceduto a verificare il livello di danno corrispondente al masso naturale adottato per la sezione A-A. Dai calcoli effettuati si perviene ad un valore di S pari a 2.26, valore più che accettabile considerato.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Table VI-5-23 CEM			
<i>Rock, Two-Layer Armored Non-Overtopped Slopes</i>			
<i>(Van der Meer 1988)</i>			
$\rho_w =$	10.1	kN/m ³	Peso Specifico dell'acqua marina
$\rho_s =$	25.5	kN/m ³	Peso Specifico dei massi della mantellata
$\Delta =$	1.52	-	$(\rho_s / \rho_w) - 1$
$H_s =$	2.1	m	Altezza d'onda di calcolo (comprensiva di sovrizzo)
$D_{n50} =$	1.0	m	Diametro nominale del masso
$P =$	0.40		Permeabilità nominale
$\cotg \alpha =$	1.50	-	Inclinazione del paramento esterno
$T_{om} =$	8.5	s	Periodo medio d'onda in acqua profonda
$L_{om} =$	114	m	Lunghezza d'onda in acqua profonda
$s_m =$	0.02	-	Ripidità dell'onda (H_s/L_{om})
$Nz =$	3000	-	Numero di onde
$\zeta_m =$	4.90	-	Surf Similarity Parameter
$\zeta_{mc} =$	4.42	-	Parametro di transizione
		1.29	(VI-5-68)
		2.26	(VI-5-69)
S =	2.26		Grado di danneggiamento

Tabella 22: Sez. Corrente A- A Determinazione grado di danneggiamento corrispondente al masso scelto

Lo spessore teorico r dello strato di copertura della mantellata può essere determinato tramite la seguente relazione:

$$r = nK_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_s} \right)^{1/3} \quad (31)$$

con K_{Δ} , coefficiente di forma, ricavato dalla tabella 23.

A valle dei calcoli effettuati e come riportato negli elaborati progettuali, la mantellata della scogliera presenterà uno spessore pari a 3.0 m in testata, di 2.0 m nella parte di riva ed uno spessore di 2.3 m lungo la parte di transizione.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Armor Unit	n	Placement	Layer Coefficient k_A	Porosity P (percent)
Quarrystone (smooth) ¹	2	Random	1.02	38
Quarrystone (rough) ²	2	Random	1.00	37
Quarrystone (rough) ²	≥3	Random	1.00	40
Quarrystone (parallepiped) ³	2	Special	--	27
Quarrystone ⁴	Graded	Random	--	37
Cube (modified) ¹	2	Random	1.10	47
Tetrapod ¹	2	Random	1.04	50
Tribar ¹	2	Random	1.02	54
Tribar ¹	1	Uniform	1.13	47
dolos ⁵	2	Random	0.94	56
Core-Loc ⁶	Vol. < 5 m ³	Random	1.51	60
	5 < Vol. < 12 m ³			63
	12 < Vol. < 22m ³			64
Accropod ⁷	Vol. < 5 m ³	Random	1.51	57
	5 < Vol. < 12 m ³			59
	12 < Vol. < 22m ³			62

¹ Hudson (1974)
² Carver and Davidson (1983)
³ Layer thickness is twice the average long dimension of the parallelepiped stones. Porosity is estimated from tests on one layer of uniformly placed modified cubes (Hudson 1974).
⁴ The minimum layer thickness should be twice the cubic dimension of the W_{50} riprap. Check to determine that the graded layer thickness is ≥1.25 the cubic dimension of the W_{max} riprap (see Equations VI-5-119 and VI-5-120).
⁵ Carver and Davidson (1977)
⁶ Turk and Melby (1997)
⁷ Accropod informational brochure

Tabella 23: Sez. Corrente A- A Determinazione grado di danneggiamento corrispondente al massa scelto(CEM)

6.3 Strato filtro

Le opere a gettata sono costituite da elementi di dimensioni e peso decrescenti dall'esterno verso l'interno, in relazione alla funzione che devono assolvere. Si è infatti visto che la mantellata, dovendo resistere alle dirette sollecitazioni del moto ondoso, presenterà massi di dimensioni maggiori, che nel caso in esame variano dalla IV alla II categoria, progressivamente decrescenti dalla testata verso la radice della diga di sottoflutto. Il corpo centrale delle opere a gettata è realizzato in tout-venant di cava, ossia in materiale lapideo di pezzatura assortita con peso variabile tra 0.5 e 500 kg. Per evitare il sifonamento di questo materiale attraverso gli strati più esterni di dimensioni maggiori e quindi più porosi, tra il nucleo e la mantellata viene interposto uno strato filtro, realizzato attraverso la posa in opera di un doppio strato di massi naturali di I categoria.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Le dimensioni dei massi che costituiscono il filtro sono state ricavate a partire dalla consolidata regola empirica secondo la quale questo deve essere realizzato da elementi di peso compreso fra 1/10 ed 1/15 del peso dei massi utilizzati per la formazione della mantellata.

Per il calcolo dello spessore minimo del filtro si è impiegata la seguente espressione:

$$r = nK_{\Delta} \left(\frac{W}{\gamma_s} \right)^{1/3} \quad (32)$$

con K_{Δ} coefficiente di forma..

Assumendo per W il valore del peso medio degli elementi formanti lo strato filtro, l'espressione (10) fornisce come spessore minimo da attribuire al filtro un valore ovunque di 1.20 m, tranne che in prossimità della testata, corrispondente alla sezione di calcolo C, per la quale risulta necessario uno spessore minimo di 1.30 m.

6.4 Quote di progetto

La valutazione del run-up e della portata di tracimazione sono fondamentali per la determinazione della quota sommitale della berma e del muro paraonde di una diga frangiflutti. La scelta di tali valori, oltre ad essere dettata da considerazioni idrauliche, esecutive, economiche, estetiche e funzionali, è legata alle attività che dovranno essere eseguite nelle aree ubicate sul lato interno della diga stessa, per lo svolgimento delle quali si persegue l'obiettivo di raggiungere un sufficiente grado di sicurezza nei confronti della tracimazione ondosa.

6.4.1.1 Valutazione del run-up

La massima risalita ondosa lungo il paramento esterno della mantellata, viene determinata mediante le procedure riportate nel Coastal Engineering Manual (2011), secondo la formulazione proposta da Delft Hydraulics, di seguito riportata:

$$\frac{R_{ur\%}}{H_s} = \begin{cases} A \cdot \xi_{0m} & \text{per } 1.0 < \xi_{0m} \leq 1.5 \\ B \cdot (\xi_{0m})^C & \text{per } 1.5 < \xi_{0m} \leq (D/B)^{1/C} \\ D & \text{per } (D/B)^{1/C} < \xi_{0m} \leq 7.5 \end{cases} \quad (33)$$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

ove i valori dei parametri A, B, C e D risultano tabellati in funzione della probabilità di superamento $i\%$.

Table VI-5-5 CEM

$i\%$	A	B	C	D
0.1	1.12	1.34	0.55	2.58
2	0.96	1.17	0.46	1.97
5	0.86	1.05	0.44	1.68
10	0.77	0.94	0.42	1.45
(Significativo)	0.72	0.88	0.41	1.35
50 (Medio)	0.47	0.6	0.34	0.82

Tale equazione è stata ricavata da esperienze effettuate in laboratorio e risulta valida sotto le seguenti condizioni:

- rock armoured slopes (con permeabilità globale $P=0.5$)
- irregular long crested head-on waves;
- relative deep water condition (con spettro ondoso simile alla distribuzione di Rayleigh).

La determinazione della massima risalita ondosa con probabilità di superamento del 2% è stata eseguita sulla sezione F-F, che risulta dimensionante per via della maggiore altezza del moto ondoso. Ipotizzando quindi un attacco dell'onda in direzione ortogonale, si è pervenuti ad un valore di $R_{u2\%}$ pari a 6.50 m. Tale valutazione risulta di prima approssimazione e deve essere validata, prima della realizzazione dell'opera, per mezzo di idonea modellazione fisica bidimensionale, come avvalorato dai maggiori run-up osservati dagli autori (Delft Hydraulics, Van der Meer e Stam, 1992) durante le prove di laboratorio.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Parametri di progetto			
$\gamma_w =$	10.1	kN/m ³	Peso Specifico dell'acqua marina
$\text{tang } \alpha =$	3/5	-	Inclinazione del paramento esterno
$H_s =$	3.3	m	Altezza d'onda di calcolo (comprensiva di sovrizzo)
$T_{om} =$	8.5	s	Periodo medio d'onda in acqua profonda
$L_{om} =$	114	m	Lunghezza d'onda in acqua profonda corrispondente al periodo medio
$s_{om} =$	0.03	-	Ripidità dell'onda (H_s/L_{om})
$\xi_{om} =$	3.5	-	Surf Similarity Parameter (Iribarren)
<i>SURGING</i>			Tipo di Frangente
$R_{ui\%} / H_s =$	2.0	-	VI-5-13
$R_{ui\%} =$	6.5	m	Altezza di run-up con superamento % = 2

Tabella 24: Sez. F – F Altezza di risalita con probabilità di essere superata pari al 2%

6.4.1.2 Determinazione dell'overtopping

La portata media di tracimazione q_m rappresenta ad oggi, almeno nella pratica progettuale, il valore attraverso cui è possibile valutare l'efficienza funzionale dell'opera che si va a realizzare nei confronti di possibili sormonti delle onde incidenti. Attraverso questo parametro si concilia quindi le necessità di mantenere le quote sommitali più basse possibili, così da consentire un migliore aspetto estetico e paesaggistico (visione del mare), senza per questo dover rinunciare alla sicurezza da garantita sulle banchine retrostanti, in relazione alle attività previste dal Piano Regolatore Portuale.

Per il calcolo della portata media di tracimazione q_m (l/s per m), a tergo della berma di sommità della nuova diga sottoflutto e del retrostante muro paraonde, si applica l'espressione empirica di Owen (1980) (Conceptual design of rubble mound breakwaters-1993):

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 8 \cdot 10^{-5} \cdot \exp\left(3.1 \cdot \frac{R_{u2\%} - R_c}{H_s}\right) \quad (34)$$

con R_c la quota di sommità della scogliera misurata a partire dal livello medio del mare.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Come si rileva dagli elaborati grafici, assunto per R_c il valore di 5.50 m s.l.m.m. e per $R_{u2\%}$ il valore di 6.60 m, precedentemente calcolato, si ottiene una portata media di tracimazione pari a 0.20 l/s per metro lineare di coronamento.

È stata inoltre applicata la formulazione probabilistica riportata nel capitolo 6 dell'*EurOtop - Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual* (2007), di seguito riportata:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.2 \cdot C_r \cdot \exp\left(-2.3 \frac{R_c}{H_s \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta}\right) \quad (35)$$

dove:

H_{m0} è l'altezza d'onda significativa al piede della diga marittima, calcolata in via spettrale $H_{m0} = (4 \cdot m_0)^{1/2}$ con m_0 momento d'ordine zero dello spettro d'energia d'onda;

$\tan \alpha$ indica la pendenza della struttura;

$\xi_{m-1,0}$ è l'indice di frangimento al piede della diga;

γ_f fattore di riduzione della risalita dell'onda per effetto della rugosità della struttura, i cui valori sono tabellati in funzione del tipo di masso adottato;

γ_β fattore di riduzione dovuto alla obliquità dell'attacco ondososo;

R_c quota sommitale del muro paraonde sul l.m.m.;

A_c quota sommitale della berma orizzontale della mantellata sul l.m.m.;

C_r fattore di riduzione per tener conto della berma, determinato mediante la seguente espressione:

$$C_r = 3.06 \cdot \exp(-1.5 \cdot G_c / H_{m0}) \quad (36)$$

Tale formulazione, valida per $\xi_{m-1,0} < 5$ e per $R_c = A_c$, porge un valore della portata massima di tracimazione pari a 0.56 l/s per metro di coronamento.

Mediando i valori appena ricavati, si perviene ad un valore della portata media di tracimazione pari a 0.38 l/s per m, per il quale, come si evince dall'abaco riportato in Figura 12, è opportuno prevedere un sistema di allerta che interdice l'uso della parte di banchina interessata (peraltro limitata ad appena 20÷30 m) dal fenomeno di tracimazione, almeno durante le mareggiate più severe. Considerato che la direzione di

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

propagazione delle onde di maggiore altezza significativa risulta prevalentemente tangente allo sviluppo planimetrico della diga di sottoflutto, tali sormonti sono attesi prevalentemente solo in prossimità della testata.

Tuttavia, poiché le precedenti formulazioni si fondano su espressioni empiriche ricavate a partire da sperimentazioni in laboratorio, non sempre perfettamente riconducibili al caso specifico, si consiglia di effettuare, prima della realizzazione dell'opera, opportune prove su modello fisico bidimensionale, mirate a valutare la portata di tracimazione, con l'obiettivo di ottimizzare la geometria della diga di sottoflutto, con conseguenti vantaggi di carattere tecnico ed economico.

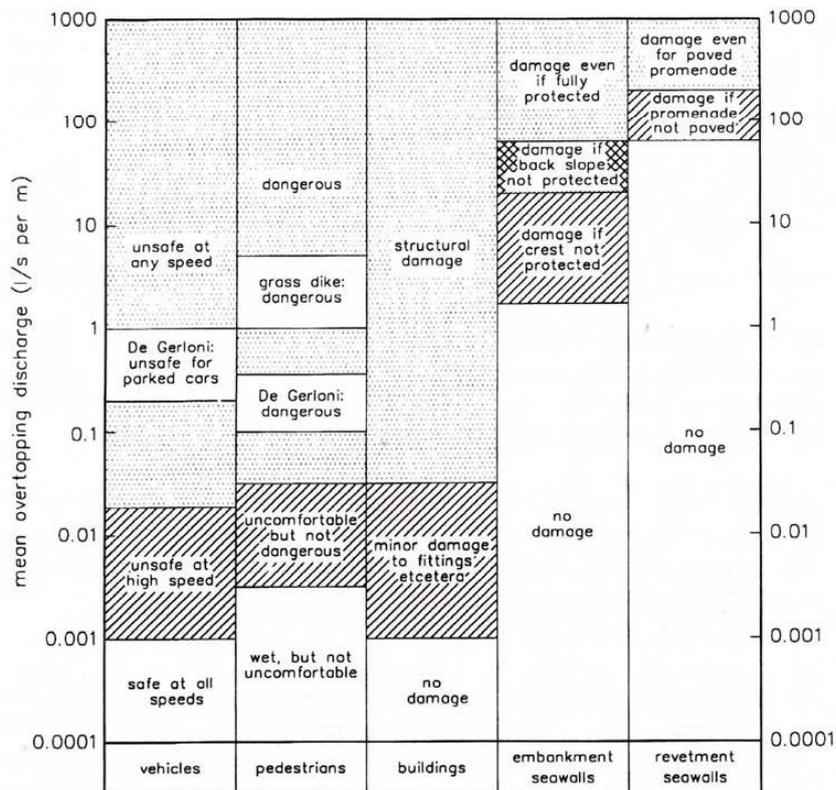


Figura 11: Portate critiche di overtopping (J. W. Van der Meer .- 1993).

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

6.5 Verifiche del muro paraonde

6.5.1 Verifiche SLU

Il muro paraonde della diga di sottoflutto è una struttura in calcestruzzo cementizio debolmente armato resistente per gravità alle azioni indotte dal moto ondoso. Non disponendo di misure dirette delle pressioni agenti lungo la superficie di perimetrazione del muro stesso, per la determinazione delle azioni idrodinamiche agenti sul paramento esterno e delle sottospinte esercitate si è adottata la formulazione di F. L. Martin et al. (Coastal Engineering, 1999).

Con riferimento allo schema di calcolo adottato e di seguito riportato in Figura 13, si precisa che la verifica allo scorrimento viene eseguita sul piano inclinato che va dal punto A (centro di istantanea rotazione) al punto B (posto sul lato interno del taglione) che forma con l'orizzontale un angolo β pari a del 7.1° . Pertanto, nella suddetta verifica in luogo del coefficiente di attrito opera-terreno si considera il coefficiente di attrito terreno-terreno, calcolato a partire dall'angolo di attrito residuo, o a volume costante, ϕ'_{cv} pari a 37.5° per cui si verifica la rottura a taglio del terreno.

Le verifiche effettuate risultano sempre soddisfatte. Nel calcolo dei diagrammi delle pressioni di up-lift, a vantaggio di sicurezza, non si è valutata la presenza degli sfiati.

Si riportano i risultati delle elaborazioni effettuate.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a getta

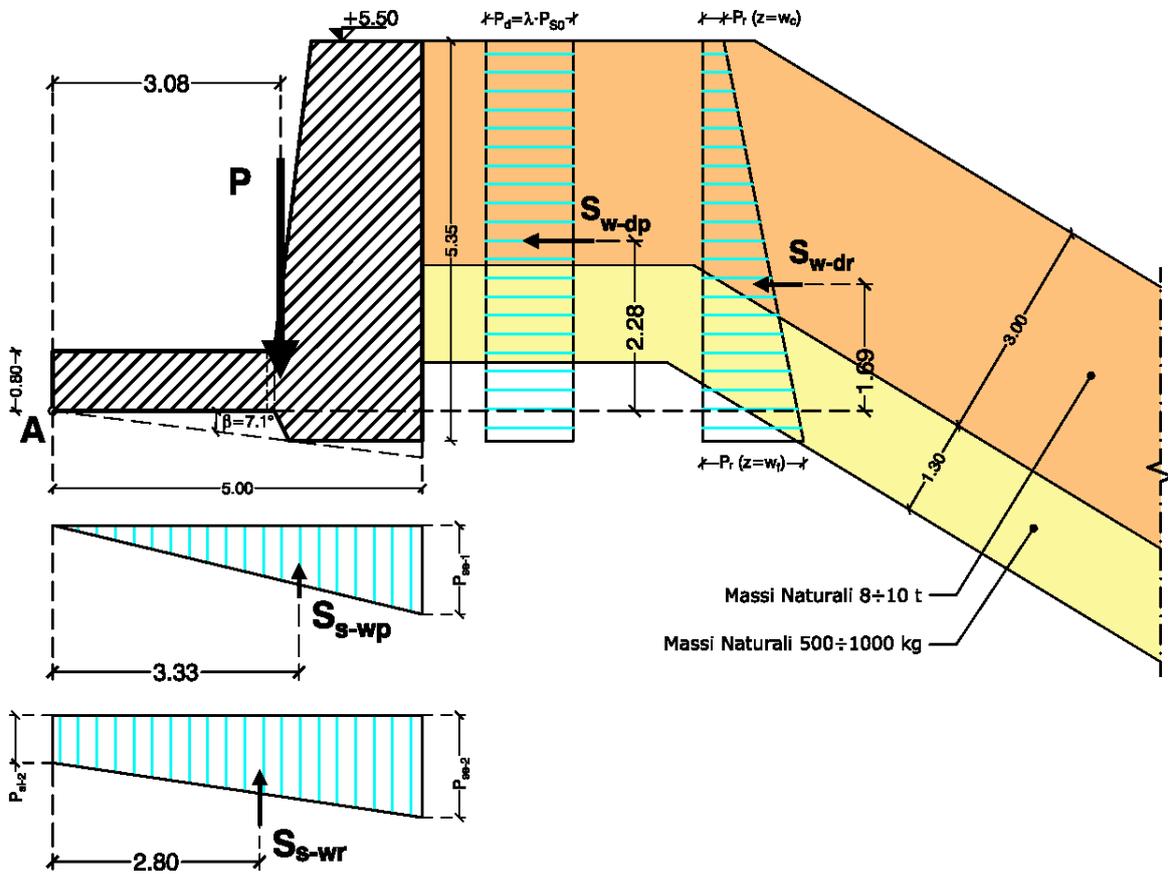


Figura 12: Schema geometrico per il calcolo delle azioni agenti sul muro paraonde della diga di sottoflutto. Scala geometrica 1:100; Scala delle pressioni 1cm=15 kN/m².

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Calcolo delle Azioni

Peso Proprio del muro paraonde e relativo momento rispetto al polo A

N_{p-p}	294.49	kN per m
b_{p-p}	3.49	m
M_{p-p}	1111.57	kN/m per m

Spinte idrodinamiche orizzontali, sottospinte e relativo momento rispetto al polo A

Spinta orizzontale - Dynamic Pressures			Sottospinta - Dynamic Pressures		
S_{w-dp}	95.23	kN per m	S_{S-dp}	44.50	kN per m
b_{w-dp}	2.28	m	b_{S-dp}	3.33	m
M_{w-dp}	216.65	kN/m per m	M_{S-dp}	148.33	kN/m per m

Spinta orizzontale - Reflecting Pressures			Sottospinta - Dynamic Pressures		
S_{w-rp}	66.34	kN per m	S_{S-rp}	75.35	kN per m
b_{w-rp}	1.69	m	b_{S-rp}	2.80	m
M_{w-rp}	112.28	kN/m per m	M_{S-rp}	211.00	kN/m per m

Si precisa che i valori delle spinte idrodinamiche e delle sottospinte relative al primo (Dynamic Pressures) ed al secondo (Reflecting Pressures) picco devono essere valutati alternativamente nelle verifiche di stabilità del muro paraonde.

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

6.5.1.1 Verifica a scorrimento: Approccio 1 – Combinazione 1 (A1+M1+R1)

Primo picco - Dynamic Pressures

Inclinazione β del piano di fondazione	[rad]	[°]
	0.124355	7.1

Azioni		
Peso proprio (abbreviazione $p-p_N$)	294.49	(kN/m)
Spinta idrodinamica del moto ondoso - Dynamic Pressures - (abbreviazione $S_{w-dp,N}$)	95.23	(kN/m)
Sottospinta del moto ondoso - Dynamic Pressures - (abbreviazione $S_{s-dp,N}$)	44.50	(kN/m)

	γ	F_N	F_T
	[-]	(kN/m)	(kN/m)
Componenti ortogonali al piano inclinato			
Peso proprio (abbreviazione $p-p_N$)	1.0	292.2	-
Spinta idrodinamica del moto ondoso (abbreviazione $w-dp,N$)	0.0	11.8	-
Sottospinta del moto ondoso (abbreviazione $s-dp,N$)	1.5	44.2	-
Componenti parallele al piano inclinato			
Peso proprio (abbreviazione $p-p_T$)	1.0	-	36.53
Spinta idrodinamica del moto ondoso (abbreviazione $w-dp,T$)	1.5	-	94.49
Sottospinta del moto ondoso (abbreviazione $s-dp,T$)	1.5	-	5.52

Determinazione del coefficiente di attrito μ terreno-terreno	ϕ'_{cv}	γ_ψ	$\phi'_d = \tan^{-1}[\tan(\phi'_{cv})/\gamma_d]$	$\mu = \tan(\phi'_d)$
	[°]	[-]	[°]	[-]
	37.5	1.0	37.5	0.8

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO: Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1)		
Calcolo di $R_d = \mu \cdot (\gamma_{G,fav} \cdot F_{p-p,N} + \gamma_{Q,fav} \cdot F_{w-dp,N} - \gamma_{Q,sfav} \cdot F_{s-dp,N})$	173.40	[kN]
Calcolo di $E_d = \gamma_{Q,sfav} \cdot (F_{w-dp,T} + F_{s-dp,T}) - \gamma_{G,fav} \cdot F_{p-p,T}$	113.49	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R \rightarrow \rightarrow 1.53 > 1.0$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Secondo picco - Reflecting Pressures

Inclinazione β del piano di fondazione	[rad]	[°]
	0.124355	7.1

Azioni		
Peso proprio (abbreviazione $p-p_N$)	294.49	(kN/m)
Spinta idrodinamica del moto ondoso - Reflecting Pressures - (abbreviazione $S_{w-dr,N}$)	66.34	(kN/m)
Sottospinta del moto ondoso - Reflecting Pressures - (abbreviazione $S_{s-dr,N}$)	75.35	(kN/m)

	γ	F_N	F_T
	[-]	(kN/m)	(kN/m)
Componenti ortogonali al piano inclinato			
Peso proprio (abbreviazione $p-p_N$)	1.0	292.2	-
Spinta idrodinamica del moto ondoso (abbreviazione $w-dr,N$)	0.0	8.2	-
Sottospinta del moto ondoso (abbreviazione $s-dr,N$)	1.5	74.8	-
Componenti parallele al piano inclinato			
Peso proprio (abbreviazione $p-p_T$)	1.0	-	36.53
Spinta idrodinamica del moto ondoso (abbreviazione $w-dr,T$)	1.5	-	65.83
Sottospinta del moto ondoso (abbreviazione $s-dr,T$)	1.5	-	9.35

Determinazione del coefficiente di attrito μ terreno-terreno	ϕ'_{cv}	γ_ϕ	$\phi'_d = \tan^{-1}[\tan(\phi'_{cv})/\gamma_\phi]$	$\mu = \tan(\phi'_d)$
	[°]	[-]	[°]	[-]
	37.5	1.0	37.5	0.8

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO: Approccio 1 - Combinazione 1 (A1+M1+R1)		
Calcolo di $R_d = \mu \cdot (\gamma_{G,fav} \cdot F_{p-p,N} + \gamma_{Q,fav} \cdot F_{w-dr,N} - \gamma_{Q,sfav} \cdot F_{s-dr,N})$	138.17	[kN]
Calcolo di $E_d = \gamma_{Q,sfav} \cdot (F_{w-dr,T} + F_{s-dr,T}) - \gamma_{G,fav} \cdot F_{p-p,T}$	76.23	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R \rightarrow \rightarrow \rightarrow 1.81 > 1.0$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

6.5.1.2 Verifica a scorrimento: Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2)

Primo picco - Dynamic Pressures

Inclinazione β del piano di fondazione	[rad]	[°]
	0.124355	7.1

Azioni		
Peso proprio (abbreviazione $p-p_N$)	294.49	[kN]
Spinta idrodinamica del moto ondoso - Dynamic Pressures - (abbreviazione $S_{w-dp,N}$)	95.23	[kN]
Sottospinta del moto ondoso - Dynamic Pressures - (abbreviazione $S_{s-dp,N}$)	44.50	[kN]

	coefficienti SLU		
	Coeff. Parziali γ	F_N	F_T
	[-]	[kN]	[kN]
Componenti ortogonali al piano inclinato			
Peso proprio (abbreviazione $p-p_N$)	1.0	292.2	-
Spinta idrodinamica del moto ondoso (abbreviazione $w-dp,N$)	0.0	11.8	-
Sottospinta del moto ondoso (abbreviazione $s-dp,N$)	1.3	44.2	-
Componenti parallele al piano inclinato			
Peso proprio (abbreviazione $p-p_T$)	1.0	-	36.53
Spinta idrodinamica del moto ondoso (abbreviazione $w-dp,T$)	1.3	-	94.49
Sottospinta del moto ondoso (abbreviazione $s-dp,T$)	1.3	-	5.52

Determinazione del coefficiente di attrito statico μ opera-terreno	ϕ'	γ_ψ	$\phi'_d = \tan^{-1}[\tan(\phi')/\gamma_d]$	$\mu = \tan(\phi'_d)$
	[°]	[-]	[°]	[-]
	37.5	1.3	31.5	0.6

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO: Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2)		
Calcolo di $R_d = \mu \cdot (\gamma_{G,fav} \cdot F_{p-p,N} + \gamma_{Q,fav} \cdot F_{w-dp,N} - \gamma_{Q,sfav} \cdot F_{s-dp,N})$	144.14	[kN]
Calcolo di $E_d = \gamma_{Q,sfav} \cdot (F_{w-dp,T} + F_{s-dp,T}) - \gamma_{G,fav} \cdot F_{p-p,T}$	93.49	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R \rightarrow \rightarrow \rightarrow 1.54 > 1.1$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Secondo picco - Reflecting Pressures

Inclinazione β del piano di fondazione	[rad]	[°]
	0.124355	7.1

Azioni		
Peso proprio (abbreviazione $p-p_N$)	294.49	[kN]
Spinta idrodinamica del moto ondoso - Reflecting Pressures - (abbreviazione $S_{w-dr,N}$)	66.34	[kN]
Sottospinta del moto ondoso - Reflecting Pressures - (abbreviazione $S_{s-dr,N}$)	75.35	[kN]

	coefficienti SLU		
	Coeff. Parziali γ	F_N	F_T
	[-]	[kN]	[kN]
Componenti ortogonali al piano inclinato			
Peso proprio (abbreviazione $p-p_N$)	1.0	292.2	-
Spinta idrodinamica del moto ondoso (abbreviazione $w-dr,N$)	0.0	8.2	-
Sottospinta del moto ondoso (abbreviazione $s-dr,N$)	1.3	74.8	-
Componenti parallele al piano inclinato			
Peso proprio (abbreviazione $p-p_T$)	1.0	-	36.53
Spinta idrodinamica del moto ondoso (abbreviazione $w-dr,T$)	1.3	-	65.83
Sottospinta del moto ondoso (abbreviazione $s-dr,T$)	1.3	-	9.35

Determinazione del coefficiente di attrito statico μ opera-terreno	ϕ'	γ_ψ	$\phi'_d = \tan^{-1}[\tan(\phi')/\gamma_\psi]$	$\mu = \tan(\phi'_d)$
	[°]	[-]	[°]	[-]
	37.5	1.3	31.5	0.6

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO: Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2)		
Calcolo di $R_d = \mu \cdot (\gamma_{G,fav} \cdot F_{p-p,N} + \gamma_{Q,fav} \cdot F_{w-dr,N} - \gamma_{Q,sfav} \cdot F_{s-dr,N})$	119.71	[kN]
Calcolo di $E_d = \gamma_{Q,sfav} \cdot (F_{w-dr,T} + F_{s-dr,T}) - \gamma_{G,fav} \cdot F_{p-p,T}$	61.20	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R \rightarrow \rightarrow \rightarrow 1.96 > 1.1$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

6.5.1.3 Verifiche al ribaltamento: Combinazione A_{EQU}+M2

Primo picco - Dynamic Pressures

A _{EQU}			M2	
$\gamma_{G,fav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	γ_{ψ}	γ_{γ}
0.9	1.5	1.5	1.3	1.0
p-p	S _{w-dp}	S _{s-dp}	terreno	terreno

Momenti		
Peso proprio (abbreviazione p-p _N)	907.03	[(kN m)/m]
Spinta idrodinamica del moto ondoso - Dynamic Pressures - (abbreviazione S _{w-dp,N})	216.65	[(kN m)/m]
Sottospinta del moto ondoso - Dynamic Pressures - (abbreviazione S _{s-dp,N})	148.33	[(kN m)/m]

VERIFICA AL RIBALTAMENTO: Combinazione A _{EQU} +M2		
Calcolo di R _d = $\gamma_{G,fav} \cdot M_{p-p}$	816.33	[(kN m)/m]
Calcolo di E _d = $\gamma_{Q,sfav} \cdot (M_{w-dp} + M_{s-dp})$	547.47	[(kN m)/m]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	R _d /E _d > γ_R →→→ 1.49 > 1.0

Secondo picco - Reflecting Pressures

A _{EQU}			M2	
$\gamma_{G,fav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	γ_{ψ}	γ_{γ}
0.9	1.5	1.5	1.3	1.0
p-p	S _{w-dr}	S _{s-dr}	terreno	terreno

Momenti		
Peso proprio (abbreviazione p-p _N)	907.03	[(kN m)/m]
Spinta idrodinamica del moto ondoso - Reflecting Pressures - (abbreviazione S _{w-dr,N})	112.28	[(kN m)/m]
Sottospinta del moto ondoso - Reflecting Pressures - (abbreviazione S _{s-dr,N})	211.00	[(kN m)/m]

VERIFICA AL RIBALTAMENTO: Combinazione A _{EQU} +M2		
Calcolo di R _d = $\gamma_{G,fav} \cdot M_{p-p}$	816.33	[(kN m)/m]
Calcolo di E _d = $\gamma_{Q,sfav} \cdot (M_{w-dr} + M_{s-dr})$	484.92	[(kN m)/m]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	R _d /E _d > γ_R →→→ 1.68 > 1.0

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

6.5.1.4 Verifica capacità portante: Approccio 2 – Combinazione (A1 + M1 + R3)

Primo picco - Dynamic Pressures

	Coeff. Parziali γ	Azioni		Momenti	
		F_o	F_v	M_{stab}	M_{rib}
		<i>(kN/m)</i>	<i>(kN/m)</i>	<i>[(kN m)/m]</i>	<i>[(kN m)/m]</i>
Peso proprio (<i>abbreviazione p-p_N</i>)	1.0	-	294.49	907.03	-
Spinta idrod. m. o. - Dynamic Pressures - (<i>abbrev. S_{w-dp,N}</i>)	1.5	95.23	-	-	216.65
Sottospinta. m.o.- Dynamic Pressures - (<i>abbrev. S_{s-dp,N}</i>)	1.5	-	44.50	-	148.33

Determinazione angolo di attrito di progetto	ϕ'_{cv}	γ_ψ	$\phi'_d = \tan^{-1}[\tan(\phi'_{cv})/\gamma_\psi]$
	[°]	[-]	[°]
	37.5	1.0	37.5

Lunghezza L della sezione in fondazione dell'elem. Muro-Cassone	1.0	[m]
Larghezza B della sezione in fondazione dell'elem. Muro-Cassone	5.0	[m]
Pressione q a tergo del piano di posa della fondazione	0.0	[kN·m ⁻²]
Peso immerso dell'unità di volume γ' del pietrame di imbasamento	8.5	[kN·m ⁻³]
Coesione efficace c del pietrame di imbasamento	0.0	[kPa]

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

VERIFICA ALLO SCHIACCIAMENTO: Approccio 2 - Combinazione (A1+M1+R3)				
Calcolo di $E_d = \gamma_{G,fav} \cdot F_{v,Tot} - \gamma_{Q,sfav} \cdot F_{v,s-dp}$			227.74	[kN]
Calcolo di $M_A = \gamma_{G,fav} \cdot M_{stab,p-p} - \gamma_{Q,sfav} \cdot (M_{rib,w-dp} + M_{rib,s-dp})$			359.6	[kN·m]
Calcolo dell'eccentricità in fondazione $e = B/2 - M_A/E_d$			0.92	[m]
Calcolo della distanza u tra il punto di applicazione della risultante delle forze e il lembo compresso della sez.			1.58	[m]
Calcolo della larghezza ridotta della fondazione $B' = 2 \cdot u$			3.16	[m]
Calcolo dell'angolo $\alpha = \text{tg}^{-1}(H/V) = \text{tg}^{-1}[\gamma_{Q,sfav} \cdot F_{o,w-dp} / (\gamma_{G,fav} \cdot F_{v,p-p} - \gamma_{Q,sfav} \cdot F_{v,s-dp})]$			32.1	[°]
Fattori di capacità portante	$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi/2) \cdot e^{-\pi \text{tg} \phi}$ (Prandtl, 1921)		$N_c = (N_q - 1) / \text{tg} \phi$ (Reissner, 1924)	$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg} \phi$ (Vesic, 1970)
	$N_q =$	45.81	$N_c =$	58.4
Fattori di inclinazione	$i_q = [1 - 0.5 \cdot H / (V + B' \cdot L \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi)]^2$ (Hansen, 1970)		$i_c = i_q - [(1 - i_q) / (1 - N_q)]$ (Hansen-Vesic, 1973)	$i_\gamma = [1 - 0.7 \cdot H / (V + B' \cdot L \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi)]^3$ (Hansen, 1970)
	$i_q =$	0.48	$i_c =$	0.49
Fattori di Profondità	$d_q = 1 + 2k \cdot \tan \phi \cdot (1 - \text{sen} \phi)^2$ (Brinch-Hansen, 1970)		$d_c = 1 + 0.4 \cdot k$ (Brinch-Hansen, 1970)	$d_\gamma = 1$ (Brinch-Hansen, 1970)
	$d_q =$	1.00	$d_c =$	1.0
	con k uguale a $D/B = 0.00$ [m] per $D/B < 1$			
Pressione q a tergo del piano di posa della fondazione			0.0	[kN·m ²]
Peso immerso dell'unità di volume γ' del pietrame di imbasamento			8.5	[kN·m ³]
Coesione efficace c del pietrame di imbasamento			0.0	[kPa]
Calcolo di $R_d = L \cdot B' \cdot (c' \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 1/2 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma)$			560.00	[kN]
La verifica allo schiacciamento risulta:			soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R$ →→→ 2.46 > 2.3

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Secondo picco - Reflecting Pressures

	Coeff. Parziali γ	Azioni		Momenti	
		F_o	F_v	M_{stab}	M_{rib}
		(kN/m)	(kN/m)	[(kN m)/m]	[(kN m)/m]
Peso proprio (abbreviazione $p-p_N$)	1.0	-	294.49	907.03	-
Spinta idrod.m. o. - Dynamic Pressures - (abbrev. $S_{w-dp,N}$)	1.5	66.34	-	-	112.28
Sottospinta m. o. - Dynamic Pressures - (abbrev. $S_{s-dp,N}$)	1.5	-	75.35	-	211.00

Determinazione angolo di attrito di progetto	ϕ'_{cv}	γ_ψ	$\phi'_d = \tan^{-1}[\tan(\phi'_{cv})/\gamma_d]$
	[°]	[-]	[°]
	37.5	1.0	37.5

Lunghezza L della sezione in fondazione dell'elem. Muro-Cassone	1.0	[m]
Larghezza B della sezione in fondazione dell'elem. Muro-Cassone	5.0	[m]
Pressione q a tergo del piano di posa della fondazione	0.0	[kN·m ²]
Peso immerso dell'unità di volume γ' del pietrame di imbasamento	8.5	[kN·m ³]
Coesione efficace c del pietrame di imbasamento	0.0	[kPa]

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

VERIFICA ALLO SCHIACCIAMENTO: Approccio 2 - Combinazione (A1+M1+R3)					
Calcolo di $E_d = \gamma_{G,fav} \cdot F_{v,Tot} - \gamma_{Q,sfav} \cdot F_{v,s-dr}$				181.47	[kN]
Calcolo di $M_A = \gamma_{G,fav} \cdot M_{stab,p-p} - \gamma_{Q,sfav} \cdot (M_{rib,w-dr} + M_{rib,s-dr})$				422.1	[kN·m]
Calcolo dell'eccentricità in fondazione $e = B/2 - M_A/E_d$				0.17	[m]
Calcolo della larghezza ridotta della fondazione $B' = B - 2 \cdot e$				4.65	[m]
Calcolo dell'angolo $\alpha = \text{tg}^{-1}(H/V) = \text{tg}^{-1}[\gamma_{Q,sfav} \cdot F_{o,w-dr} / (\gamma_{G,fav} \cdot F_{v,p-p} - \gamma_{Q,sfav} \cdot F_{v,s-dr})]$				28.7	[°]
Fattori di capacità portante	$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{\pi \text{tg} \phi'} \text{ (Prandtl, 1921)}$		$N_c = (N_q - 1) / \text{tg} \phi' \text{ (Reissner, 1924)}$	$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg} \phi' \text{ (Vesic, 1970)}$	
	$N_q =$	45.81	$N_c =$	58.4	$N_\gamma =$ 71.8
Fattori di inclinazione	$i_q = [1 - 0.5 \cdot H / (V + B' \cdot L \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi')]^2 \text{ (Hansen, 1970)}$		$i_c = i_q - [(1 - i_q) / (1 - N_q)] \text{ (Hansen-Vesic, 1973)}$	$i_\gamma = [1 - 0.7 \cdot H / (V + B' \cdot L \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi')]^3 \text{ (Hansen, 1970)}$	
	$i_q =$	0.54	$i_c =$	0.55	$i_\gamma =$ 0.25
Fattori di Profondità	$d_q = 1 + 2k \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \text{sen} \phi')^2 \text{ (Brinch-Hansen, 1970)}$		$d_c = 1 + 0.4 \cdot k \text{ (Brinch-Hansen, 1970)}$		$d_\gamma = 1 \text{ (Brinch-Hansen, 1970)}$
	$d_q =$	1.00	$d_c =$	1.0	$d_\gamma =$ 1.0
	con k uguale a D/B= 0.00 [m] per D/B<1				
Pressione q a tergo del piano di posa della fondazione				0.0	[kN·m ⁻²]
Peso immerso dell'unità di volume γ' del pietrame di imbasamento				8.5	[kN·m ⁻³]
Coesione efficace c del pietrame di imbasamento				0.0	[kPa]
Calcolo di $R_d = L \cdot B' \cdot (c' \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 1/2 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma)$				1640.92	[kN]
La verifica allo schiacciamento risulta:		soddisfatta		$R_d/E_d > \gamma_R \rightarrow \rightarrow \rightarrow$	9.04 > 2.3

Capo d'Anzio S.p.A.
C.D.M. n. 6586/2011

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

ALLEGATO 1

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

PREMESSE

La Società Capo d'Anzio S.p.A. ha conferito in data 26 marzo 2008 (Prot. Gen.le n. 31/2008) allo scrivente Prof. Ing. Paolo De Girolamo l'incarico professionale di consulenza riguardo a: "Relazione idraulico marittima e studi su modello" a supporto del Progetto Definitivo del Porto di Anzio.

Il presente rapporto, redatto ai sensi del DM 14/4/1998, riguarda lo studio meteo marino.

Per quanto riguarda i dati ondametrici si è fatto riferimento alle misure ondametriche direzionali (misure dirette) eseguite da luglio 1989 a luglio 2007 dalla boa accelerometrica di Ponza, facente parte della Rete Ondametrica Nazionale (RON). La serie storica dei dati ondametrici è stata preventivamente trasferita al largo di Anzio applicando il metodo di "trasposizione geografica" elaborato da Contini e De Girolamo.

In conformità a quanto previsto dal disciplinare di incarico, le analisi condotte hanno consentito di definire per il paraggio di Anzio:

- i fetch geografici ed efficaci e quindi i settori di traversia;
- il clima onda-metrico medio annuale e stagionale al largo e quello in costa in prossimità dell'imboccatura portuale;
- la statistica degli eventi estremi al largo;
- le funzioni di trasferimento che consentono di propagare le onde da largo a riva per diversi punti opportunamente scelti, in prossimità dell'imboccatura portuale, delle opere foranee e lungo la costa per la definizione delle onde di progetto e per l'analisi del trasporto solido costiero;
- le variazioni dei livelli idrici indotti sia dalla marea astronomica sia dalla marea meteorologica;
- il regime anemometrico (stazioni meteorologiche di Ponza, Pratica di Mare, Latina e Torre Olevola);
- le correnti;
- le caratteristiche delle onde di progetto

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

La propagazione delle onde da largo a riva è stata eseguita applicando il modello di rifrazione inversa spettrale Merope e per la trasposizione geografica è stato applicato il modello Sagitta.

UBICAZIONE ED ESPOSIZIONE DEL PARAGGIO AL MOTO ONDOSI

Ponendosi al largo del Porto di Anzio su fondali di circa -100 m, il paraggio è esposto al mare aperto per un ampio settore di traversia, delimitato a Nord-Ovest dalla foce del Tevere (320°N) e a Sud-est dal Monte Circeo (110°N). La località in cui è ubicato il porto si affaccia sul mar Tirreno ed è limitato a sud dalla costa siciliana (distante circa 300 Km), dalla costa nord africana (distante circa 500 Km) e infine ad est dalla costa sarda (distante circa 320 Km) – fig. 2.1.

Per un'analisi del settore di traversia, più propriamente mirata alla valutazione delle condizioni di possibile esposizione agli stati di mare, è ormai prassi consolidata fare riferimento, in luogo dei settori di traversia geografica, al cosiddetto fetch efficace che rappresenta la porzione di mare costituente, sotto l'azione diretta dei venti, l'area di generazione dell'evento di moto ondoso (vedi fig. 2.2).

A tal proposito si è proceduto, considerando i limiti geografici del settore di traversia valutando le porzioni di mare (fetch efficaci) effettivamente coinvolte dal fenomeno di generazione del moto ondoso. Introdotti i valori dei fetches geografici, relativi alle diverse direzioni contenute entro il settore di traversia del paraggio in esame, si determina il settore "efficace" (figg. 2.1 e 2.2) secondo il metodo descritto in appendice (modello ENIF). I fetches geografici sono limitati ad una estensione geografica massima di 500 km. Tale limitazione è dovuta al fatto che nel Mar Mediterraneo le perturbazioni cicloniche hanno estensioni massime dell'ordine dei 500 km.

Nel contempo si definisce la legge di deviazione direzionale tra la direzione media del vento e la direzione del moto ondoso generato (tab. 2.1). Il fetch efficace massimo che ne deriva è pari a circa 335 km ed è riferibile al settore sud-ovest (180°210°N - libeccio).

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

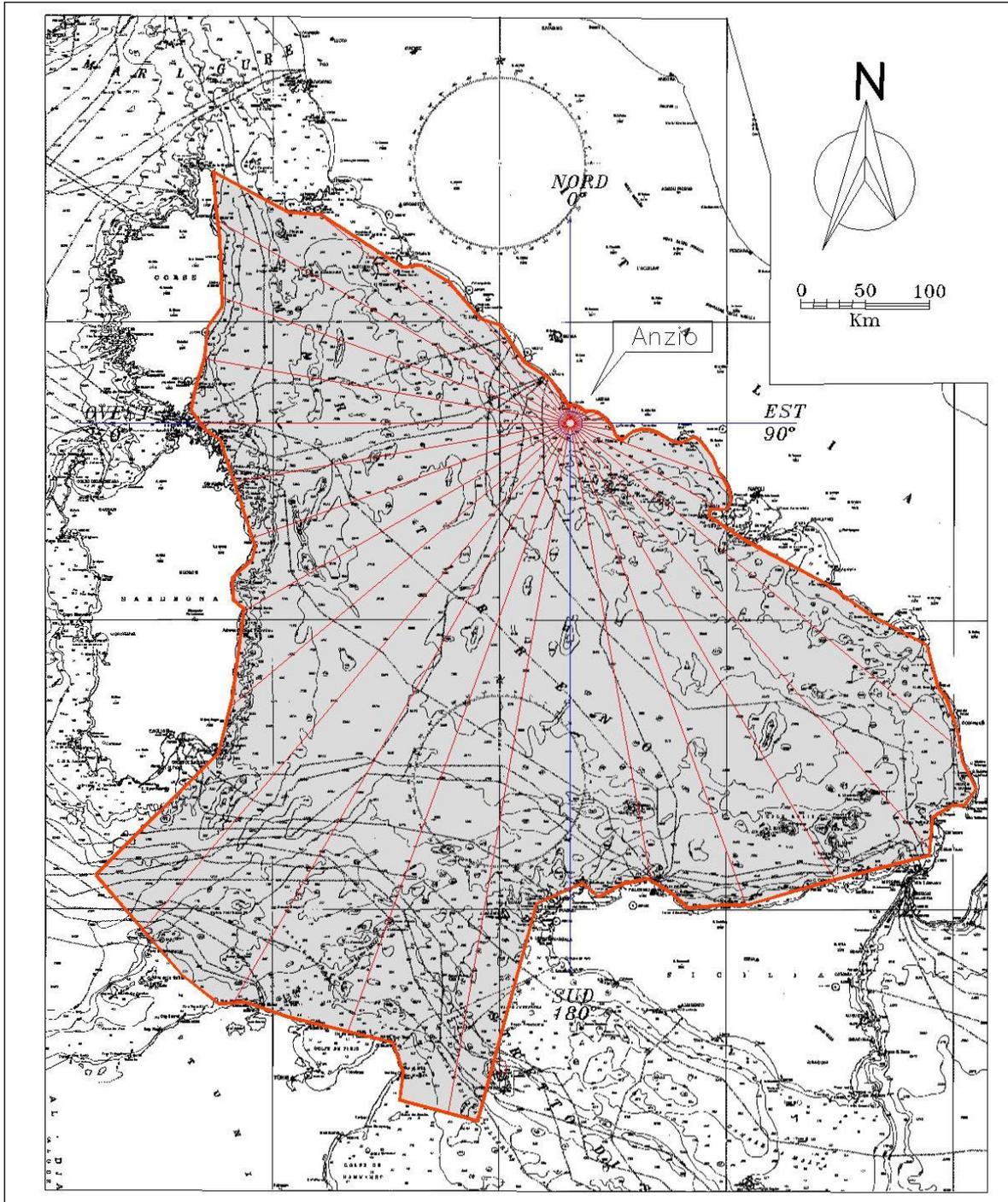


Fig. 2.1 - Fetch geografici al largo di Anzio

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

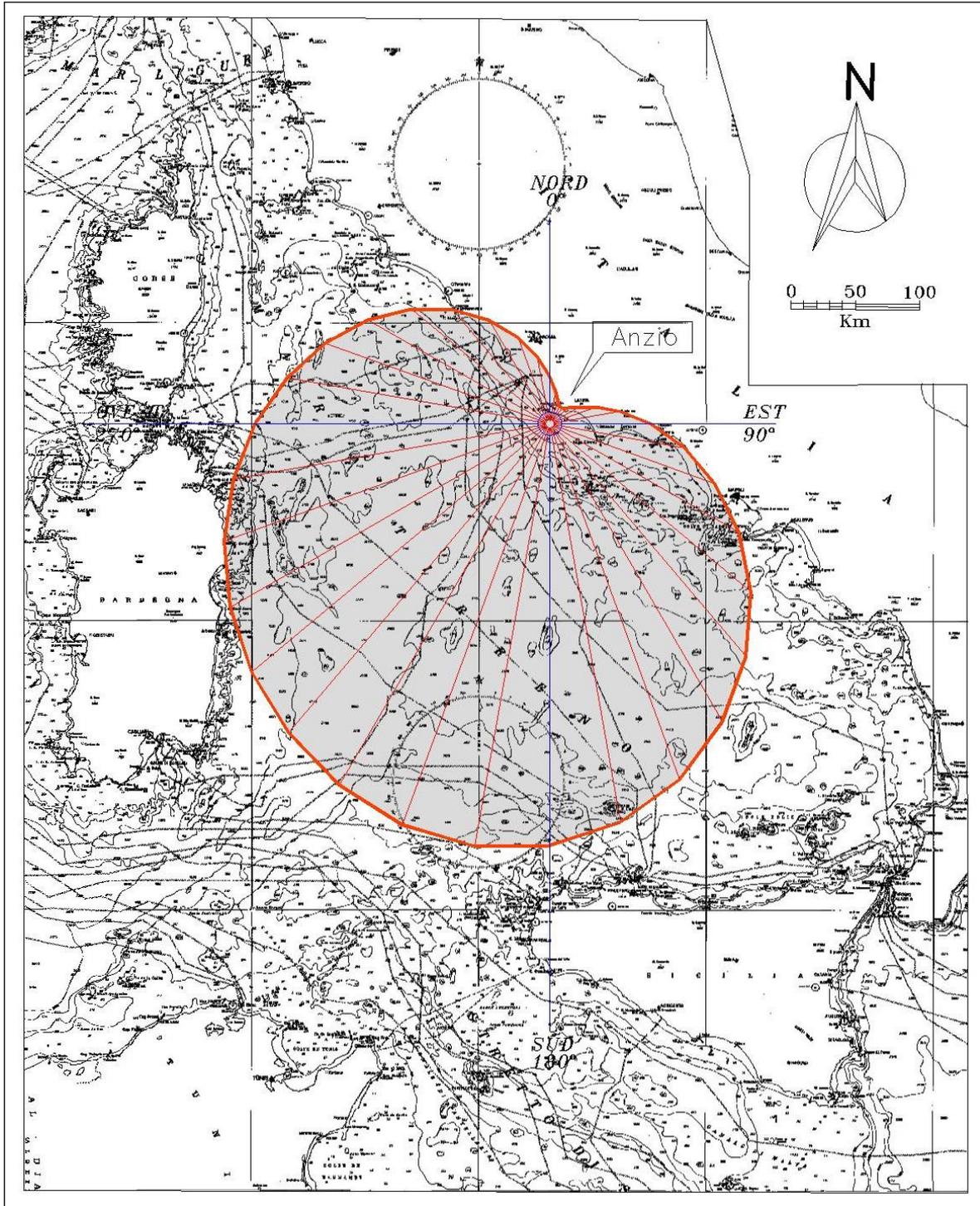


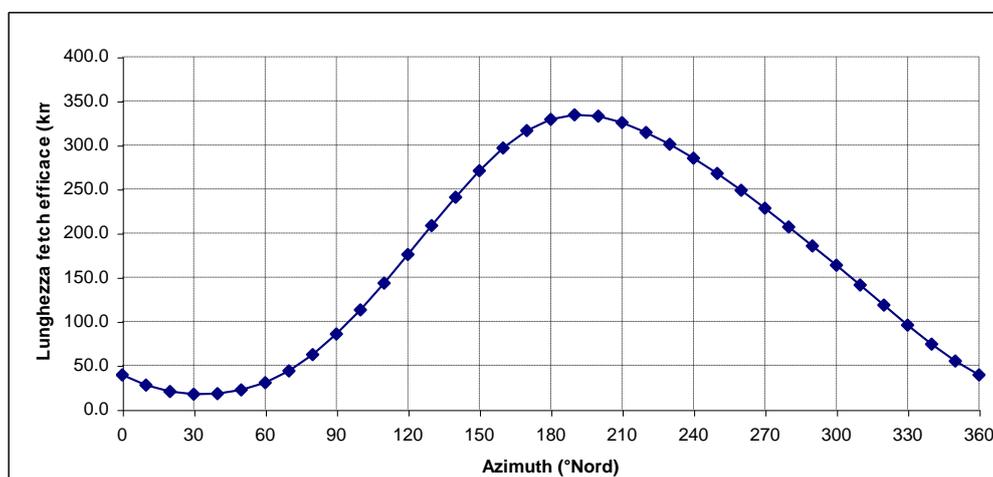
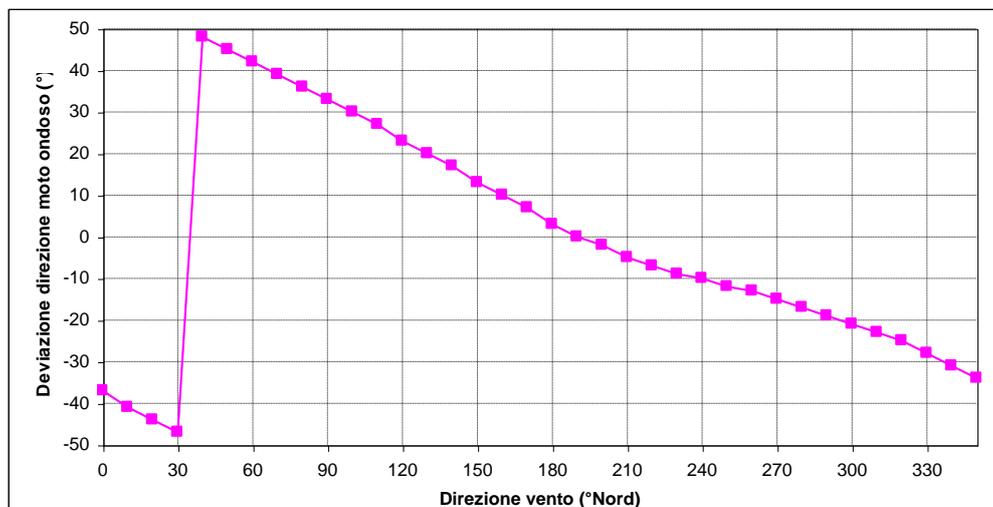
Fig. 2.2 - Fetch efficaci al largo di Anzio

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Tab. 2.1 Fetch geografici ed efficaci al largo di Anzio (-100 m s.l.m.)

Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento mare (°)	Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)
0	13.60	39.12	-37.0	180	363.46	328.98	3.0
10	14.37	27.57	-41.0	190	545.71	334.21	0.0
20	14.55	20.36	-44.0	200	504.48	332.58	-2.0
30	14.44	17.34	-47.0	210	522.30	325.31	-5.0
40	14.85	17.98	48.0	220	515.13	314.16	-7.0
50	15.91	22.07	45.0	230	346.33	300.61	-9.0
60	17.93	30.35	42.0	240	291.13	285.07	-10.0
70	23.14	43.58	39.0	250	261.84	267.65	-12.0
80	27.10	62.08	36.0	260	264.63	248.54	-13.0
90	43.11	85.51	33.0	270	286.18	228.14	-15.0
100	87.62	112.92	30.0	280	287.82	207.05	-17.0
110	127.63	143.28	27.0	290	286.23	185.53	-19.0
120	135.07	175.57	23.0	300	315.14	163.53	-21.0
130	393.89	208.52	20.0	310	252.04	141.09	-23.0
140	437.61	240.82	17.0	320	106.64	118.25	-25.0
150	410.85	270.84	13.0	330	56.31	95.49	-28.0
160	399.98	296.59	10.0	340	27.97	73.92	-31.0
170	360.43	316.35	7.0	350	16.95	54.78	-34.0



Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

REGIME DEI VENTI

La conoscenza del "clima anemologico" locale, cioè della distribuzione di frequenza della velocità e direzione del vento, è di grande importanza in quanto influenza in maniera determinante la scelta della configurazione planimetrica del previsto ampliamento, dell'imboccatura, dei canali di navigazione e dell'orientamento dei pontili di ormeggio.

E' noto infatti che le imbarcazioni rispondono meglio alle azioni di venti longitudinali (paralleli all'asse longitudinale della barca) piuttosto che trasversali, in particolar modo durante le delicate manovre negli spazi ristretti del bacino portuale ed in fase di stazionamento.

Inoltre la conoscenza della forza del vento è necessaria per il dimensionamento dei pontili di accosto, delle altre strutture emergenti e per il calcolo degli effetti sulle variazioni del livello marino sottocosta.

Per una attenta analisi del regime dei venti sono stati analizzati i dati delle stazioni anemometriche di:

- Ponza (Aeronautica Militare: periodo dal 1971 al 1994 – quota: + 184 m s.l.m.), .
- Latina (Aeronautica Militare: periodo da gennaio 1966 a dicembre 1977 – quota: + 26 m s.l.m.),
- Pratica di Mare (Aeronautica Militare: periodo da gennaio 1960 a dicembre 1977 – quota: + 6 m s.l.m.),
- Torre Olevola (Aeronautica Militare: periodo da febbraio 1954 a dicembre 1977 – quota: + 3 m s.l.m.).

La distribuzione delle frequenze annuali, per settori di provenienza (8 con ampiezza di 45° o 16 da 22.5°) e 5 classi di intensità del vento (più le calme), è stata sintetizzata nelle tabb. 3.1÷3.4 e rappresentata graficamente nelle rose di figg. 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4. Si nota una certa variabilità dei regimi di vento nelle diverse stazioni (in termini sia di direzione che di intensità) a causa delle diverse esposizioni anemometriche.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Con riferimento a tale stazione, appare chiaro che i venti locali più frequenti sono quelli provenienti da Nord-Est (grecale) e da Nord-Ovest (Maestrале) mentre quelli più intensi provengono da Sud-Ovest (libeccio); abbastanza frequenti ed intensi sono anche i venti provenienti da Sud. Si nota, inoltre, che i venti più intensi (con la velocità del vento maggiore di 24 nodi) hanno una frequenza inferiore all'1% (circa 3 giorni l'anno).

Nella zona costiera in esame, collocata orograficamente all'estremo settentrionale della Pianura Pontina, il regime dei venti è fortemente condizionato dal vicino antiappennino e pertanto, tra le stazioni considerate, l'unica che può tener conto della particolare orografia del sito è la stazione di Pratica di Mare, in quanto pur essendo la stazione di Latina più vicina, è però posta in prossimità dei rilievi montuosi, mentre la sopracitata stazione di Pratica di Mare ha una esposizione più simile a quella dell'area presa in considerazione.

A conclusione di questo paragrafo, si ricorda inoltre che le velocità aumentano in modo logaritmico con l'altitudine; pertanto per rendere confrontabili le intensità del vento rilevate dall'anemometro di Ponza (ubicato a +184 m s.l.m.) con i valori misurati nelle altre stazioni anemometriche occorre utilizzare un coefficiente riduttivo pari a circa 0.7.

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

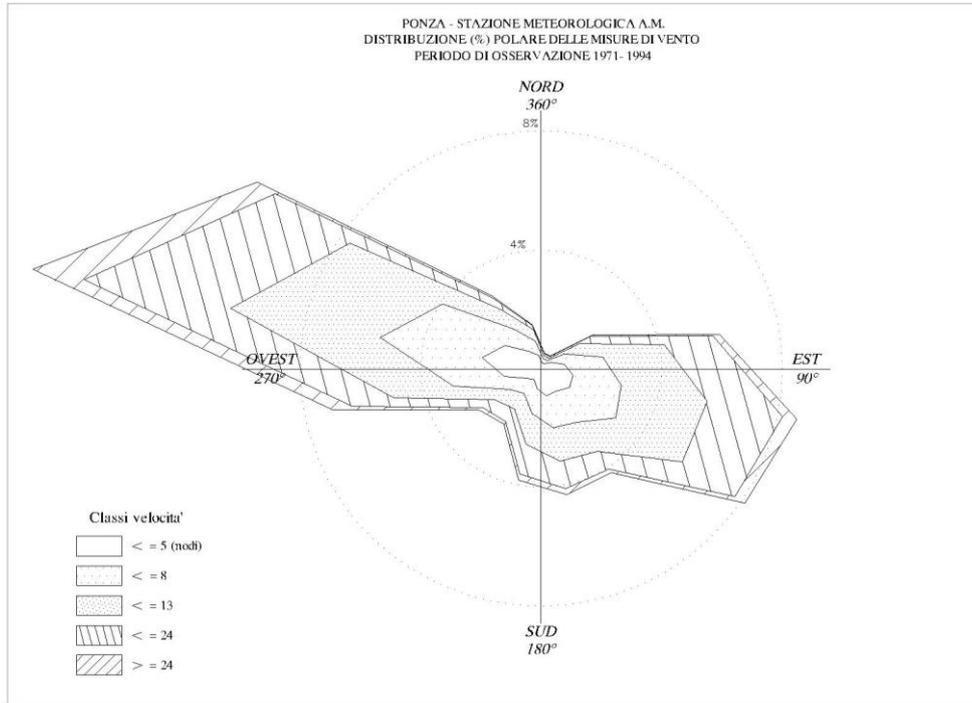


fig. 3.1 - distribuzione direzionale degli stati di vento - PONZA

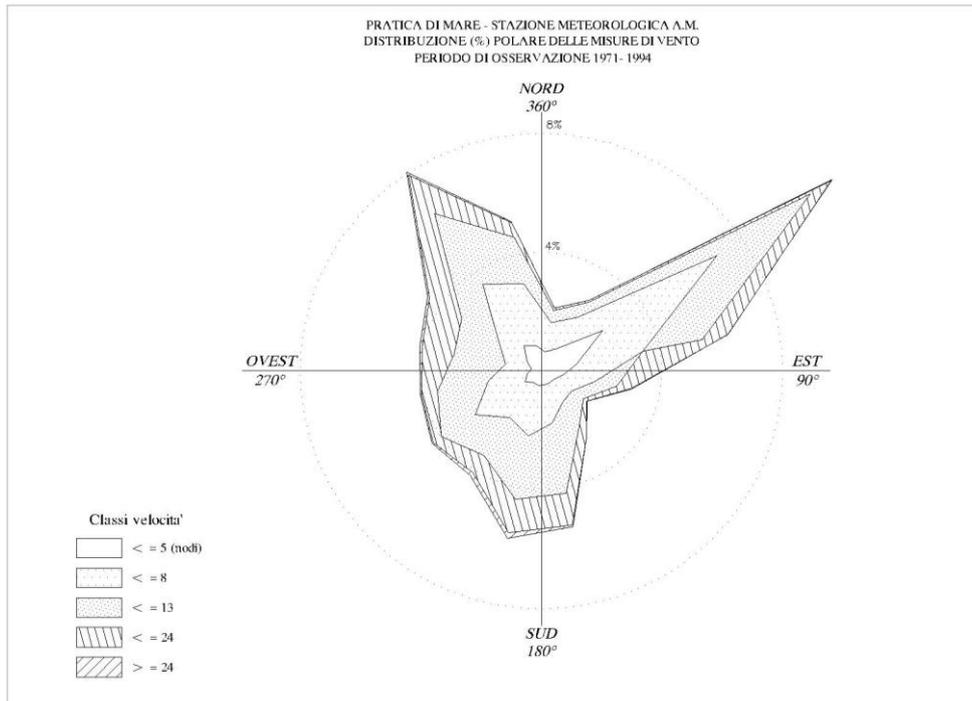


fig. 3.2 - distribuzione direzionale degli stati di vento - PRATICA DI MARE

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

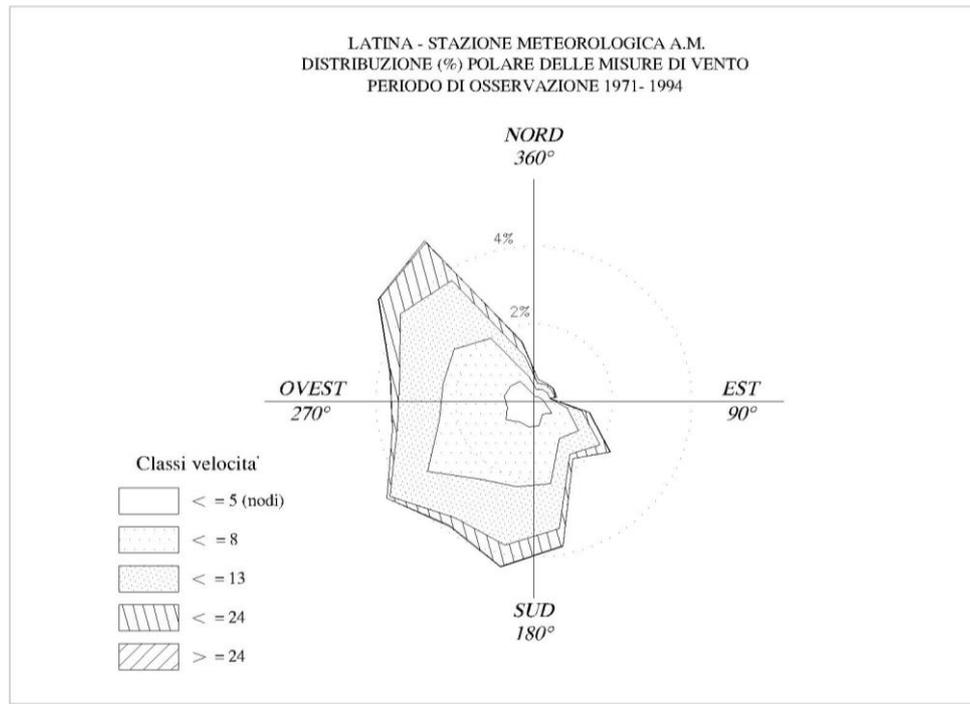


fig. 3.3 - distribuzione direzionale degli stati di vento – LATINA

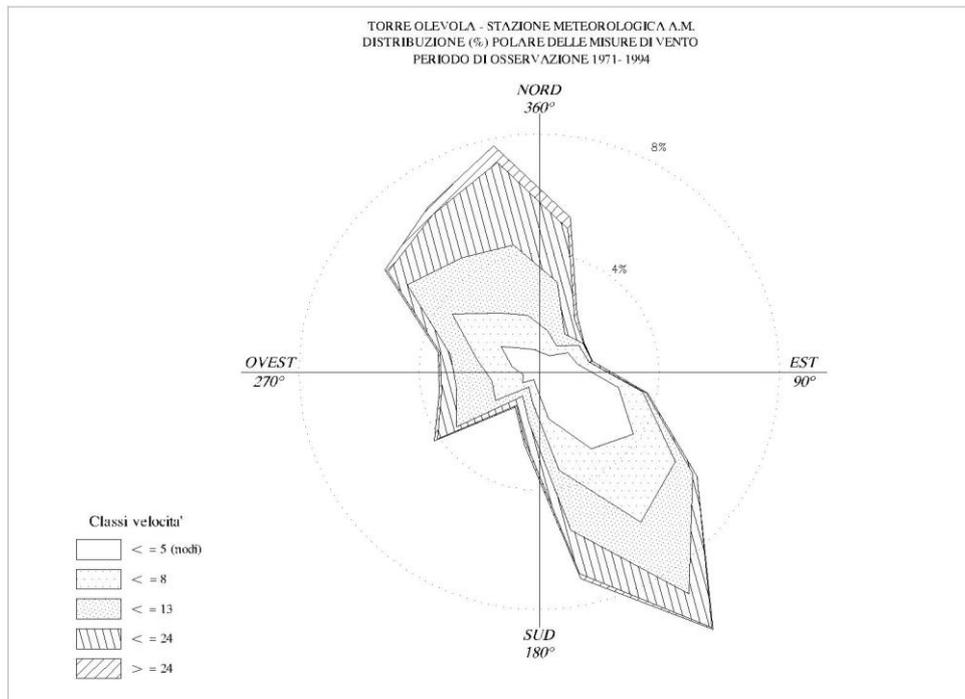


fig. 3.4 - distribuzione direzionale degli stati di vento – TORRE OLEVOLA

**Capo d'Anzio S.p.A.
C.D.M. n. 6586/2011**

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Tab. 3.1- STAZIONE A.M. DI PRATICA DI MARE

Direzione e velocità del vento
Distribuzione delle frequenze annuali (media sul periodo 1960 ÷ 1977)

DIR (°N)	Classi di velocità (nodi)						Totali
	0 ÷ 1	2 ÷ 4	5 ÷ 7	8 ÷ 12	13 ÷ 23	24 ÷ 99	
0.0 ÷ 22.5		12.07	22.18	20.17	8.50	0.26	63.18
22.5 ÷ 45.0		24.94	45.49	37.23	8.59	0.14	115.94
45.0 ÷ 67.5		8.94	12.90	5.97	0.90	0.06	28.77
67.5 ÷ 90.0		6.55	10.04	4.12	0.93	0.02	21.66
90.0 ÷ 112.5		8.60	21.44	15.80	5.07	0.44	51.35
112.5 ÷ 135.0		10.33	24.86	28.57	15.47	1.21	80.44
135.0 ÷ 157.5		5.67	11.21	14.95	12.78	0.75	45.36
157.5 ÷ 180.0		3.31	8.75	17.47	10.85	0.76	41.14
180.0 ÷ 202.5		4.76	13.14	17.14	5.45	0.45	40.94
202.5 ÷ 225.0		6.54	19.90	13.41	3.35	0.51	43.71
225.0 ÷ 247.5		4.67	14.30	15.20	6.98	1.16	42.31
247.5 ÷ 270.0		5.00	17.35	21.56	11.62	1.89	57.42
270.0 ÷ 292.5		4.76	13.11	24.01	10.96	0.64	53.48
292.5 ÷ 315.0		4.73	7.92	9.80	4.49	0.09	27.03
315.0 ÷ 337.5		4.87	7.24	4.69	1.30	0.12	18.22
337.5 ÷ 360.0		7.21	10.70	7.65	4.68	0.32	30.56
VARIABILI		0.99	2.03	0.33	0.12	0.00	3.47
0 ÷ .5 m/s	235.02						235.02
Totali	235.02	123.94	262.56	258.07	112.04	8.82	1000.00

Quota strumento (m s.l.m.) 6
 Numero totale eventi: 48697
 (*) Valori per migliaia di unità

Tab. 3.2 - STAZIONE A.M. DI PONZA

Direzione e velocità del vento
Distribuzione delle frequenze annuali(*) (media su periodo 1971 ÷ 94)

DIR (°N)	Classi di velocità (nodi)						Totali
	0 ÷ 1	2 ÷ 4	5 ÷ 7	8 ÷ 12	13 ÷ 23	24 ÷ 99	
0.0 ÷ 22.5		1.97	1.52	1.15	0.65	0.10	5.39
22.5 ÷ 45.0		2.12	1.39	1.00	0.62	0.18	5.31
45.0 ÷ 67.5		4.06	5.18	6.28	4.41	0.59	20.52
67.5 ÷ 90.0		7.75	13.02	21.04	16.15	2.29	60.25
90.0 ÷ 112.5		10.71	16.42	29.05	25.56	4.71	86.45
112.5 ÷ 135.0		11.20	18.50	26.59	21.10	3.87	81.26
135.0 ÷ 157.5		8.98	12.63	11.66	7.20	1.58	42.05
157.5 ÷ 180.0		9.23	10.84	11.59	9.35	2.10	43.11
180.0 ÷ 202.5		6.77	8.53	10.37	10.27	2.16	38.10
202.5 ÷ 225.0		4.32	5.70	5.94	5.32	0.91	22.19
225.0 ÷ 247.5		5.68	6.65	6.29	4.80	1.40	24.82
247.5 ÷ 270.0		12.44	17.14	20.38	13.99	6.34	70.29
270.0 ÷ 292.5		20.01	34.39	50.61	49.60	17.39	172.00
292.5 ÷ 315.0		14.38	24.89	36.94	29.90	7.15	113.26
315.0 ÷ 337.5		7.01	9.23	7.92	4.66	0.95	29.77
337.5 ÷ 360.0		4.71	4.94	3.82	1.56	0.28	15.31
VARIABILI		0.38	0.57	0.76	0.70	0.33	2.74
0 ÷ .5 m/s	167.16						167.16
Totali	167.16	131.72	191.54	251.39	205.84	52.33	1000.00

Quota strumento (m s.l.m.) 184
 Numero totale eventi: 78858 70128
 (*) Valori per migliaia di unità

**Capo d'Anzio S.p.A.
C.D.M. n. 6586/2011**

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Tab. 3.3- STAZIONE A.M. DI LATINA

Direzione e velocità del vento
Distribuzione delle frequenze annuali (media sul periodo 1966 ÷ 1977)

DIR (°N)	Classi di velocità (nodi)						Totali
	0 ÷ 1	2 ÷ 4	5 ÷ 7	8 ÷ 12	13 ÷ 23	24 ÷ 99	
0.0 ÷ 22.5		2.26	1.94	1.22	0.24	0.22	5.88
22.5 ÷ 45.0		1.78	2.32	1.20	0.59	0.05	5.94
45.0 ÷ 67.5		1.55	2.19	1.63	0.27	0.04	5.68
67.5 ÷ 90.0		1.28	1.92	1.54	1.02	0.06	5.82
90.0 ÷ 112.5		2.26	4.35	5.42	3.54	0.13	15.70
112.5 ÷ 135.0		6.20	13.44	17.81	11.77	0.56	49.78
135.0 ÷ 157.5		7.16	17.15	16.38	6.57	0.13	47.39
157.5 ÷ 180.0		7.60	15.84	11.25	2.34	0.17	37.20
180.0 ÷ 202.5		6.79	17.54	10.91	1.27	0.04	36.55
202.5 ÷ 225.0		8.48	23.92	11.51	0.83	0.13	44.87
225.0 ÷ 247.5		6.30	17.73	11.91	2.48	0.10	38.52
247.5 ÷ 270.0		6.72	15.54	15.39	5.53	0.15	43.33
270.0 ÷ 292.5		6.41	15.15	11.74	4.58	0.10	37.98
292.5 ÷ 315.0		3.93	7.52	4.84	1.32	0.06	17.67
315.0 ÷ 337.5		5.40	8.09	6.59	3.15	0.02	23.25
337.5 ÷ 360.0		3.03	5.55	3.67	1.90	0.21	14.36
VARIABILI		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0 ÷ .5 m/s	570.08						570.08
Totali	570.08	77.15	170.19	133.01	47.4	2.17	1000.00

Quota strumento (m s.l.m.) 26
 Numero totale eventi: 23974
 (*) Valori per migliaia di unità

Tab. 3.4 - STAZIONE A.M. DI TORRE OLEVOLA

Direzione e velocità del vento
Distribuzione delle frequenze annuali(*) (media su periodo 1954 ÷ 1977)

DIR (°N)	Classi di velocità (nodi)						Totali
	0 ÷ 1	2 ÷ 4	5 ÷ 7	8 ÷ 12	13 ÷ 23	24 ÷ 99	
0.0 ÷ 22.5		13.13	3.76	1.06	0.21	0.05	18.21
22.5 ÷ 45.0		11.45	4.52	1.38	0.44	0.16	17.95
45.0 ÷ 67.5		6.37	4.00	4.89	5.91	1.69	22.86
67.5 ÷ 90.0		6.36	7.74	16.59	18.24	4.00	52.93
90.0 ÷ 112.5		7.63	11.71	24.27	28.23	5.64	77.48
112.5 ÷ 135.0		9.46	14.28	22.36	17.63	2.90	66.63
135.0 ÷ 157.5		15.33	19.51	17.98	7.65	1.32	61.79
157.5 ÷ 180.0		9.09	12.00	9.14	3.50	0.70	34.43
180.0 ÷ 202.5		5.45	10.55	12.00	5.00	0.95	33.95
202.5 ÷ 225.0		6.57	10.82	15.81	7.62	1.13	41.95
225.0 ÷ 247.5		3.13	3.02	3.84	3.64	0.76	14.39
247.5 ÷ 270.0		5.27	5.50	6.73	6.24	1.44	25.18
270.0 ÷ 292.5		16.04	17.84	20.43	14.92	1.73	70.96
292.5 ÷ 315.0		31.19	29.68	29.13	13.49	0.79	104.28
315.0 ÷ 337.5		37.78	16.68	6.98	1.84	0.04	63.32
337.5 ÷ 360.0		26.94	8.22	1.33	0.34	0.01	36.84
VARIABILI		0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02
0 ÷ .5 m/s	256.84						167.16
Totali	256.84	211.19	179.83	193.92	134.92	23.31	1000.00

Quota strumento (m s.l.m.) 3
 Numero totale eventi: 55501
 (*) Valori per migliaia di unità

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

CORRENTI

L'analisi d'insieme (riferita alla rappresentazione grafica estratta da "Atlante Tematico d'Italia" TCI, CNR – figura 4) mostra che, nel bacino del Mar Tirreno, i flussi delle correnti di gradiente superficiali (o di densità) sono contraddistinti da una circolazione d'insieme antioraria e pertanto lungo la penisola italiana sono diretti da Sud verso Nord; in prossimità della costa lungo la zolla continentale l'effetto combinato della batigrafia e l'azione del vento prevalente determina un'inversione della direzione prevalente della corrente. In generale nel Tirreno centrale la velocità media delle correnti in superficie, per la fascia costiera prossima alla costa, è piuttosto modesta, circa 5 cm/s, con punte massime comunque inferiori a 50 cm/s dirette da Nord verso Sud.

La conformazione batigrafica del sito in esame, associata alla limitata escursione dei livelli di marea astronomica, lascia prevedere valori trascurabili delle possibili correnti di marea. In definitiva il regime delle correnti marine nel paraggio costiero in esame ha effetti irrilevanti sulla dinamica dei sedimenti costieri, dominata invece dalle correnti litoranee, comprese tra la linea dei frangenti e la riva, indotte dall'azione del moto ondoso frangente.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

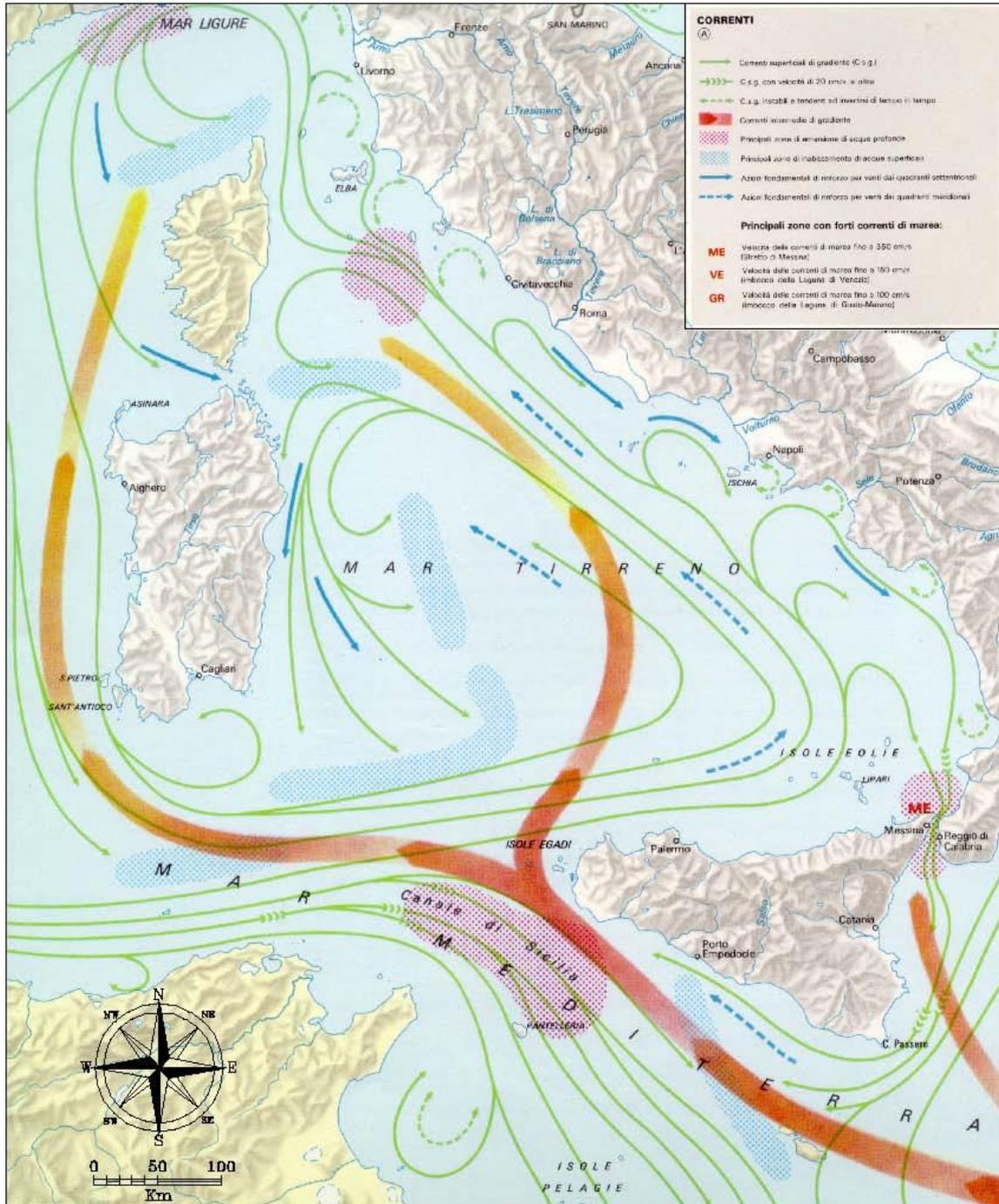


Fig.4 – analisi d'insieme delle correnti al largo di Anzio

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

VARIAZIONI DEL LIVELLO MARINO

La conoscenza delle massime variazioni quasi-statiche del livello marino, dovute a cause diverse (principalmente marea astronomica e "meteorologica"), è necessaria per molteplici scopi quali: la corretta progettazione delle quote da assegnare alle opere ed ai fondali di progetto; l'analisi del grado di ricircolo naturale dello specchio liquido portuale. In generale per quanto riguarda le variazioni a breve termine, periodiche e non, occorre distinguere gli effetti della marea astronomica da quelli della marea "meteorologica" (indotta essenzialmente dall'azione del vento e dalle variazioni di pressione atmosferica).

Nel zona del Mar Tirreno ove ricade il paraggio costiero di Anzio le escursioni del livello del mare sono di fatto modeste; per la stima della componente oscillatoria della marea astronomica le ampiezze ed i tempi di marea sono prevedibili per alcuni porti principali italiani in base alle "Tavole di Marea", pubblicate annualmente dall'Ufficio Idrografico della Marina Militare; per il caso in esame si possono utilizzare i dati forniti per il porto di Civitavecchia e di Napoli. L'andamento temporale risultante è di tipo semidiurno (periodo 12 ore e 25 minuti) con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa (marea di tipo sinodico-declinazionale). Le escursioni di marea astronomica sono contraddistinte da una periodicità bisettimanale distinta nelle fasi di sizigie (luna piena e nuova) e di quadratura. Nei periodi sizigiali si verificano i massimi dislivelli positivi e negativi che raggiungono valori di circa ± 0.20 m rispetto al livello medio marino (massimo dislivello pari a circa 0,40). Nelle fasi di quadratura l'escursione è limitata al massimo a ± 0.15 m s.l.m.. Per la definizione della marea meteorologica si distinguono:

- *sovrizzo ed abbassamento barico* (legati al passaggio dei cicloni ed anticicloni): considerata una condizione di minimo barico pari a 978 mb rispetto ad una condizione media di 1013 mb, ne consegue un effetto di sovrizzo marino massimo pari a 0.35 m; considerando che il massimo barico pluriennale osservato è di 1040 mb, si ha un abbassamento locale del livello marino di circa 27 cm.
- *sovrizzo di vento*: l'effetto di innalzamento dei livelli sottocosta indotto dall'azione di venti foranei spiranti verso la costa laziale è definito in funzione della estensione della piattaforma continentale (l'isobata -200 si

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

trova a circa 25 km dalla imboccatura portuale). Il calcolo del sovrizzo di vento può essere effettuato con la nota relazione implicita:

$$S = \frac{K_p \cdot L_p \cdot U^2}{g(D - d - S)} \ln\left(\frac{D}{d + S}\right)$$

Questa fornisce un valore di 0.04 m alla profondità di 5 m (d), essendo D=200 m profondità limite assunta per la piattaforma continentale; $L_p = 15000$ m estensione della piattaforma continentale; $g = 9.81 \text{ m/s}^2$; $K_p = 3 \times 10^{-6}$; $U = 20$ m/s velocità del vento persistente. Eseguendo il calcolo anche per profondità inferiori si osserva che il sovrizzo segue una legge esponenziale con un massimo lungo la linea di riva (d=0) pari a $S = 0.07$ m.

Infine si devono considerare le variazioni a lungo termine dovute a fenomeni di eustatismo: le attuali proiezioni prevedono un progressivo innalzamento del livello marino dovuto all'incremento della temperatura terrestre (effetto serra) stimabile in circa 30 cm nei prossimi 50 anni. Valutazioni meno pessimistiche considerano possibili incrementi di livello di poco superiori a quelli registrati nell'ultimo millennio (dell'ordine di 10 cm al secolo).

In definitiva è possibile calcolare il massimo sovrizzo lungo riva sommando tutti i diversi contributi di oscillazione del livello marino ma considerando che in generale non si verifica la piena concomitanza per i sovrizzi di carattere meteorologico ed astronomico. Si può cautelativamente assumere una riduzione del 75% per il sovrizzo massimo di carattere meteorologico ed astronomico; in definitiva, a fronte di un sovrizzo massimo assoluto pari a circa 0.65 m (0.25 + 0.35 + 0.10); il massimo livello marino da assumere per la progettazione delle opere può essere posto pari a + 0.50 m sopra il medio mare.

Il minimo abbassamento del livello marino è pari alla somma dell'oscillazione di marea (20 cm) e dell'abbassamento barico (27 cm), ed è uguale a circa 47 cm; anche in questo

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

caso si può ammettere un abbattimento del 25% dell'oscillazione massima, pertanto il minimo livello da assumere per la progettazione delle opere è pari a 0.36 m sotto il medio mare ($0.47 \times 0.75 = 0.36$ m).

REGIME DEL MOTO ONDOSO

Nella progettazione di un porto commerciale, per passeggeri, peschereccio e turistico, quale è il Porto di Anzio, l'analisi del regime del moto ondoso è di primaria importanza sia per la progettazioni delle opere portuali che per lo studio della dinamica dei litorali limitrofi. In particolare nel presente studio si vuole determinare il regime del moto ondoso sia in prossimità della nuova imboccatura portuale (indispensabile per applicare in un secondo momento un modello matematico volto alla verifica dell'agitazione ondosa portuale e per la verifica dei principali elementi strutturali del porto), che in prossimità delle spiagge adiacenti al porto al fine di verificare e quantificare in modo oggettivo l'influenza delle nuove opere sulla morfologia costiera.

La conoscenza del regime del moto ondoso, ovvero la definizione in termini di frequenze annuali delle grandezze che ne definiscono il regime, quali l'altezza d'onda significativa H_s , il periodo d'onda T e la direzione media di provenienza θ , è stata effettuata utilizzando la seguente metodologia:

1. acquisizione di misure ondamiche condotte in aree prossime al sito in esame (ondametro di Ponza – RON);
2. ricostruzione del moto ondoso al largo del sito preso in esame con un originale metodo di trasposizione geografica;
3. trasferimento a riva in 5 punti sia nella configurazione portuale attuale che in quella modificata attraverso un modello di rifrazione inversa spettrale degli stati di mare al largo del Porto di Anzio.

Come già sottolineato, la corretta determinazione della distribuzione in frequenza delle onde risponde ai seguenti obiettivi progettuali esaminati in dettaglio nei capitoli seguenti:

1. definizione delle probabilità di occorrenza degli eventi ondosi estremi per il dimensionamento delle opere di difesa;

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

2. definizione del clima d'onda per la valutazione delle condizioni di evoluzione dei fenomeni di dinamica costiera.

CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO AL LARGO

Per la determinazione del moto ondoso al largo del Porto di Anzio si è reso necessario reperire delle misure ondometriche che offrissero un quadro abbastanza esaustivo dell'esposizione del sito in esame all'azione del moto ondoso. A tal scopo si è potuto fare riferimento alle misure effettuate dalla stazione ondometrica di Ponza, posta a sud-ovest di Punta della Guardia (coordinate: 40°52' N; 12°57'E), in esercizio dal 1 luglio 1989 e gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (ricade all'interno dell'area climatica di generazione degli stati di mare che interessano il sito in esame) – Rendimento medio = 75 %.

Nelle tabelle da 6.1.1 a 6.1.5 e nella figura 6.1.1 sono rappresentate le distribuzioni annuali del numero di eventi di moto ondoso (in forma percentuale) suddivisi per classi di altezza d'onda significativa (H_s) e direzione di provenienza ($^{\circ}N$), registrate dalla boa di Ponza.

Dall'analisi di tali tabelle si nota che per eventi con $H_s > 0.5$ m (con esclusione delle calme):

- la maggiore frequenza di accadimento si ha per il settore di ponente ($250^{\circ}N \div 290^{\circ}N$), dal quale provengono anche gli eventi più intensi;
- gli eventi con H_s superiore ai 3 m provengono dai settori di libeccio e ponente;
- per il settore di levante si ha una discreta frequenza di stati di mare (circa 11%) con valori dell'altezza significativa fino ai due metri
- in primavera ed in estate si ha una dominanza degli eventi di libeccio e ponente, in inverno ed in autunno di quelli da levante e ponente.

Occorre ricordare che l'ondametro di Ponza si trova a circa 70 Km a sud-sud-ovest dal sito in esame ed è rappresentativo dell'area di generazione del moto ondoso che può

Capo d'Anzio S.p.A.
C.D.M. n. 6586/2011

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

interessare il tratto di costa che comprende Capo d'Anzio; a differenza di Capo d'Anzio, a Ponza assumono grande importanza anche gli eventi di levante.

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Distribuzione annuale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Isola di Ponza - periodo: 1 Luglio 1989 - 17 luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5	>=6.5	
10	0.06	0.07	0.06	0.07	0.01	0.01										0.27
20	0.09	0.10	0.08	0.07	0.01	0.01										0.35
30	0.08	0.06	0.07	0.05	0.00	0.01										0.27
40	0.06	0.14	0.09	0.09	0.01	0.01			0.01							0.40
50	0.09	0.17	0.09	0.08	0.02	0.01		0.01								0.47
60	0.08	0.22	0.13	0.13	0.04	0.02	0.01									0.62
70	0.13	0.30	0.30	0.26	0.12	0.03	0.01		0.01							1.15
80	0.13	0.48	0.71	0.97	0.37	0.18	0.03	0.01								2.88
90	0.11	0.64	0.97	1.45	0.54	0.20	0.06	0.02	0.00							3.99
100	0.14	0.61	0.92	0.87	0.26	0.13	0.03	0.02	0.00	0.00						2.98
110	0.12	0.58	0.61	0.42	0.08	0.09	0.01	0.01	0.00							1.92
120	0.15	0.53	0.49	0.37	0.09	0.07	0.01	0.01								1.72
130	0.19	0.53	0.48	0.49	0.14	0.09	0.03	0.02								1.97
140	0.17	0.50	0.52	0.48	0.18	0.10	0.02	0.03	0.01							2.00
150	0.18	0.50	0.48	0.36	0.15	0.08	0.01	0.01	0.00							1.77
160	0.17	0.43	0.44	0.40	0.07	0.09	0.01	0.00	0.00							1.63
170	0.21	0.52	0.54	0.44	0.11	0.08	0.02	0.00		0.00						1.93
180	0.30	0.68	0.66	0.61	0.16	0.12	0.02	0.02	0.01	0.01						2.58
190	0.32	0.76	0.82	0.70	0.21	0.19	0.05	0.03	0.01							3.08
200	0.40	1.06	0.99	0.84	0.27	0.24	0.04	0.03	0.01							3.87
210	0.59	1.28	0.89	0.58	0.24	0.15	0.07	0.03	0.00	0.00						3.83
220	0.65	1.55	0.84	0.78	0.27	0.23	0.03	0.05	0.01	0.01	0.00	0.01				4.43
230	0.67	1.42	0.96	0.87	0.26	0.20	0.09	0.07	0.02	0.01		0.01				4.58
240	0.73	1.40	0.97	0.91	0.28	0.26	0.05	0.06	0.01	0.01	0.00		0.00			4.67
250	0.82	1.43	1.11	0.91	0.38	0.27	0.08	0.05	0.02	0.01		0.00				5.08
260	0.82	1.90	1.41	1.30	0.58	0.46	0.18	0.12	0.05	0.03	0.01		0.00			6.87
270	0.90	2.23	1.95	2.29	1.18	0.84	0.44	0.32	0.12	0.09	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	10.43
280	0.92	2.81	2.33	1.93	1.09	0.58	0.21	0.16	0.04	0.05	0.01	0.01	0.01			10.15
290	0.98	2.61	1.31	0.67	0.15	0.10	0.03	0.02	0.01			0.00				5.88
300	0.71	1.60	0.77	0.35	0.07	0.05	0.02	0.01	0.01							3.59
310	0.42	0.88	0.34	0.25	0.07	0.02	0.01				0.00					1.99
320	0.25	0.39	0.19	0.13	0.03	0.01										1.01
330	0.17	0.18	0.09	0.09	0.02	0.01	0.00	0.00								0.56
340	0.10	0.16	0.09	0.05	0.01	0.01		0.01		0.00						0.42
350	0.10	0.13	0.06	0.06	0.01	0.02	0.01	0.00								0.37
360	0.08	0.10	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00				0.00					0.30
TOT.	12.10	28.97	22.81	20.36	7.48	4.97	1.57	1.09	0.33	0.22	0.06	0.03	0.03	0.01	0.01	100.00
Tot. cumul.		41.1	63.9	84.2	91.7	96.7	98.2	99.3	99.7	99.9	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	

TAB. 6.1.1

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Distribuzione invernale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Isola di Ponza - periodo: 1 Luglio 1989 - 17 luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5		>=6.5
10		0.02	0.07	0.04	0.02	0.01										0.17
20		0.08	0.08	0.07	0.04	0.02										0.31
30	0.03	0.03	0.07	0.06	0.01	0.02										0.23
40		0.07	0.13	0.15	0.02	0.03			0.02							0.42
50	0.02	0.11	0.11	0.12	0.03	0.02		0.02								0.42
60	0.02	0.08	0.15	0.23	0.05	0.01	0.02									0.57
70	0.07	0.19	0.41	0.32	0.19	0.02	0.02		0.02							1.25
80	0.07	0.30	0.75	1.27	0.79	0.33	0.04									3.56
90	0.07	0.66	1.45	2.10	1.17	0.34	0.08	0.03	0.01							5.91
100	0.10	0.85	1.73	1.40	0.49	0.17	0.05	0.01		0.01						4.80
110	0.08	0.96	1.21	0.59	0.14	0.06	0.04	0.01	0.01							3.11
120	0.17	0.71	0.65	0.44	0.15	0.08	0.01									2.21
130	0.18	0.80	0.57	0.29	0.22	0.14	0.03	0.01								2.25
140	0.11	0.57	0.43	0.39	0.32	0.06	0.02	0.03	0.01							1.95
150	0.08	0.46	0.48	0.26	0.31	0.08	0.02									1.69
160	0.10	0.32	0.38	0.33	0.07	0.16	0.02	0.01	0.01							1.40
170	0.12	0.40	0.53	0.29	0.15	0.13	0.05			0.01						1.67
180	0.19	0.54	0.55	0.40	0.29	0.16	0.02	0.01	0.01	0.01						2.18
190	0.21	0.56	0.79	0.53	0.30	0.24	0.05	0.03	0.01							2.73
200	0.17	0.84	0.97	0.89	0.36	0.23	0.07	0.01								3.55
210	0.48	1.23	1.00	0.66	0.23	0.18	0.10	0.04		0.01						3.92
220	0.56	1.90	1.21	0.91	0.33	0.22	0.07	0.07				0.01				5.28
230	0.55	1.73	1.36	1.05	0.32	0.13	0.13	0.11	0.01	0.01		0.01				5.39
240	0.43	1.54	1.23	1.15	0.55	0.31	0.08	0.08	0.01	0.01						5.40
250	0.52	1.50	1.27	1.04	0.68	0.37	0.14	0.06	0.03	0.01		0.01				5.63
260	0.37	1.50	1.35	1.55	1.06	0.59	0.29	0.20	0.10	0.06	0.02					7.09
270	0.53	1.56	1.77	1.73	1.09	0.84	0.62	0.32	0.15	0.18	0.02	0.03	0.02			8.85
280	0.38	1.58	1.63	1.31	0.83	0.46	0.32	0.16	0.06	0.05						6.78
290	0.28	1.38	1.18	0.47	0.19	0.15	0.05	0.02	0.02							3.73
300	0.24	0.91	1.03	0.37	0.13	0.07	0.06	0.01	0.03							2.86
310	0.11	0.73	0.38	0.47	0.19	0.07	0.03				0.01					1.99
320	0.10	0.42	0.30	0.29	0.07	0.02										1.20
330	0.05	0.22	0.11	0.14	0.07		0.01	0.01								0.61
340	0.01	0.05	0.11	0.05	0.04	0.01		0.01		0.01						0.30
350	0.03	0.03	0.11	0.14	0.01	0.01	0.02									0.35
360	0.01	0.07	0.10	0.03			0.01									0.22
TOT.	6.45	24.91	25.62	21.52	10.91	5.76	2.51	1.28	0.52	0.38	0.05	0.06	0.02			100.00
Tot. cumul.		31.36	56.98	78.50	89.41	95.17	97.68	98.96	99.48	99.86	99.92	99.98	100.00	100.00	100.00	

TAB. 6.1.2

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Distribuzione primaverile in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Isola di Ponza - periodo: 1 Luglio 1989 - 17 luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5		>=6.5
10	0.05	0.06	0.06	0.01												0.18
20	0.07	0.07	0.08	0.02												0.24
30	0.09	0.03	0.04	0.01												0.17
40	0.02	0.13	0.04	0.04												0.23
50	0.05	0.14	0.10	0.01		0.01										0.31
60	0.06	0.17	0.16	0.03	0.01	0.01										0.43
70	0.12	0.20	0.21	0.14	0.05	0.01										0.72
80	0.17	0.36	0.49	0.36	0.17	0.12	0.04	0.01								1.72
90	0.13	0.54	0.70	0.41	0.20	0.06	0.01									2.05
100	0.21	0.59	0.42	0.17	0.13	0.03										1.55
110	0.12	0.39	0.40	0.12	0.01											1.04
120	0.17	0.49	0.49	0.21	0.02	0.07										1.45
130	0.18	0.54	0.56	0.46	0.12	0.04	0.01									1.91
140	0.22	0.49	0.79	0.54	0.14	0.09	0.02									2.29
150	0.33	0.72	0.78	0.37	0.13	0.06	0.01									2.39
160	0.33	0.57	0.55	0.28	0.07	0.06	0.02									1.87
170	0.32	0.71	0.66	0.41	0.07	0.08	0.01									2.26
180	0.52	0.92	0.92	0.38	0.15	0.03	0.01	0.01								2.94
190	0.55	1.00	0.88	0.50	0.10	0.04	0.02									3.09
200	0.74	1.32	1.23	0.67	0.19	0.04	0.01	0.01								4.21
210	0.97	1.53	0.98	0.32	0.22	0.11										4.11
220	0.95	1.62	0.84	0.59	0.33	0.20	0.02	0.03								4.57
230	0.93	1.47	1.07	0.78	0.28	0.28	0.06	0.03	0.03							4.92
240	0.90	1.66	1.09	0.66	0.17	0.19	0.05	0.04	0.01							4.76
250	1.06	1.70	1.54	0.81	0.31	0.20	0.06	0.06	0.02	0.01						5.76
260	1.05	2.66	1.89	1.08	0.44	0.44	0.20	0.10	0.05	0.01	0.02					7.95
270	1.26	2.78	2.44	2.07	1.18	0.52	0.29	0.11	0.09	0.01			0.01			10.76
280	1.32	3.53	3.04	2.21	1.26	0.53	0.20	0.14	0.03							12.26
290	1.29	3.07	1.47	0.58	0.17	0.07	0.01									6.66
300	0.78	1.68	0.64	0.25	0.04	0.02										3.41
310	0.53	0.77	0.34	0.08												1.72
320	0.25	0.33	0.08	0.06												0.72
330	0.20	0.14	0.10	0.05		0.01										0.49
340	0.10	0.12	0.06	0.03												0.31
350	0.08	0.12	0.04	0.02		0.01										0.27
360	0.10	0.10	0.06	0.04	0.01											0.31
TOT.	16.17	32.72	25.24	14.77	5.94	3.31	1.03	0.53	0.23	0.03	0.02		0.01			100.00
Tot. cumul.		48.89	74.13	88.90	94.84	98.15	99.18	99.71	99.94	99.97	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	

TAB.6.1.3

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Distribuzione estiva in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Isola di Ponza - periodo: 1 Luglio 1989 - 17 luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5		>=6.5
10	0.14	0.08	0.04	0.03												0.29
20	0.22	0.11	0.05	0.03												0.41
30	0.12	0.12	0.07	0.03		0.01										0.35
40	0.14	0.22	0.06	0.02												0.43
50	0.21	0.28	0.09	0.01	0.01											0.59
60	0.17	0.35	0.10	0.03	0.01											0.66
70	0.22	0.43	0.30	0.16	0.03											1.15
80	0.17	0.76	0.78	0.42	0.08	0.02										2.22
90	0.13	0.66	0.66	0.55	0.09											2.08
100	0.11	0.60	0.47	0.20	0.01		0.01									1.39
110	0.20	0.54	0.34	0.12	0.02											1.21
120	0.14	0.49	0.36	0.09	0.01											1.09
130	0.17	0.43	0.29	0.21	0.01											1.12
140	0.24	0.48	0.40	0.16	0.02	0.01										1.31
150	0.21	0.42	0.39	0.15	0.05	0.03										1.25
160	0.20	0.48	0.46	0.29	0.03	0.04	0.01									1.52
170	0.27	0.61	0.52	0.20	0.05	0.01										1.65
180	0.29	0.74	0.57	0.24	0.07	0.02										1.94
190	0.27	0.80	0.86	0.31	0.13	0.03										2.41
200	0.39	1.21	1.06	0.54	0.20	0.05										3.46
210	0.58	1.42	0.90	0.44	0.14	0.04	0.03									3.55
220	0.70	1.69	0.63	0.29	0.05	0.04	0.01									3.41
230	0.87	1.51	0.75	0.32	0.06											3.52
240	1.16	1.48	0.80	0.42	0.09	0.03	0.02	0.01								4.01
250	1.25	1.66	1.01	0.43	0.13	0.06	0.02	0.02		0.01						4.59
260	1.34	2.53	1.25	0.71	0.35	0.20	0.07	0.02	0.03	0.01						6.49
270	1.40	3.30	2.37	2.56	1.38	0.61	0.35	0.25	0.10	0.03	0.04					12.40
280	1.60	4.64	3.26	2.29	1.58	0.67	0.21	0.12	0.03	0.02						14.43
290	1.84	4.76	1.70	0.72	0.13	0.07	0.01	0.02								9.25
300	1.47	2.98	0.87	0.23	0.02	0.03	0.01									5.60
310	0.78	1.50	0.30	0.09	0.01											2.67
320	0.50	0.58	0.16	0.02		0.01										1.26
330	0.36	0.29	0.05	0.03												0.74
340	0.23	0.32	0.09	0.02												0.66
350	0.24	0.22	0.08	0.03		0.01										0.59
360	0.16	0.10	0.04	0.02												0.32
TOT.	18.51	38.80	22.15	12.38	4.75	1.99	0.73	0.43	0.16	0.06	0.04					100.00
Tot. cumul.		57.31	79.46	91.84	96.58	98.57	99.30	99.73	99.90	99.96	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

TAB. 6.1.4

Capo d'Anzio S.p.A.
C.D.M. n. 6586/2011

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Distribuzione autunnale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Isola di Ponza - periodo: 1 Luglio 1989 - 17 luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25÷.5	.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5	>=6.5	
10	0.02	0.12	0.06	0.23	0.04	0.01										0.48
20	0.04	0.12	0.12	0.17		0.02										0.47
30	0.05	0.06	0.10	0.12		0.02										0.35
40	0.08	0.13	0.16	0.17		0.01										0.55
50	0.07	0.16	0.06	0.22	0.05	0.02										0.57
60	0.06	0.25	0.11	0.29	0.08	0.06										0.85
70	0.08	0.38	0.28	0.48	0.26	0.08										1.57
80	0.10	0.44	0.83	2.15	0.54	0.30	0.05	0.02								4.42
90	0.11	0.72	1.17	3.23	0.86	0.50	0.17	0.07								6.83
100	0.14	0.38	1.22	2.03	0.50	0.41	0.06	0.08	0.01							4.84
110	0.07	0.42	0.56	1.02	0.19	0.33		0.02								2.62
120	0.12	0.43	0.47	0.90	0.23	0.16	0.05	0.04								2.38
130	0.24	0.32	0.54	1.14	0.26	0.24	0.10	0.06								2.89
140	0.07	0.44	0.45	0.97	0.29	0.29	0.06	0.10	0.01							2.68
150	0.08	0.39	0.25	0.73	0.16	0.16	0.02	0.04	0.01							1.84
160	0.02	0.32	0.36	0.79	0.13	0.13										1.76
170	0.12	0.31	0.42	0.99	0.19	0.14		0.01								2.19
180	0.14	0.48	0.60	1.65	0.17	0.35	0.05	0.05	0.01	0.01						3.50
190	0.24	0.61	0.72	1.69	0.35	0.53	0.13	0.10	0.02							4.38
200	0.25	0.77	0.62	1.39	0.36	0.74	0.11	0.10	0.05							4.38
210	0.29	0.84	0.66	1.02	0.41	0.31	0.17	0.10	0.01							3.79
220	0.30	0.90	0.73	1.57	0.44	0.54	0.04	0.11	0.02	0.06	0.01	0.01				4.72
230	0.22	0.90	0.65	1.53	0.47	0.48	0.22	0.19	0.04	0.02		0.01				4.71
240	0.25	0.81	0.75	1.59	0.36	0.59	0.07	0.13	0.02	0.05	0.01		0.01			4.65
250	0.28	0.71	0.54	1.55	0.49	0.51	0.11	0.06	0.01	0.02						4.28
260	0.33	0.56	1.10	2.09	0.55	0.69	0.19	0.19	0.05	0.04			0.01			5.81
270	0.19	0.85	0.99	2.83	0.99	1.55	0.53	0.68	0.13	0.16	0.06		0.04	0.02	0	9.06
280	0.12	0.80	0.98	1.81	0.49	0.67	0.11	0.24	0.05	0.13	0.04	0.02	0.02			5.48
290	0.22	0.49	0.71	0.92	0.11	0.13	0.07	0.04				0.01				2.69
300	0.08	0.39	0.51	0.60	0.11	0.08	0.02	0.01	0.02							1.84
310	0.13	0.31	0.33	0.43	0.10	0.02	0.02									1.35
320	0.07	0.17	0.28	0.22	0.05	0.02										0.80
330	0.01	0.05	0.10	0.17		0.02										0.35
340	0.02	0.11	0.11	0.12		0.01		0.01								0.38
350		0.12	0.01	0.04	0.01	0.04		0.01								0.23
360	0.04	0.14	0.07	0.08	0.01	0.01				0.01						0.37
TOT.	4.66	15.40	17.59	36.89	9.23	10.20	2.33	2.45	0.48	0.49	0.13	0.06	0.08	0.02	0.04	100.00
Tot. cumul.		20.06	37.65	74.54	83.77	93.97	96.31	98.76	99.23	99.72	99.86	99.92	100.00	100.02	100.06	

TAB. 6.1.5

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

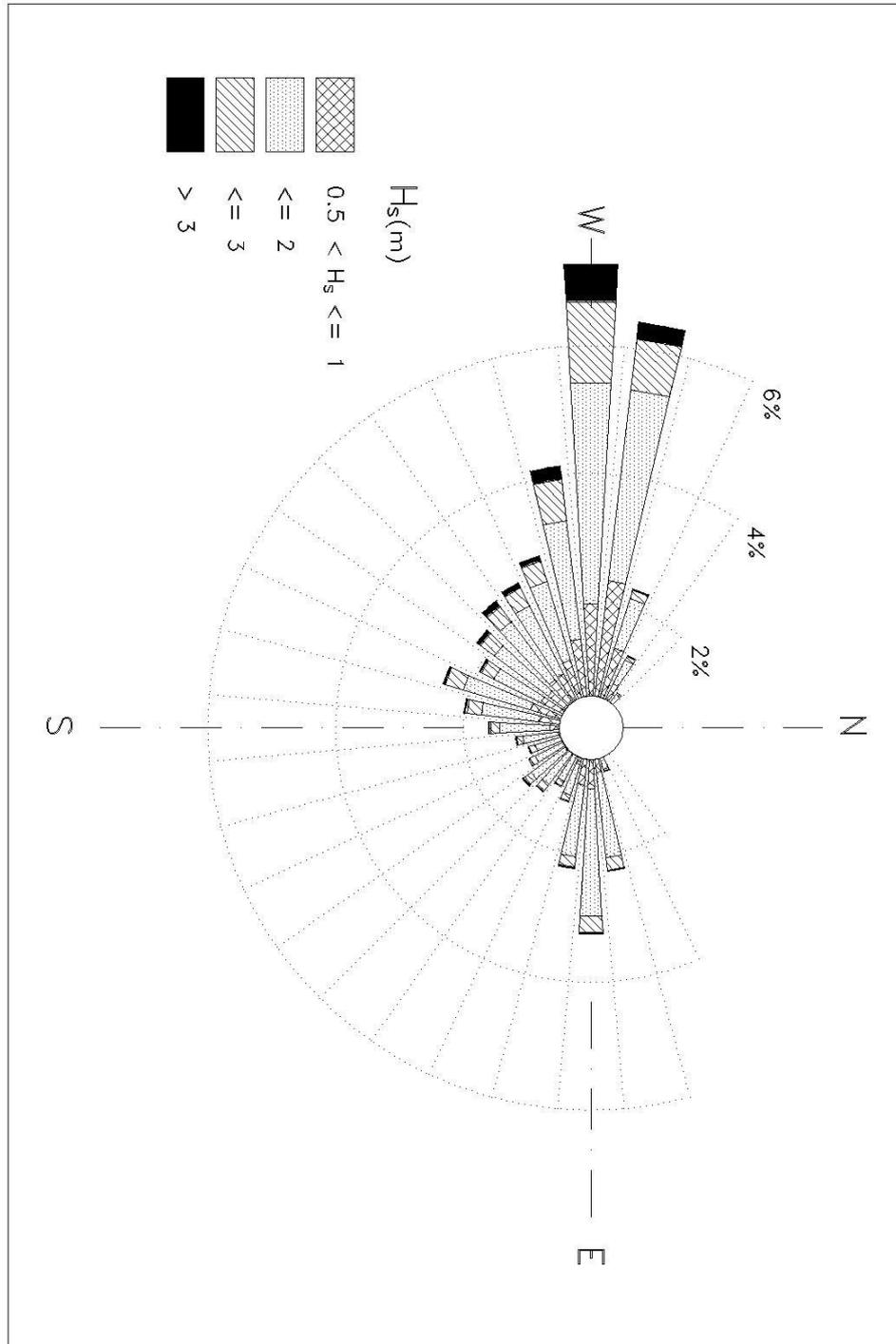


Fig.6.1.1 - Ondametro direzionale di Ponza (RON)
Clima annuale. Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso
(periodo luglio 1989 - luglio 2007)

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Trasposizione geografica della serie di misure ondametriche (Ponza)

Il Porto di Anzio è ubicato a circa 70 Km dalla stazione ondametrica di Ponza, ma le registrazioni ondametriche in esame, pur essendo rappresentative dell'esposizione climatica del medio Tirreno, non tengono conto della differente esposizione geografica del paraggio.

E' necessario quindi applicare una metodologia originale di «trasposizione geografica» del clima d'onda dall'Isola di Ponza sino al largo del Porto di Anzio (profondità – 100 m s.l.m.).

L'ipotesi di base della metodologia (P. Contini e P. De Girolamo, 1998) consiste nel supporre che le stesse condizioni di vento (velocità e direzione), che hanno determinato le condizioni di moto ondoso registrate dall'ondametro di Ponza, abbiano interessato anche l'area di generazione situata al largo del sito di interesse (Anzio). Inoltre si suppone che le aree di generazione del moto ondoso possano essere determinate per ciascun punto utilizzando il concetto di "fetch efficace" (Seymour, 1977). Il metodo di trasposizione consiste nel determinare la corrispondenza tra le direzioni, le altezze ed i periodi del moto ondoso relative al punto di misura e a quello di interesse.

Nel caso di fetch limitati, le leggi che permettono di calcolare l'altezza d'onda significativa spettrale H_m e il periodo di picco spettrale T_m in funzione della lunghezza del fetch e della velocità del vento sono le seguenti (Vincent, 1984, Shore Protection Manual, 1984):

$$\frac{gH_m}{U_A^2} = 1.6 \cdot 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\frac{gT_m}{U_A^2} = 2.857 \cdot 10^{-1} \left(\frac{gF}{U_A} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

dove U_A è il fattore di velocità del vento ("wind stress factor"), dipendente in modo non lineare dalla velocità del vento misurata alla quota +10 m s.l.m., ed F è il fetch efficace relativo ad una prefissata direzione geografica.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Indicando con gli apici O e P rispettivamente le grandezze relative al punto di misura e al punto di trasposizione, e fissata una direzione geografica (direzione media da cui spira il del vento) alla quale risultano associati i fetch efficaci F^P e F^O , le precedenti relazioni permettono di stabilire la ricercata corrispondenza tra le altezze ed i periodi delle onde relative al punto O e al punto P:

$$\frac{H_{mo}^P}{H_{mo}^O} = \left(\frac{F^P}{F^O} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\frac{T_{mo}^P}{T_{mo}^O} = \left(\frac{F^P}{F^O} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

Per ottenere le precedenti relazioni si è ovviamente supposto che il fattore di velocità del vento sia lo stesso nei due punti in esame. Tale assunzione deriva dall'aver ipotizzato che le aree di generazione dei due punti siano caratterizzate dalla stessa velocità del vento.

Il metodo si completa utilizzando la legge di Leenknecht et al., 1992 (vedi anche ACES, 1992) che stabilisce il legame tra la direzione media del vento e la direzione media del moto ondoso da esso generato.

L'applicazione del metodo impone la preliminare caratterizzazione dei fetch geografici ed efficaci per i due siti (punto al largo del porto di Anzio e Ondametro di Ponza).

$$F_{e,w} = \frac{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} F_i \cos^{n+1}(\phi_i - \phi_w)}{\sum_{\phi_i = \phi_w - \theta}^{\phi_w + \theta} \cos^n(\phi_i - \phi_w)}$$

dove:

ϕ_w direzione media (riferita al nord geografico) di possibile provenienza del vento responsabile del fenomeno di generazione del moto ondoso lungo la traversia;

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

- $\phi_i \leq \phi_w \pm \theta$ direzione i-esima (riferita al nord geografico) relativa ad un settore di $2\cdot\theta$ considerato nell'intorno della direzione ϕ_w . Il metodo classico di Saville prevede un valore di $\theta=45^\circ$ mentre la metodologia sviluppata da Seymour fa riferimento ad un valore di $\theta=90^\circ$.
- $F_{e,w}$ lunghezza del fetch efficace relativa alla direzione ϕ_w
- F_i lunghezza del fetch geografico relativa alla direzione i-esima ϕ_i (si fa riferimento alla lunghezza calcolata su base cartografica) eventualmente assunta come valore medio relativo ad un settore di 15° nell'intorno della direzione i-esima ϕ_i (metodo proposto dal C.E.R.C. nel software package A.C.E.S.)
- n termine esponenziale definito in funzione della legge di distribuzione direzionale degli spettri di moto ondoso che caratterizzano il sito in esame.

Per il calcolo della relazione esistente tra la direzione del vento e quella del moto ondoso generato, si fa riferimento al criterio introdotto da Donelan. Nell'ipotesi che:

- la direzione media del moto ondoso corrisponde alla direzione della componente spettrale associata al periodo di picco;
- il moto ondoso generato dal vento è ben definito e rappresentabile tramite le relazioni introdotte dalla campagna oceanografica JONSWAP (JOint North Sea WAve Project, Hasselmann 1976).

Si può affermare che la direzione media β del moto ondoso relativa alla direzione media di provenienza del vento ϕ_w è individuata come il valore che rende massima la funzione:

$$f(\phi_w) = F_{e,\phi_w}^{0.28} \cdot (\cos \phi_w)^{0.44}$$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

quindi per $f'(\beta)=0$ e $f''(\beta)<0$.

Nella figure 6.1.2a, 6.1.2b e nella tabella 6.1.7 sono rappresentati i fetch geografici ed efficaci di Ponza, necessari per la trasposizione geografica delle misure ondametriche da Ponza al largo del sito in esame.

Note le caratteristiche del moto ondoso registrate dall'ondametro, sulla base della legge di correlazione tra la direzione dell'onda e quella del vento si determina la direzione dell'onda nel punto di interesse. Nel contempo si definiscono i coefficienti correttivi H_M/H_C e T_M/T_C per il calcolo dell'altezza e del periodo dell'onda risultante nel punto di trasposizione geografica.

Nella figura 6.1.3 e nelle tabelle da 6.1.8 a 6.1.12 sono sintetizzati, nella usuale forma tabellare, gli stati di mare ricostruiti. Da queste si evidenzia che:

- il 56% degli eventi (corrispondente ad una durata di 6.7 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0.5 m (valore di soglia per la modellazione del litorale)
- gli eventi, con maggiore frequenza di accadimento, sono relativi al settore di ponente (il 37 % degli eventi provengono dal settore $250^\circ - 290^\circ N$);
- gli eventi con maggiore intensità ($H_s > 2m$) provengono prevalentemente da ponente (2.9 % - 11 giorni/anno) e da libeccio (1.5 % - 6 giorni/anno).

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

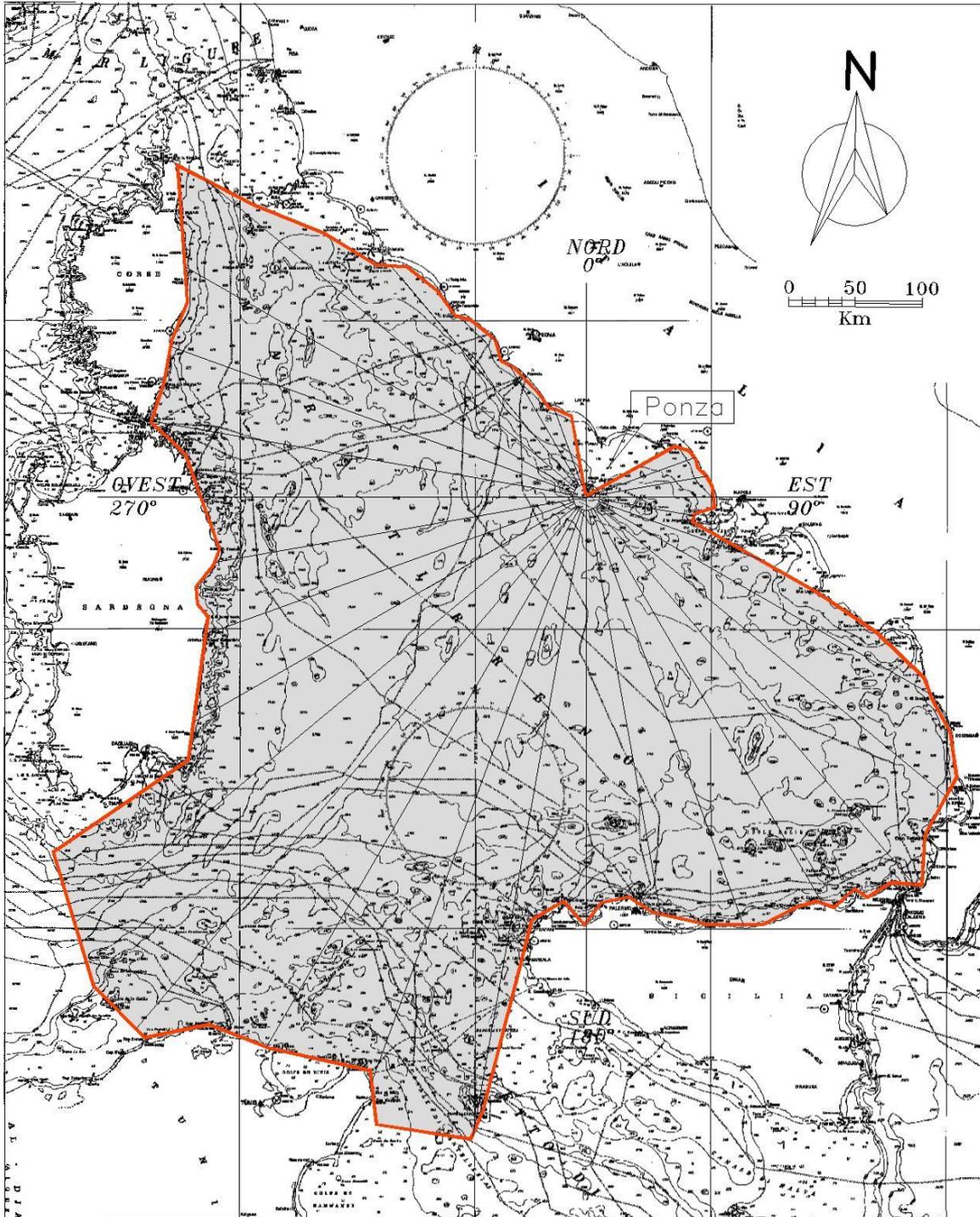


Fig. 6.1.2a - Fetch geografici al largo di Ponza

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

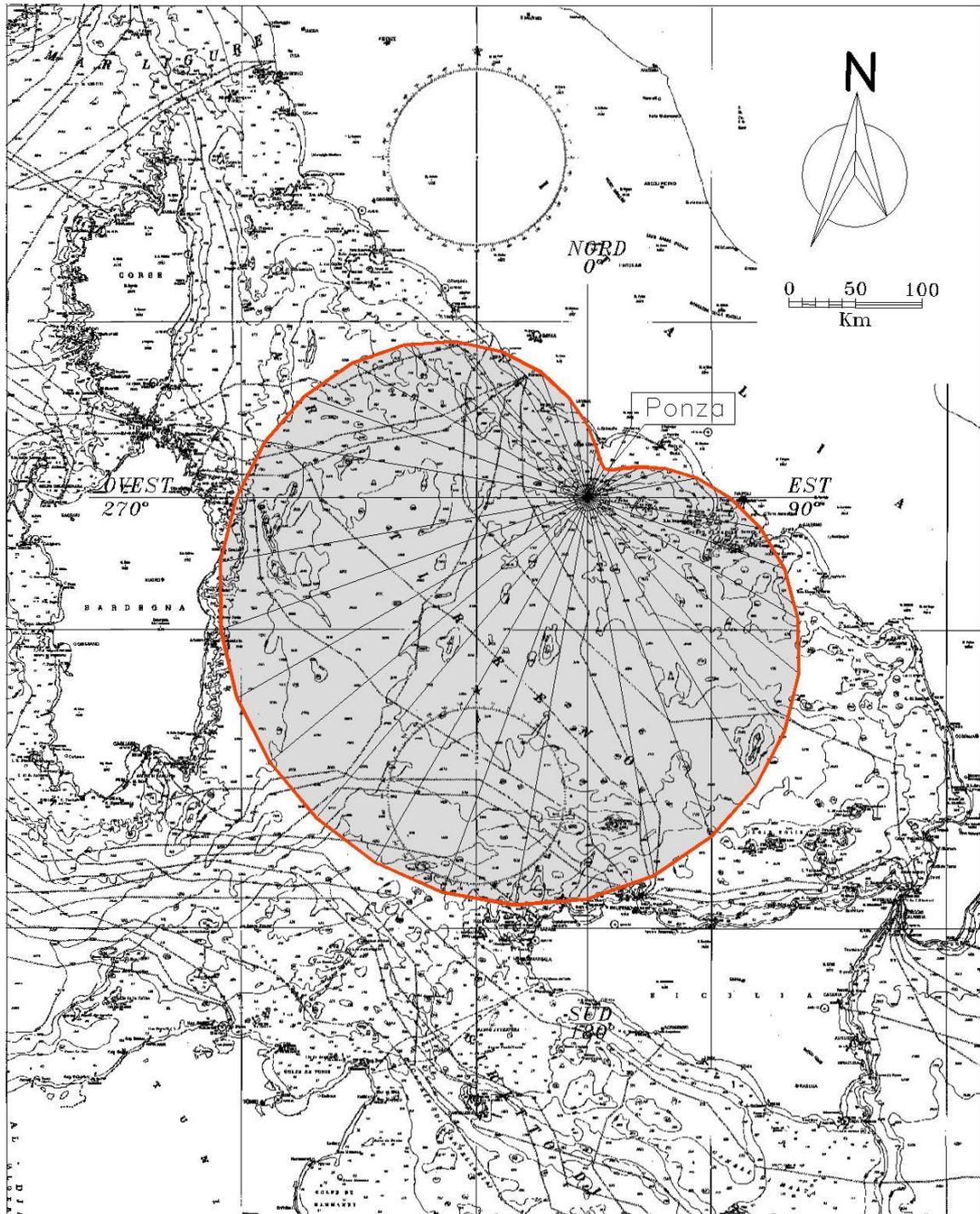


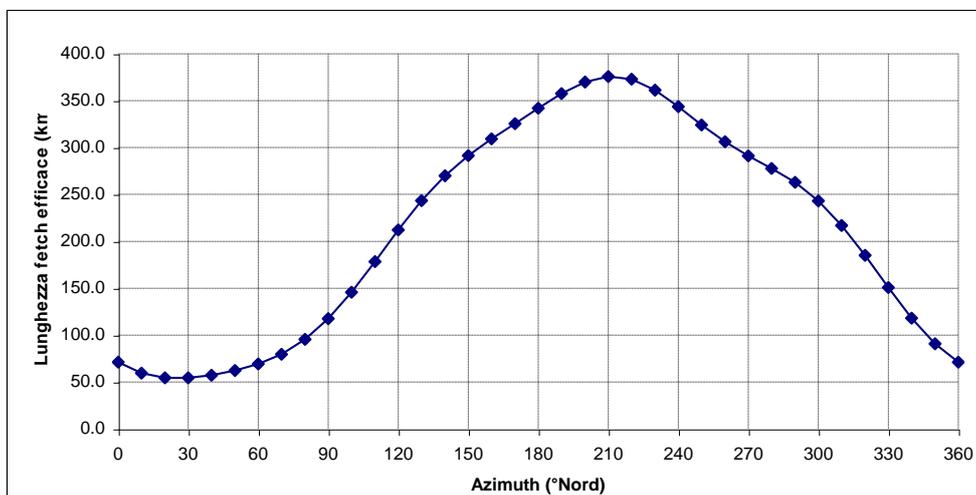
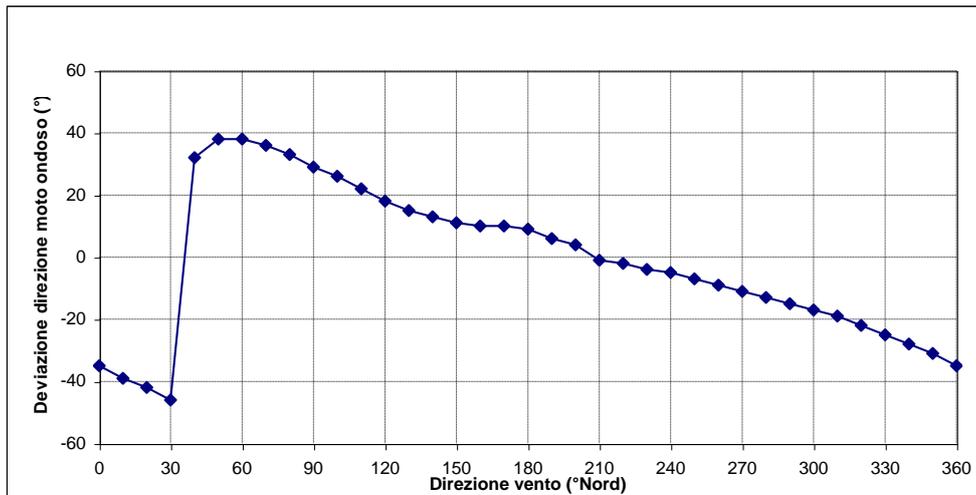
Fig. 6.1.2b - Fetch efficaci al largo di Ponza

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Tab. 6.1.7 Fetch geografici ed efficaci all'ondametro di Ponza (RON)

Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento mare (°)	Direzione media settore di traversia (°Nord)	Fetch Geografico (km)	Fetch Efficace (km)	Deviazione direzione vento-mare (°)
0	56.37	71.07	323.0	180	322.05	341.89	9.0
10	44.45	59.41	320.0	190	491.08	357.55	6.0
20	47.11	54.53	317.0	200	460.61	369.98	4.0
30	58.00	54.45	316.0	210	477.40	375.85	0.0
40	61.49	57.32	32.0	220	522.73	372.91	357.0
50	65.64	62.15	38.0	230	428.73	361.28	354.0
60	75.80	69.18	38.0	240	411.73	343.63	351.0
70	86.80	79.68	36.0	250	309.92	324.06	349.0
80	91.34	95.35	33.0	260	282.20	306.13	348.0
90	95.22	117.39	29.0	270	287.50	291.19	349.0
100	81.67	145.71	26.0	280	329.70	277.84	350.0
110	134.27	178.36	22.0	290	329.83	262.90	350.0
120	295.52	212.05	18.0	300	346.92	243.17	347.0
130	351.03	243.30	15.0	310	370.66	216.99	344.0
140	379.35	269.83	13.0	320	216.92	185.17	340.0
150	349.78	291.29	11.0	330	105.99	150.80	336.0
160	342.67	309.15	10.0	340	70.69	118.05	332.0
170	318.81	325.57	10.0	350	63.05	90.72	327.0



Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Distribuzione annuale in forma percentuale degli eventi ondososi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Anzio largo - periodo:1 luglio 1989 - luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5	>=6.5	
10	0.10	0.07	0.10	0.02												0.30
20	0.11	0.10	0.10	0.02	0.01											0.35
30	0.10	0.09	0.08	0.01	0.01	0.00										0.29
40	0.14	0.12	0.12	0.02		0.00	0.00									0.39
50	0.14	0.14	0.11	0.04	0.01	0.00	0.00									0.44
60	0.18	0.16	0.13	0.03	0.01	0.00										0.52
70	0.21	0.25	0.25	0.08	0.00	0.00	0.00									0.80
80	0.28	0.40	0.57	0.29	0.05	0.00										1.59
90	0.31	0.61	1.38	0.74	0.12	0.04										3.20
100	0.37	0.84	1.60	0.77	0.15	0.05	0.01	0.00								3.81
110	0.37	0.78	1.03	0.40	0.13	0.02	0.01									2.74
120	0.23	0.71	0.80	0.24	0.09	0.03	0.00	0.00								2.11
130	0.23	0.64	0.69	0.31	0.15	0.04	0.02	0.01								2.09
140	0.21	0.66	0.71	0.39	0.22	0.08	0.03	0.02	0.00							2.32
150	0.22	0.62	0.75	0.34	0.22	0.08	0.02	0.01	0.01							2.26
160	0.23	0.44	0.76	0.39	0.14	0.08	0.03	0.00	0.00							2.08
170	0.25	0.50	0.85	0.40	0.14	0.08	0.02	0.01			0.00					2.26
180	0.31	0.57	1.02	0.57	0.21	0.14	0.04	0.01	0.01	0.00						2.88
190	0.38	0.69	1.24	0.68	0.31	0.19	0.08	0.03	0.01	0.00						3.61
200	0.52	1.03	1.50	0.65	0.36	0.18	0.07	0.02	0.02	0.00						4.35
210	0.71	1.37	1.25	0.58	0.27	0.14	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00					4.43
220	0.68	1.56	1.06	0.62	0.34	0.17	0.09	0.05	0.02	0.01	0.00	0.01				4.61
230	0.66	1.46	1.16	0.66	0.29	0.15	0.07	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00				4.53
240	0.81	1.46	1.32	0.57	0.33	0.12	0.08	0.02	0.02	0.01						4.74
250	0.80	1.58	1.58	0.82	0.51	0.24	0.09	0.04	0.02	0.01	0.00					5.69
260	0.87	2.13	1.99	1.43	0.83	0.42	0.31	0.14	0.08	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.002	8.25
270	0.95	2.64	2.83	2.07	1.23	0.58	0.33	0.16	0.08	0.03	0.01	0.02		0.00		10.93
280	0.91	2.59	2.10	0.74	0.36	0.12	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00					6.92
290	1.01	2.33	1.31	0.23	0.09	0.02	0.02	0.00								5.02
300	0.69	0.95	0.66	0.17	0.04	0.02	0.01	0.01								2.53
310	0.64	0.49	0.27	0.11	0.03	0.01			0.00							1.55
320	0.40	0.21	0.15	0.07	0.01	0.00										0.84
330	0.21	0.12	0.12	0.02	0.01		0.00									0.47
340	0.17	0.12	0.13	0.02	0.01	0.00		0.00								0.46
350	0.14	0.12	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00									0.33
360	0.12	0.08	0.09	0.02	0.01			0.00								0.32
TOT.	14.68	28.65	29.85	14.53	6.69	3.03	1.45	0.64	0.31	0.10	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	100.00
Tot. cumul.		43.33	73.18	87.71	94.40	97.43	98.88	99.52	99.83	99.93	99.95	99.99	99.99	100.00	100.00	

TAB 6.1.8

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Distribuzione invernale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Anzio largo - periodo:1 luglio 1989 - luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5		>=6.5
10		0.06	0.11	0.01												0.18
20	0.04	0.07	0.09	0.06	0.01											0.27
30	0.03	0.05	0.11	0.01	0.02											0.22
40	0.04	0.06	0.18	0.05		0.01	0.02									0.36
50	0.06	0.14	0.17	0.08	0.02	0.01	0.01									0.49
60	0.04	0.08	0.19	0.08	0.01	0.01										0.41
70	0.07	0.21	0.38	0.10	0.01		0.02									0.79
80	0.13	0.30	0.72	0.56	0.08	0.01										1.80
90	0.18	0.49	1.74	1.41	0.31	0.05										4.19
100	0.32	0.94	2.69	1.33	0.22	0.05	0.01	0.01								5.57
110	0.32	1.00	1.91	0.73	0.13	0.04										4.14
120	0.20	0.98	1.38	0.39	0.09	0.07	0.01	0.01								3.14
130	0.19	0.85	0.72	0.27	0.20	0.05		0.01								2.30
140	0.17	0.74	0.65	0.39	0.30	0.08	0.03	0.01	0.01							2.39
150	0.14	0.57	0.74	0.29	0.38	0.11	0.03	0.01								2.28
160	0.11	0.28	0.67	0.32	0.15	0.14	0.03	0.01	0.01							1.72
170	0.14	0.44	0.79	0.27	0.15	0.12	0.05	0.02			0.01					1.99
180	0.22	0.40	0.84	0.45	0.30	0.16	0.08		0.02	0.01						2.49
190	0.19	0.58	1.09	0.61	0.35	0.21	0.08	0.04	0.02							3.18
200	0.39	0.76	1.45	0.80	0.42	0.24	0.09			0.01						4.17
210	0.59	1.58	1.64	0.73	0.21	0.21	0.07	0.07								5.11
220	0.68	1.98	1.28	0.84	0.37	0.15	0.07	0.08	0.02			0.02				5.50
230	0.45	1.54	1.54	0.99	0.47	0.22	0.12	0.05	0.01	0.01						5.41
240	0.53	1.43	1.43	0.72	0.52	0.16	0.13	0.04	0.03							5.00
250	0.41	1.46	1.74	1.21	0.91	0.35	0.10	0.10	0.03	0.02	0.01					6.36
260	0.54	1.63	1.80	1.44	1.15	0.58	0.47	0.19	0.17	0.03	0.01					8.03
270	0.48	1.73	2.12	1.65	1.00	0.53	0.42	0.18	0.18	0.02	0.02	0.02				8.36
280	0.42	1.39	1.54	0.56	0.29	0.22	0.07	0.04	0.01							4.55
290	0.33	1.20	1.38	0.19	0.13	0.06	0.03	0.01								3.34
300	0.22	0.64	0.93	0.32	0.07	0.05		0.02								2.26
310	0.38	0.48	0.48	0.27	0.11	0.02			0.01							1.75
320	0.27	0.30	0.19	0.20	0.01	0.02										0.99
330	0.04	0.09	0.17	0.02												0.32
340	0.04	0.10	0.24	0.06	0.02	0.01		0.01								0.48
350	0.05	0.05	0.09	0.01		0.01										0.21
360	0.03	0.04	0.13	0.01	0.02											0.23
TOT.	8.46	24.70	33.38	17.47	8.45	3.96	1.94	0.91	0.52	0.10	0.05	0.04				100.00
Tot. cumul.		33.16	66.55	84.02	92.47	96.43	98.38	99.29	99.81	99.91	99.96	100.00	100.00	100.00	100.00	

TAB 6.1.9

Capo d'Anzio S.p.A.
C.D.M. n. 6586/2011

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Distribuzione primaverile in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Anzio largo - periodo:1 luglio 1989 - luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5		>=6.5
10	0.12	0.10	0.04													0.25
20	0.10	0.06	0.05													0.21
30	0.12	0.05	0.04													0.21
40	0.08	0.08	0.05	0.01												0.22
50	0.10	0.10	0.07													0.27
60	0.10	0.17	0.09	0.01	0.02											0.39
70	0.19	0.16	0.14	0.01												0.50
80	0.25	0.29	0.36	0.11	0.04	0.01										1.06
90	0.32	0.40	0.72	0.24	0.05	0.03										1.76
100	0.36	0.70	0.61	0.27	0.05											2.00
110	0.31	0.62	0.32	0.10	0.04											1.38
120	0.23	0.52	0.47	0.08	0.04	0.01										1.34
130	0.20	0.54	0.64	0.23	0.09	0.02										1.72
140	0.29	0.58	0.85	0.36	0.12	0.06	0.03									2.28
150	0.32	0.80	1.14	0.42	0.14	0.05										2.86
160	0.42	0.63	0.91	0.32	0.10	0.07	0.04									2.50
170	0.35	0.58	1.07	0.40	0.11	0.06	0.01	0.01								2.59
180	0.54	0.84	1.16	0.39	0.15	0.05	0.01	0.01								3.16
190	0.65	0.86	1.33	0.62	0.12	0.03	0.04									3.64
200	0.84	1.31	1.54	0.59	0.20	0.05		0.01								4.53
210	1.06	1.49	1.31	0.39	0.24	0.16	0.01	0.01								4.67
220	0.94	1.61	1.18	0.61	0.36	0.18	0.04	0.03	0.01							4.95
230	0.81	1.61	1.15	0.48	0.22	0.13	0.06	0.04	0.03							4.52
240	1.01	1.71	1.71	0.45	0.26	0.09	0.08	0.02								5.33
250	1.13	2.04	1.89	0.69	0.46	0.24	0.06	0.05	0.03							6.59
260	1.09	2.86	2.22	1.31	0.66	0.35	0.16	0.14		0.02		0.01				8.82
270	1.41	3.52	3.58	2.27	1.09	0.59	0.19	0.07	0.02							12.74
280	1.34	3.37	2.70	0.89	0.38	0.04	0.05	0.01								8.77
290	1.31	2.57	1.14	0.20	0.12											5.33
300	0.80	0.84	0.48	0.03												2.15
310	0.62	0.35	0.20	0.03												1.20
320	0.43	0.19	0.09	0.02												0.73
330	0.19	0.11	0.09	0.02	0.01											0.42
340	0.18	0.10	0.05	0.01												0.34
350	0.10	0.13	0.06		0.01											0.30
360	0.14	0.10	0.04	0.01												0.28
TOT.	18.46	31.99	29.46	11.57	5.05	2.21	0.77	0.39	0.08	0.02		0.01				100.00
Tot. cumul.		50.45	79.91	91.47	96.53	98.74	99.50	99.89	99.97	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	

TAB 6.1.10

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Distribuzione estiva in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Anzio largo - periodo:1 luglio 1989 - luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5		>=6.5
10	0.19	0.03	0.03	0.01												0.27
20	0.24	0.11	0.06													0.41
30	0.17	0.10	0.06		0.01											0.33
40	0.28	0.13	0.04													0.45
50	0.24	0.14	0.05	0.01												0.44
60	0.31	0.21	0.04													0.56
70	0.32	0.33	0.15	0.02												0.82
80	0.44	0.54	0.44	0.08												1.50
90	0.32	0.80	0.88	0.11	0.01											2.12
100	0.36	0.58	0.72	0.19												1.85
110	0.36	0.58	0.39	0.02		0.01										1.37
120	0.24	0.62	0.27	0.08												1.22
130	0.25	0.49	0.41	0.11	0.02											1.29
140	0.20	0.62	0.45	0.16	0.02											1.46
150	0.28	0.44	0.54	0.12	0.04	0.02										1.45
160	0.24	0.42	0.73	0.30	0.07	0.05	0.01									1.82
170	0.32	0.54	0.77	0.21	0.06	0.02										1.93
180	0.29	0.57	0.94	0.24	0.05	0.02										2.12
190	0.34	0.76	1.26	0.43	0.18	0.04										3.02
200	0.48	1.14	1.60	0.54	0.22	0.06	0.02									4.05
210	0.68	1.48	0.90	0.35	0.11	0.05	0.02									3.58
220	0.79	1.61	0.76	0.25	0.03	0.01										3.45
230	0.97	1.49	0.89	0.23	0.08	0.02		0.01								3.70
240	1.26	1.62	1.00	0.30	0.11	0.03										4.33
250	1.22	1.95	1.33	0.47	0.14	0.05	0.04	0.02		0.02						5.23
260	1.39	2.91	2.21	1.28	0.59	0.21	0.18	0.06	0.02	0.03						8.88
270	1.48	3.96	3.94	2.78	1.53	0.58	0.32	0.14	0.02	0.03						14.80
280	1.56	4.41	2.82	0.86	0.49	0.14	0.06		0.01							10.35
290	1.96	4.49	1.54	0.21	0.03		0.01									8.25
300	1.43	1.75	0.58	0.08	0.01	0.01										3.85
310	1.16	0.71	0.10													1.96
320	0.67	0.22	0.08	0.01	0.01											0.99
330	0.47	0.17	0.05	0.01												0.70
340	0.38	0.15	0.11	0.02												0.66
350	0.32	0.15	0.03													0.50
360	0.21	0.06	0.06	0.02												0.34
TOT.	21.86	36.27	26.23	9.51	3.80	1.32	0.65	0.22	0.06	0.08						100.00
Tot. cumul.		58.13	84.36	93.87	97.67	98.99	99.64	99.86	99.92	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

TAB 6.1.11

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Distribuzione autunnale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Anzio largo - periodo:1 luglio 1989 - luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5	>=6.5	
10	0.06	0.09	0.25	0.07												0.48
20	0.06	0.18	0.22	0.02	0.02											0.49
30	0.06	0.14	0.12	0.04	0.01	0.01										0.38
40	0.13	0.19	0.21	0.02												0.55
50	0.13	0.19	0.16	0.07	0.03											0.58
60	0.24	0.18	0.22	0.03	0.03											0.69
70	0.22	0.28	0.35	0.22	0.01	0.01										1.09
80	0.26	0.44	0.80	0.46	0.08											2.05
90	0.39	0.73	2.28	1.35	0.17	0.09										5.01
100	0.45	1.19	2.62	1.43	0.37	0.15	0.03	0.01								6.25
110	0.50	0.94	1.67	0.83	0.38	0.04	0.04									4.40
120	0.26	0.76	1.20	0.43	0.25	0.06	0.01									2.98
130	0.27	0.72	1.04	0.66	0.31	0.09	0.07	0.02								3.17
140	0.19	0.72	0.92	0.67	0.47	0.19	0.06	0.06								3.28
150	0.11	0.69	0.59	0.55	0.36	0.15	0.06	0.02	0.03							2.55
160	0.13	0.41	0.74	0.62	0.24	0.08	0.06									2.28
170	0.18	0.44	0.75	0.75	0.24	0.13	0.04	0.01								2.54
180	0.19	0.43	1.11	1.24	0.35	0.34	0.07	0.05	0.03	0.01						3.82
190	0.34	0.56	1.26	1.09	0.60	0.49	0.21	0.07	0.04	0.01						4.67
200	0.34	0.88	1.40	0.68	0.64	0.41	0.18	0.07	0.06							4.66
210	0.48	0.94	1.22	0.92	0.56	0.17	0.14	0.06	0.02	0.01	0.01					4.52
220	0.31	1.05	1.07	0.84	0.66	0.35	0.27	0.10	0.04	0.05	0.01	0.02				4.76
230	0.34	1.18	1.12	1.03	0.43	0.26	0.11	0.11	0.06		0.01	0.01				4.66
240	0.36	1.03	1.20	0.84	0.48	0.21	0.12	0.03	0.04	0.03						4.34
250	0.32	0.81	1.39	1.00	0.62	0.34	0.15	0.02	0.03							4.68
260	0.36	0.96	1.68	1.71	0.96	0.57	0.48	0.20	0.15	0.01		0.02	0.01	0.01	0.01	7.14
270	0.30	1.08	1.47	1.44	1.22	0.61	0.38	0.26	0.12	0.08	0.02	0.05		0.02		7.05
280	0.19	0.80	1.17	0.63	0.28	0.10	0.06	0.03	0.03	0.01	0.01					3.30
290	0.25	0.67	1.15	0.31	0.10	0.04	0.03	0.01								2.55
300	0.16	0.42	0.68	0.27	0.08	0.03	0.03	0.02								1.67
310	0.31	0.39	0.35	0.16	0.03	0.01										1.25
320	0.16	0.14	0.24	0.08	0.01											0.63
330	0.08	0.11	0.17	0.02	0.03		0.01									0.42
340	0.06	0.15	0.11	0.02	0.01											0.34
350	0.07	0.15	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01									0.30
360	0.10	0.11	0.16	0.04	0.02			0.01								0.43
TOT.	8.36	20.17	31.11	20.58	10.05	4.95	2.61	1.15	0.63	0.20	0.06	0.09	0.01	0.03	0.01	100.00
Tot. cumul.		28.53	59.64	80.22	90.27	95.22	97.83	98.97	99.60	99.81	99.86	99.95	99.96	99.99	100.00	

TAB 6.1.12

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

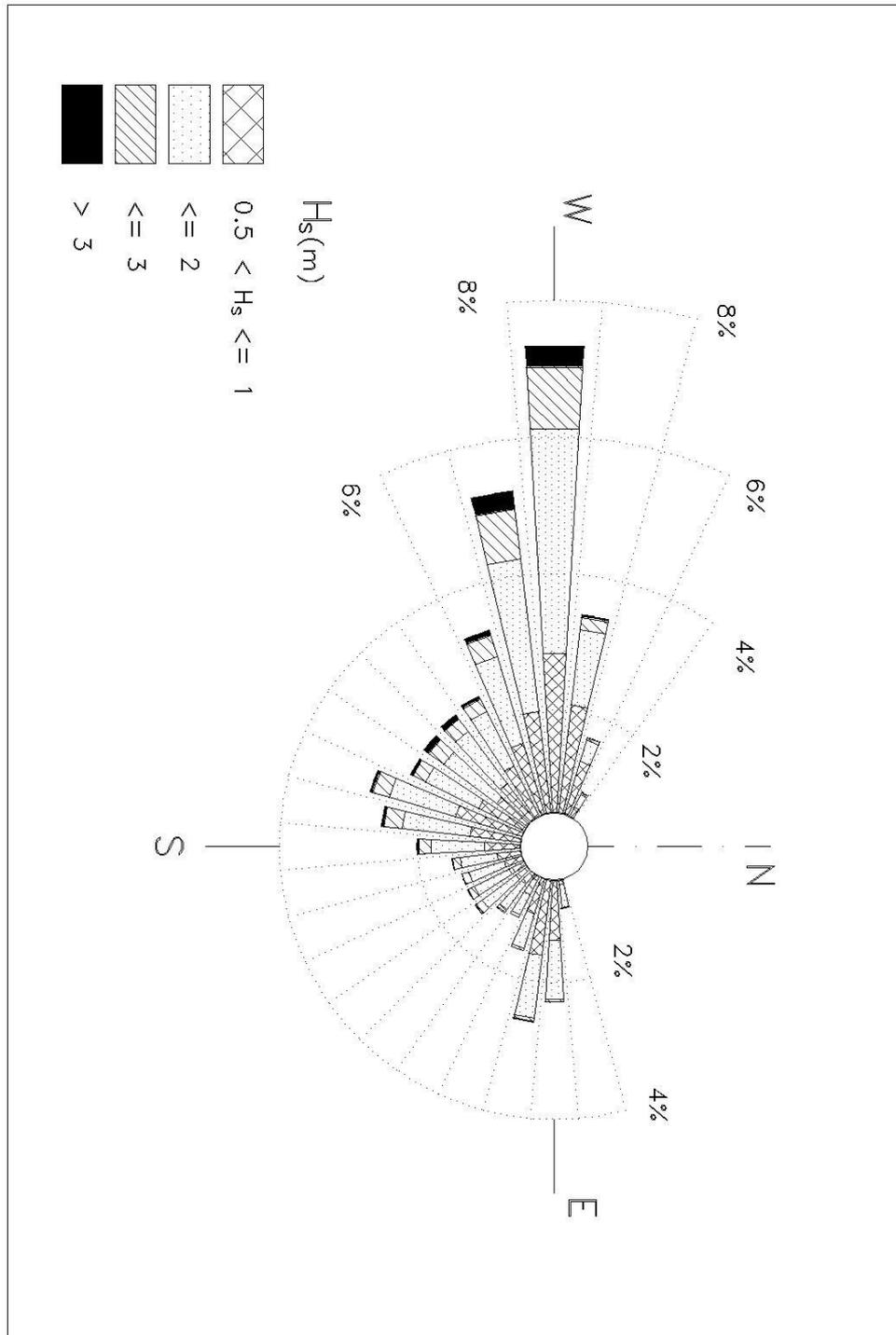


Fig. 6.1.3 - Trasposizione geografica del moto ondoso al largo di Anzio
Clima annuale. Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso
(periodo luglio 1989 - luglio 2007)

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Propagazione sotto costa della serie di misure ondametriche

Per definire le condizioni di moto ondoso in prossimità dell'imboccatura portuale e delle opere foranee e per la definizione dell'onda di modellazione è stato eseguito uno studio di propagazione del moto ondoso da largo a riva.

A tal fine è stato necessario in primo luogo scegliere il modello numerico più appropriato per lo studio in questione. La scelta del modello numerico viene normalmente effettuata a valle di una analisi dei principali fenomeni fisici che condizionano l'evoluzione delle onde durante la propagazione. Tale analisi si basa fundamentalmente su un'attenta lettura della conformazione batimetrica dei fondali e delle relative condizioni al contorno che per il Porto di Anzio risultano funzione anche delle direzioni di provenienza del moto ondoso al largo.

In particolare, per quanto riguarda gli stati di mare generati in mare aperto (proveniente dal settore individuato nel paragrafo precedente) è possibile definire delle condizioni al contorno (contorno di largo) espresse in termini di altezza, direzione e periodo caratteristici del moto ondoso incidente. Nel caso specifico si può ragionevolmente ritenere che l'influenza, in termini percentuali, dei meccanismi generativi del moto ondoso ad opera del vento che intervengono nella propagazione largo-riva, possano essere trascurati, poiché la zona di bassi fondali risulta di estensione notevolmente inferiore rispetto a quella, posta in mare aperto, dove le onde vengono generate. Per quanto riguarda i meccanismi che possono alterare la propagazione delle onde sui fondali via via decrescenti che "collegano" il mare aperto alla zona di intervento, la regolarità dell'andamento delle linee batimetriche che caratterizzano il litorale in esame permette di ritenere che essi siano costituiti in modo dominante dalla **rifrazione** e dallo **shoaling** e che possano essere ritenuti trascurabili sia i processi diffrattivi (diffrazione esterna ed interna) che dissipativi (attrito sul fondo e frangimento).

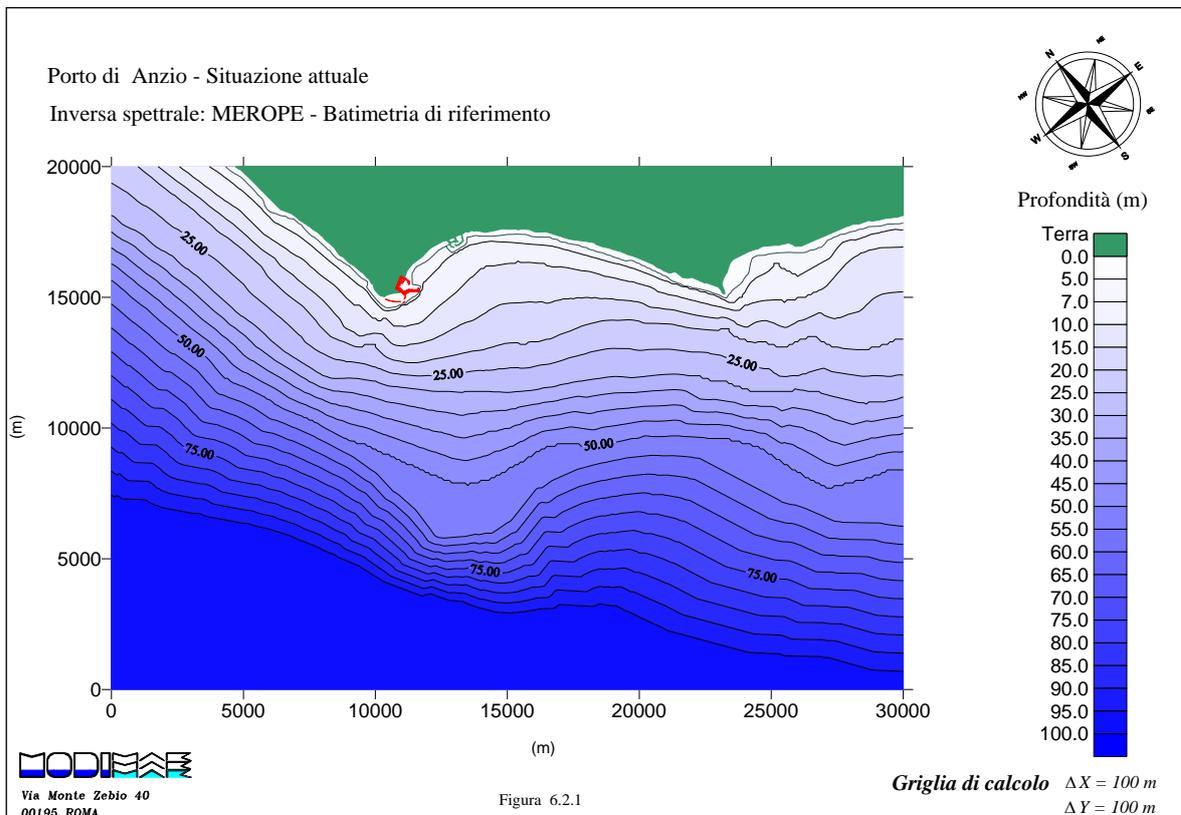
La serie di dati ondametrici inizialmente trasposta da Ponza al largo del porto in esame è stata riportata sotto costa utilizzando il modello numerico di propagazione spettrale MEROPE.

Lo studio della rifrazione richiede la digitalizzazione dei valori di profondità ricavati da carte nautiche con la costruzione di un adeguato reticolo batimetrico che tenga conto

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

della topografia sottomarina sui "bassi" fondali (profondità inferiori alla semi-lunghezza d'onda, cioè dell'ordine dei 100 m). Nel presente caso i valori di profondità sono stati ricavati dalle carte nautiche n° 8 « Da Anzio a Capo Circeo e Isole Pontine» (scala 1: 100.000) e n°77 « Porti di Anzio e Nettuno» (scala 1: 6.000), entrambe edite dall'Istituto Idrografico della Marina – figura 6.2.1.



**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

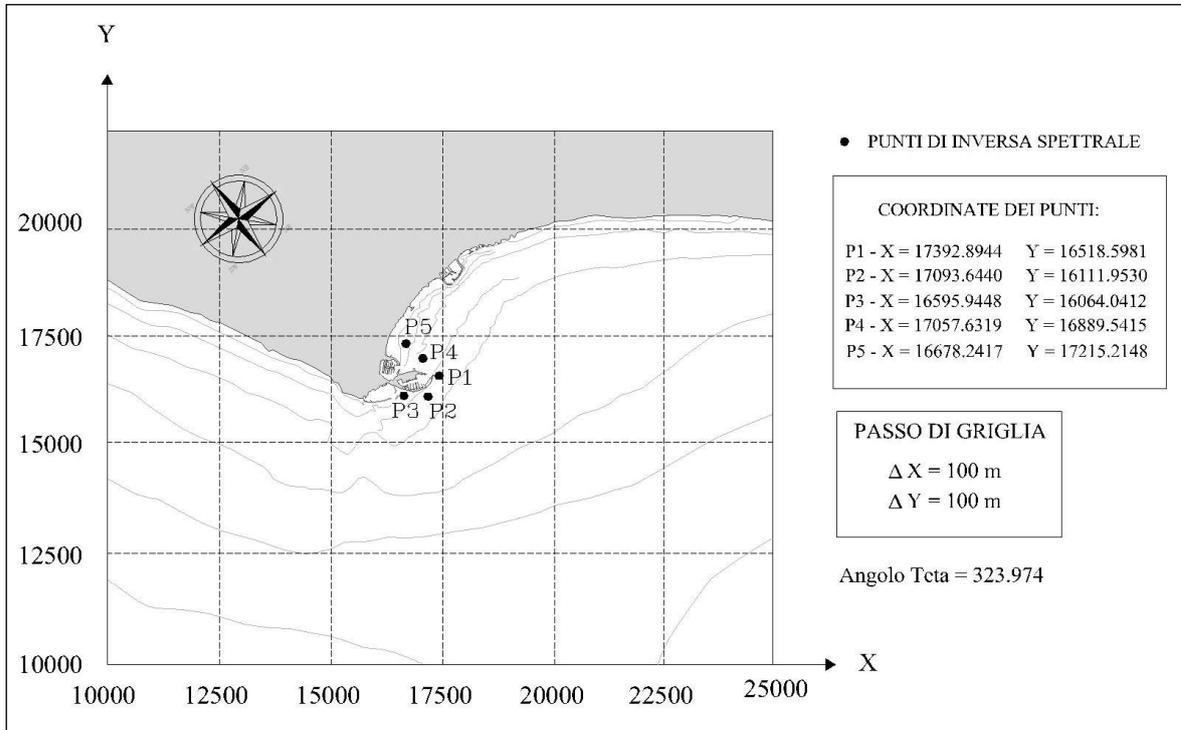


Fig. 6.2.2 – Ubicazione punti di inversa

Al fine di ottenere un quadro completo del regime di moto ondoso sottocosta, che caratterizza la falcata costiera di nostro interesse, è stata condotta l'applicazione del modello per 5 punti di rifrazione (figura 6.2.2) posti rispettivamente immediatamente avanti alla nuova imboccatura portuale (punto P1), a circa 800 m ad ovest (punto P2) della stessa. Il punto P4 è invece posto davanti all'attuale imboccatura e a 800 m ad est del punto P1. Inoltre sono state condotte due simulazioni per altri due punti posti in corrispondenza della connessione tra l'antico porto di Nerone e la radice del nuovo molo di sopraflutto (punto P3) e l'altro (punto P5) circa 700 m ad est dell'imboccatura del porto turistico. In particolare, per il punto P5 sono state effettuate due simulazioni sia nella configurazione attuale del porto che in quella di progetto, al fine di verificare l'eventuale influenza indotta dalle nuove opere sulla spiaggia adiacente. Tale verifica verrà effettuata ricavando la risultante energetica nelle due configurazioni portuali prese in esame.

Per ciascun punto sono stati calcolati 24 piani d'onda d'inversa per altrettanti periodi compresi tra 0.8 e 24 secondi, tracciando una serie di raggi (ortogonali ai fronti d'onda), spazati di 0.5° , sino a coprire l'intero settore (geografico) di traversia. In definitiva per i

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

punti P1 – P4 sono stati calcolati 280 raggi di propagazione riva-largo, relativi al settore 110 – 250 °N; nel punto P3 per il settore 110 – 270 °N sono stati calcolati 320 raggi di propagazione riva-largo; infine per il punto P5, nella configurazione attuale, sono stati elaborati 170 raggi riferiti al settore 110 – 195 °N, mentre nella configurazione di progetto ne sono stati elaborati 130, riferiti al settore 110 – 175 °N. Il tracciamento dei piani d'onda è stato effettuato tenendo conto del settore geografico di traversia (spingendo i raggi oltre l'isobata - 100 m). Si riportano a titolo d'esempio i piani d'onda inversi relativi ai punti d'inversa P1, P2, P4 e P5 (nella situazione ed in quella di progetto) con i periodi $T = 6$ s e $T = 9$ s (figure 6.2.3 ÷ 6.2.12).

Si può osservare come per le direzioni lateralmente più esterne al settore di traversia vi siano maggiori attenuazioni del moto ondoso (maggiore distanza tra raggi adiacenti) all'avvicinarsi sottocosta.

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

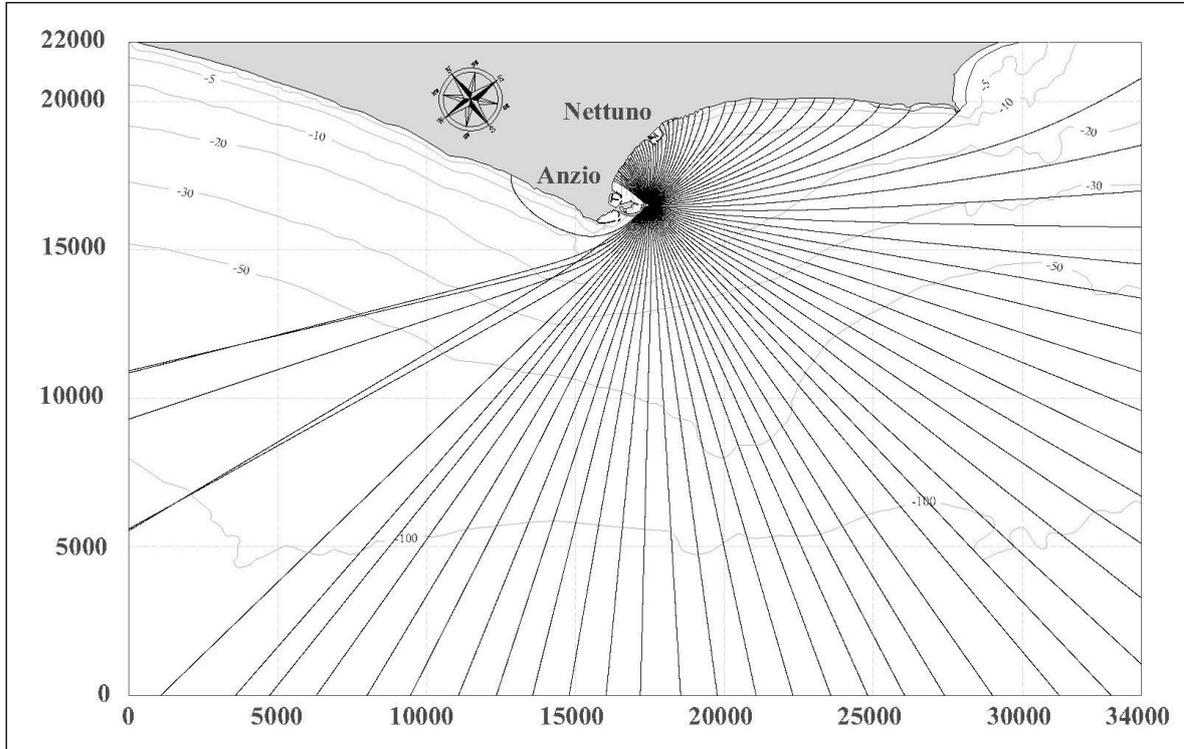


Figura 6.2.3 - Inversa Spettrale: Piano d'onda per il punto P1 con periodo $T = 6$ s

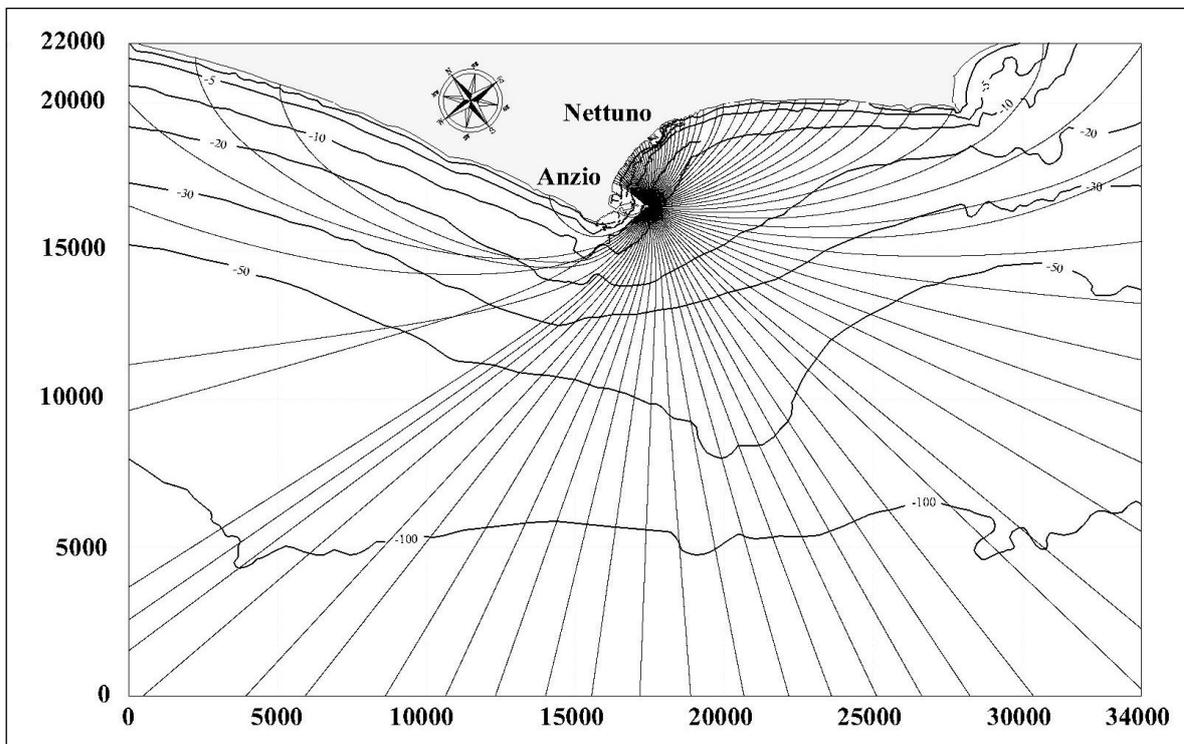


Figura 6.2.4 - Inversa Spettrale: Piano d'onda per il punto P1 con periodo $T = 9$ s

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

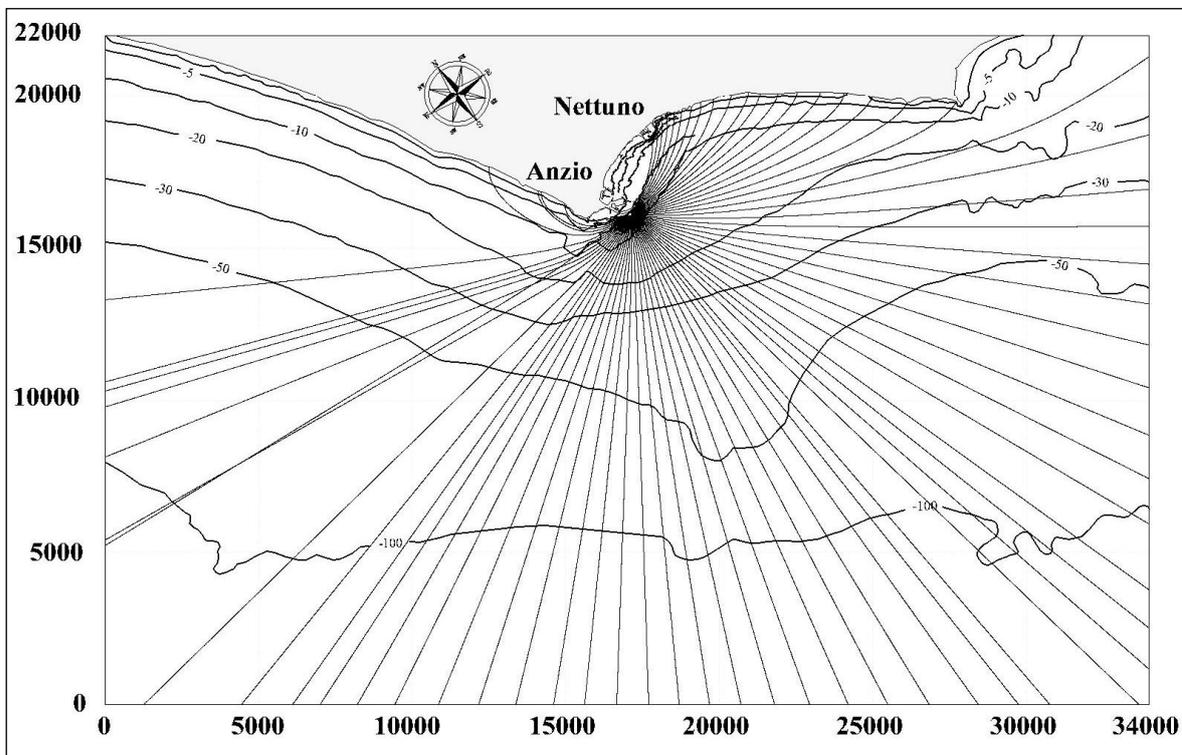


Figura 6.2.5 - Inversa Spettrale: Piano d'onda per il punto P2 con periodo $T = 6$ s

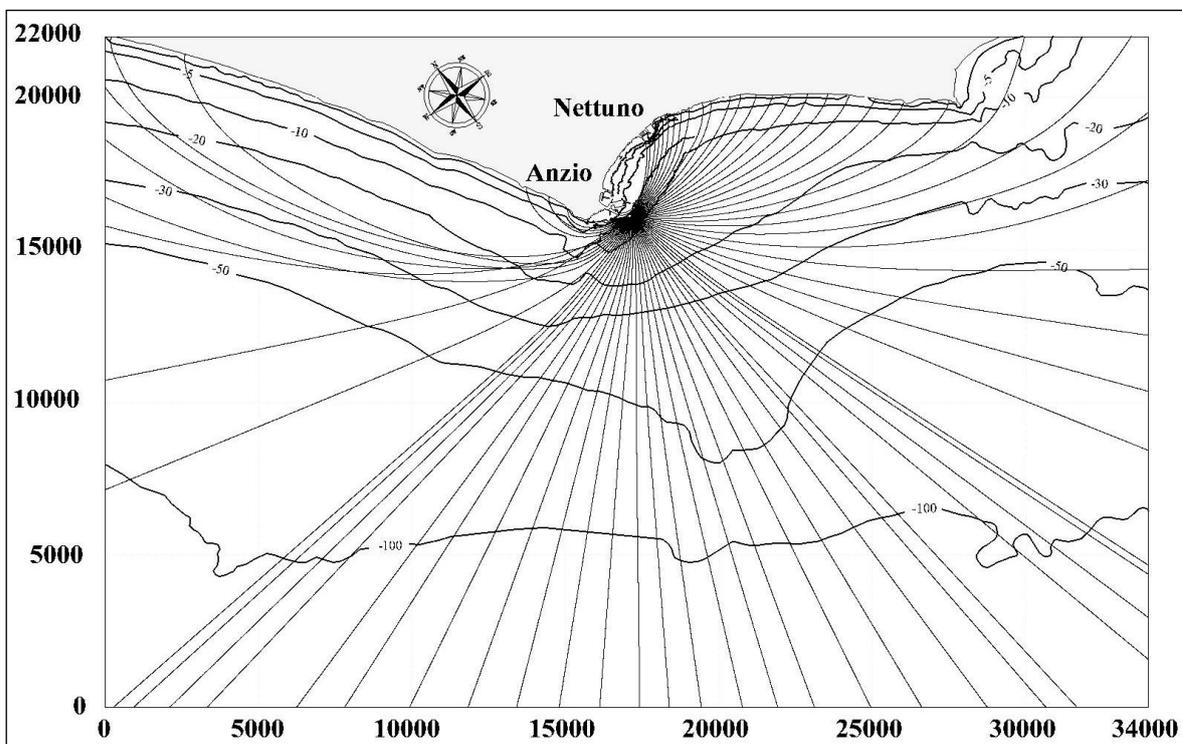


Figura 6.2.6 - Inversa Spettrale: Piano d'onda per il punto P2 con periodo $T = 9$ s

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

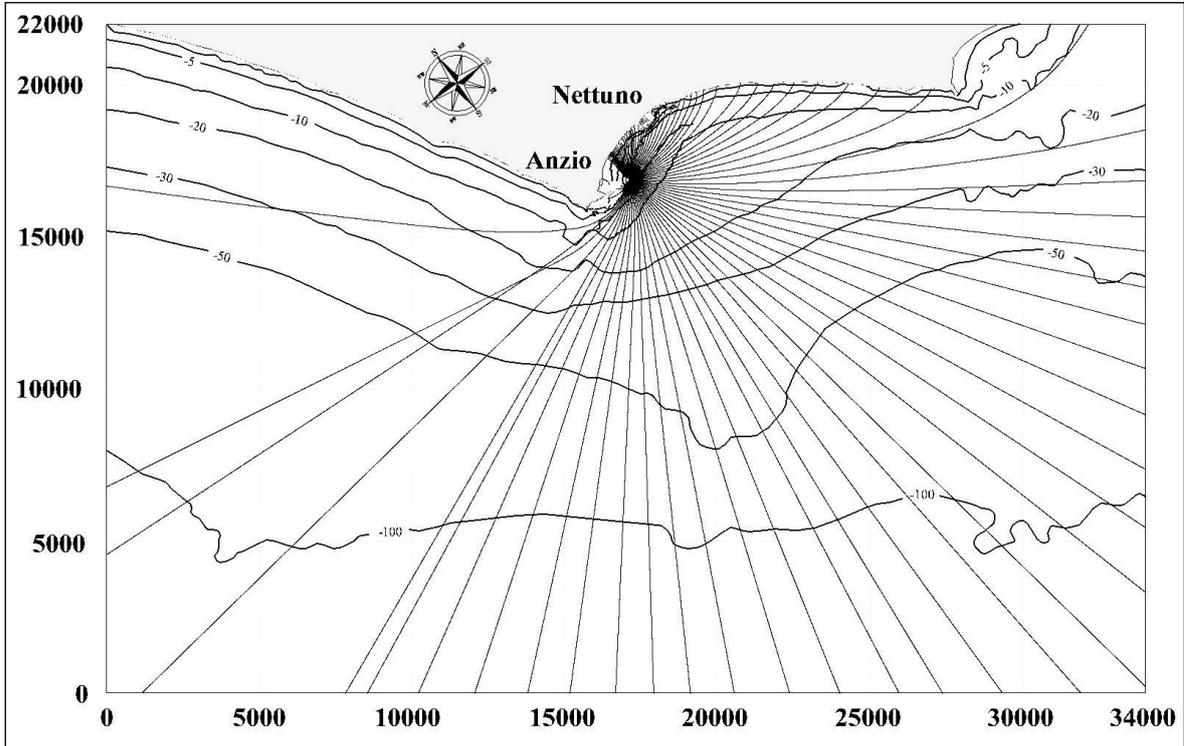


Figura 6.2.7 - Inversa Spettrale: Piano d'onda per il punto P4 con periodo $T = 6$ s

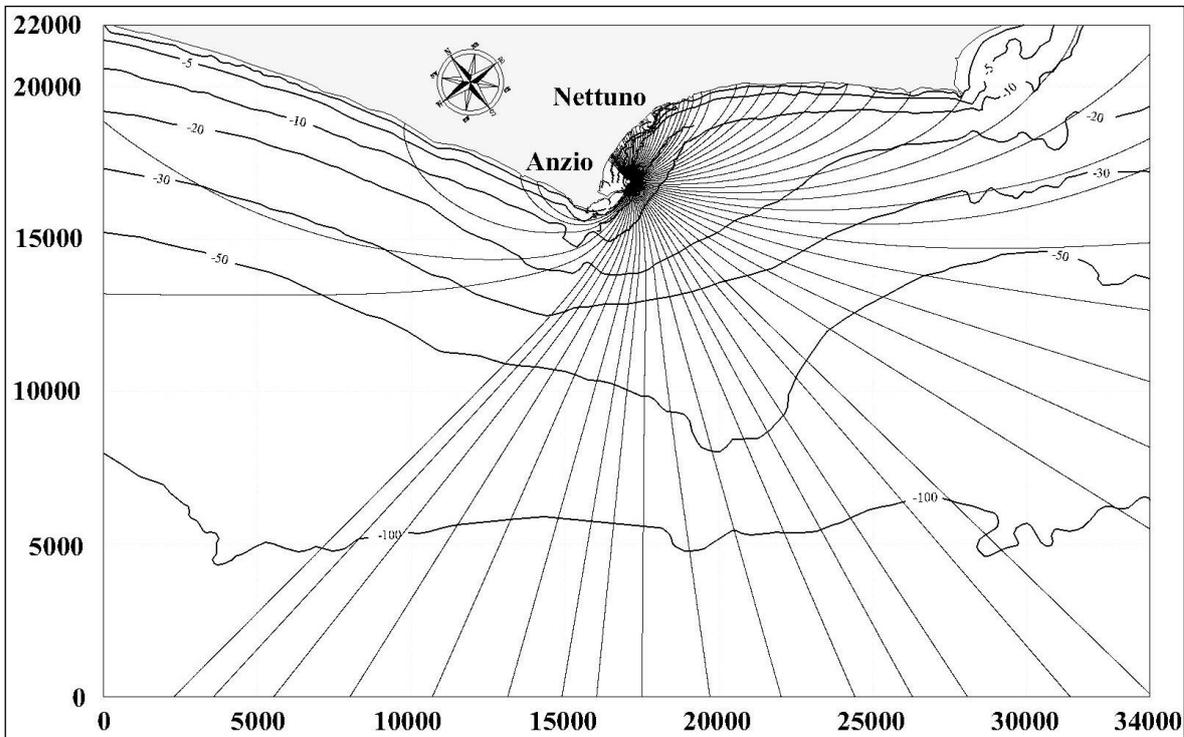


Figura 6.2.8 - Inversa Spettrale: Piano d'onda per il punto P4 con periodo $T = 9$ s

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

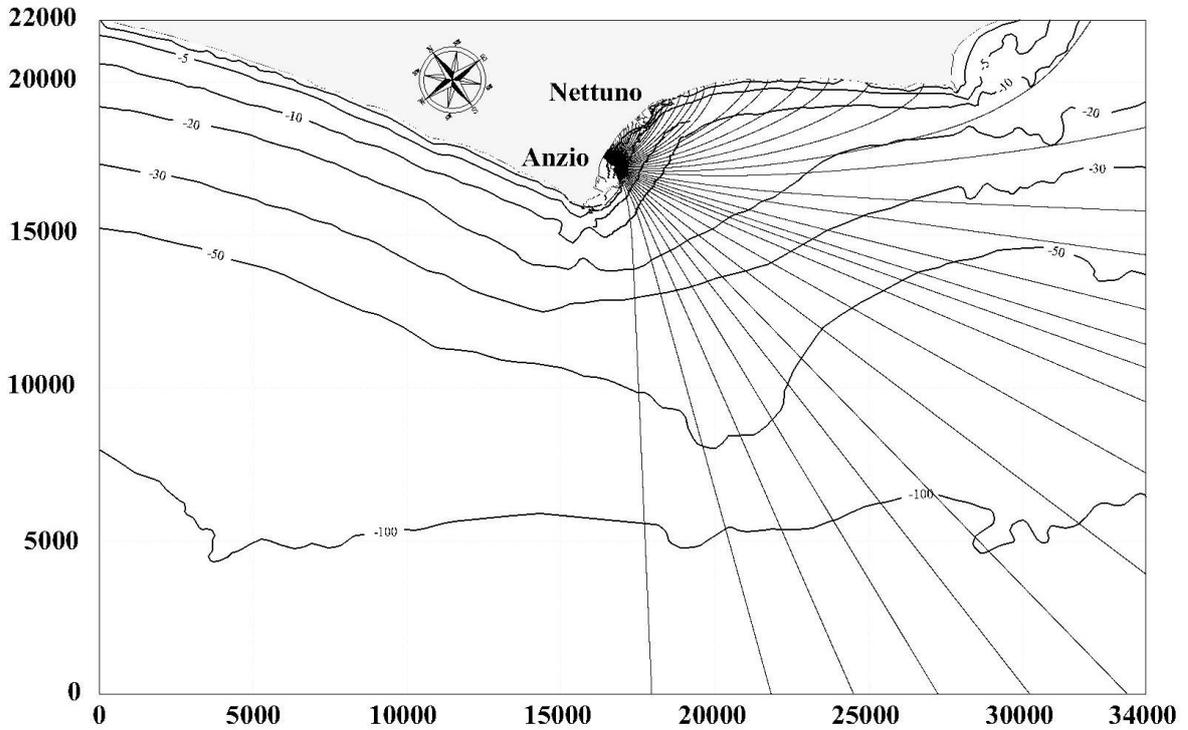


Figura 6.2.9 - Inversa Spettrale: Piano d'onda per il punto P5 con periodo $T = 6$ s

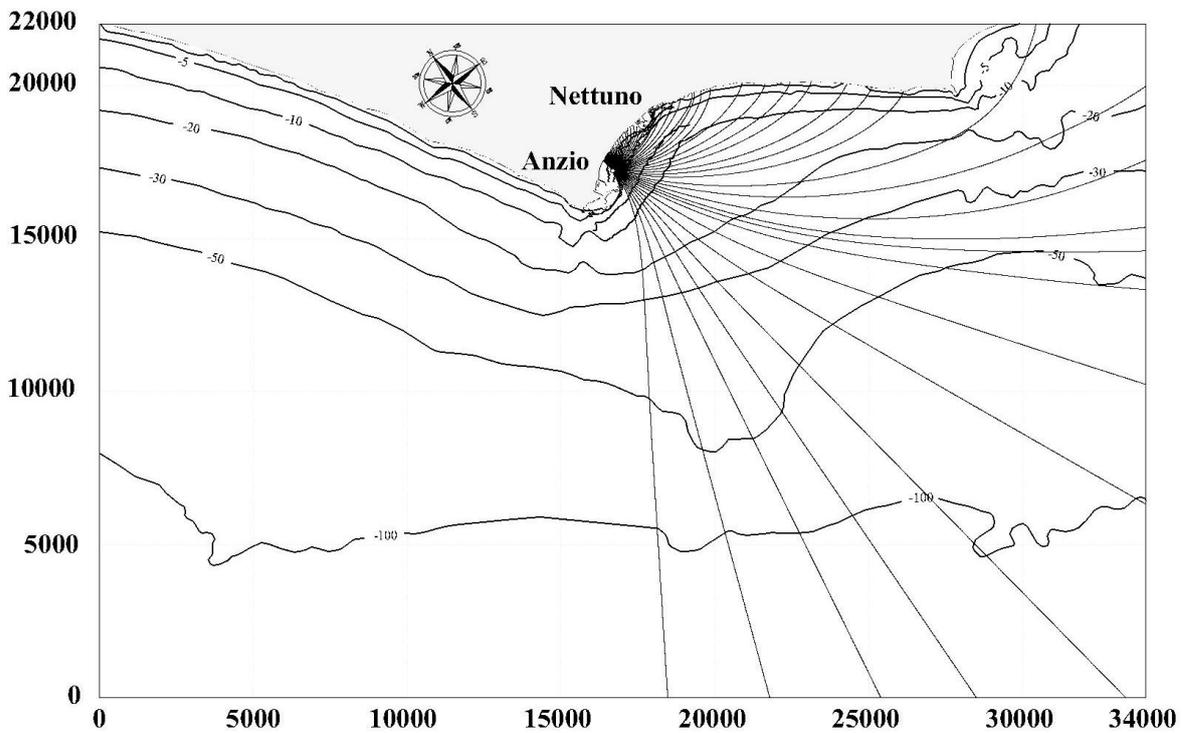


Figura 6.2.10 - Inversa Spettrale: Piano d'onda per il punto P5 con periodo $T = 9$ s

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

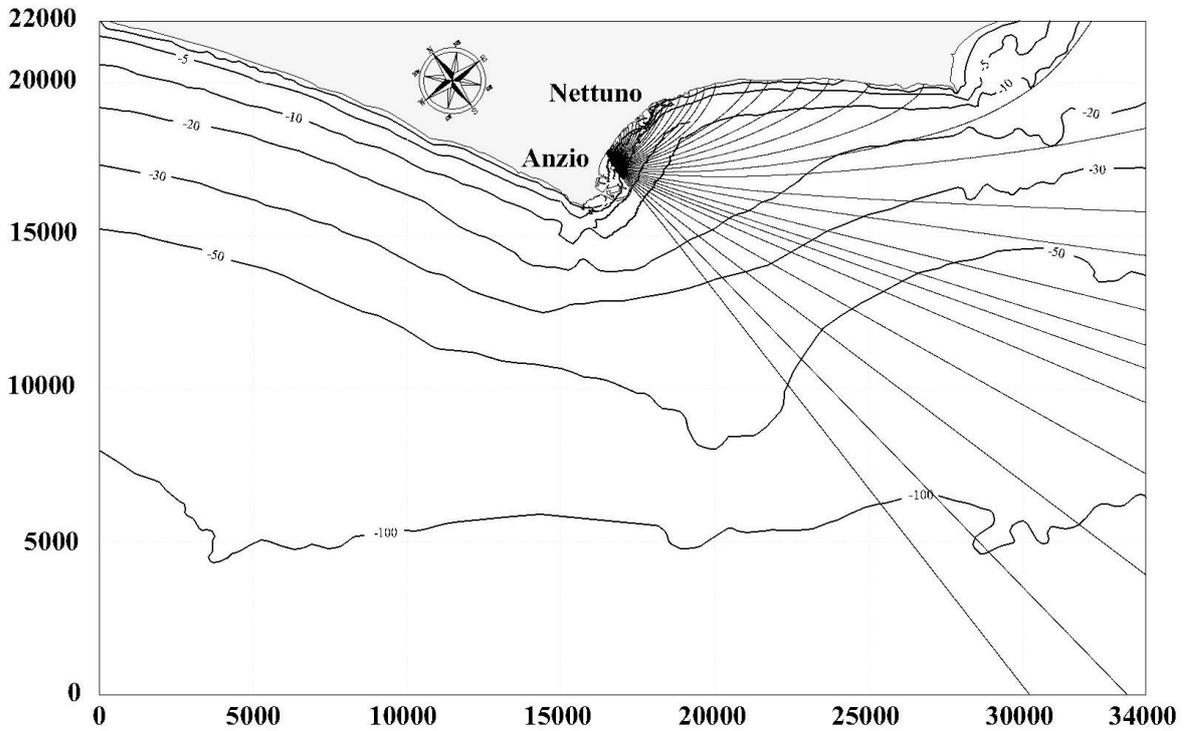


Figura 6.2.11 - Inversa Spettrale: Piano d'onda per il punto P5 (configurazione di progetto) con periodo $T = 6$ s

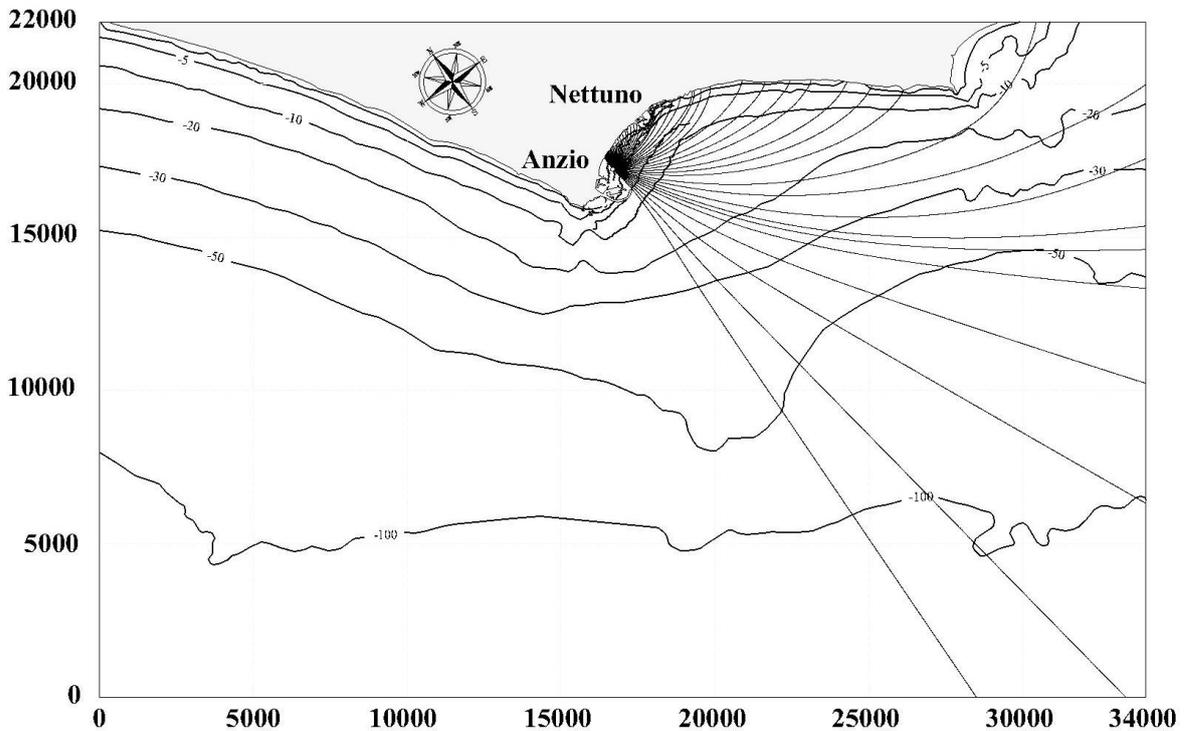


Figura 6.2.12 - Inversa Spettrale:
Piano d'onda per il punto P5 (configurazione di progetto) con periodo $T = 9$ s

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

I risultati della **rifrazione inversa-spettrale** per i punti P1 – P2 – P4 – P5 sono sintetizzati in forma tabellare e grafica (tabelle 6.2.1÷6.2.6 e figure 6.2.13÷6.2.17) per i numerosi spettri ondosi simulati (tipo JONSWAP), avendo distinto quelli di minore intensità (utili per ottenere il regime medio sottocosta) da quelli estremi.

Nelle tabelle, dove sono riportati i 12 spettri più rappresentativi del clima d'onda, sono utilizzati i seguenti simboli:

H_{so} = altezza d'onda significativa al largo;

T_s = periodo d'onda significativa al largo;

Az_{mo} = direzione di provenienza al largo;

H_{sr} = altezza d'onda significativa a riva;

Az_{mr} = direzione di provenienza a riva;

K= prodotto tra i coefficienti di “shoaling” e di rifrazione;

T/T_o= rapporto tra il periodo d'onda al largo e a riva.

Nelle figure 6.2.13a, 6.2.14a, 6.2.15a, 6.2.16a e 6.2.17a sono rappresentate in forma grafica le corrispondenze tra le direzioni del moto ondoso incidente dal largo e i corrispondenti valori di direzione calcolati a riva per gli 12 spettri riportati nelle tabelle 6.2.1 ÷ 6.2.5. Le figg. 6.2.13b, 6.2.14b, 6.2.15b, 6.2.16b e 6.2.17b riportano, sempre limitatamente ai 12 spettri presi ad esempio, la corrispondenza dell'altezza d'onda significativa sotto costa rispetto alla direzione di incidenza al largo. Per i punti P4 e P5 nella situazione attuale si evidenzia un'attenuazione delle altezze d'onda in modo più accentuato per i settori di libeccio e ponente, per l'effetto di «schermo» esercitato da Capo d'Anzio, e per il settore di scirocco per la presenza del saliente roccioso di Torre Astura; mentre per i punti P1 e P2 nella configurazione di progetto, viene confermata una discreta attenuazione sia per il settore di ponente (si registrano riduzioni dell'altezza d'onda comprese tra il 20÷40%), che per quello di scirocco (diminuzione pari al 10÷20%). Più in dettaglio per i cinque punti di inversa si hanno i maggiori valori del coefficiente k ($k = k_r \cdot k_s$ con k_r coefficiente di rifrazione e k_s coefficiente di shoaling) nei seguenti casi:

1) punto P1 (progetto): eventi da mezzogiorno (157.5 – 202.5 °N) con $k = 1.00$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

- 2) punto P2 (progetto): eventi da mezzogiorno (157.5 – 202.5 °N) con $k = 1.03$
- 3) punto P4 (attuale): eventi da mezzogiorno (157.5 – 202.5 °N) con $k = 1.02$
- 4) punto P5 (attuale): eventi da scirocco (112.5 – 157.5°N) con $k = 1.06$
- 5) punto P5 (progetto): eventi da scirocco (112.5 – 157.5°N) con $k = 1.02$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

PUNTO P1

Fig. 6.2.13a - Rapporto tra l'altezza d'onda al largo H_{so} e sottocosta in funzione della direzione del moto ondoso al largo

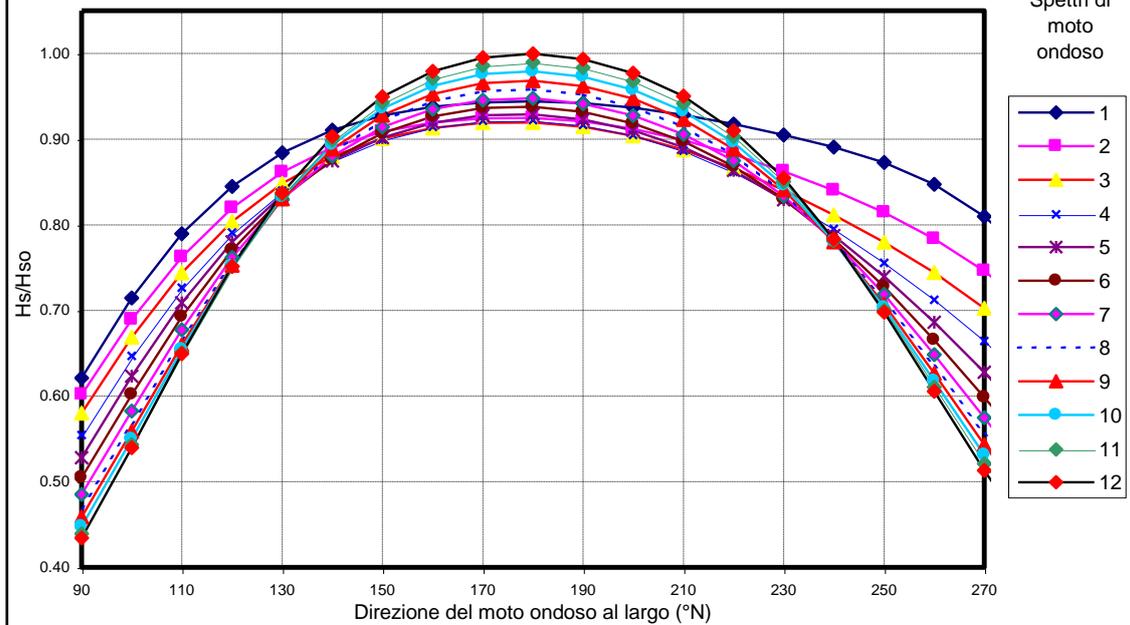
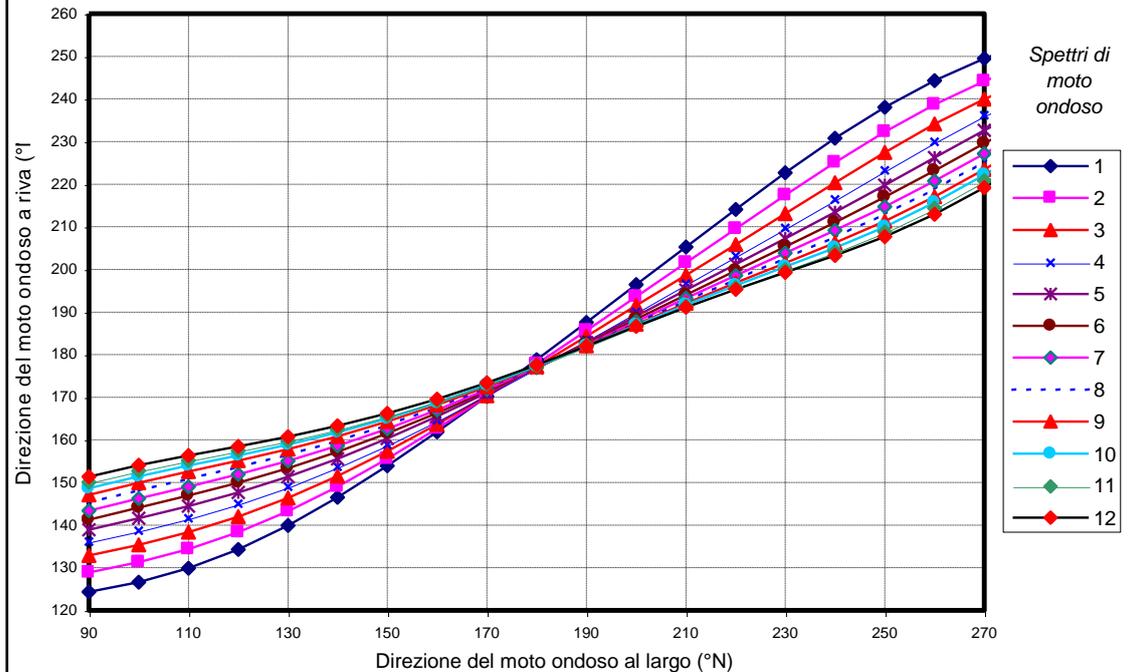


Fig. 6.2.13b - Corrispondenza direzioni di moto ondoso largo - riva



**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

PUNTO P1									PUNTO P1								
	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To		Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N				m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 1	1.00	4.51	90	0.62	4.68	124	0.621	1.04	Spettro 4	2.50	7.13	90	1.39	6.29	136	0.555	0.88
	1.00	4.51	100	0.71	4.68	127	0.715	1.04		2.50	7.13	100	1.62	7.30	139	0.647	1.02
	1.00	4.51	110	0.79	4.68	130	0.789	1.04		2.50	7.13	110	1.82	7.30	142	0.727	1.02
	1.00	4.51	120	0.84	4.68	134	0.845	1.04		2.50	7.13	120	1.98	7.30	145	0.791	1.02
	1.00	4.51	130	0.88	4.68	140	0.884	1.04		2.50	7.13	130	2.10	7.30	149	0.840	1.02
	1.00	4.51	140	0.91	4.68	146	0.911	1.04		2.50	7.13	140	2.19	7.30	154	0.875	1.02
	1.00	4.51	150	0.93	4.68	154	0.928	1.04		2.50	7.13	150	2.25	7.30	159	0.900	1.02
	1.00	4.51	160	0.94	4.68	162	0.938	1.04		2.50	7.13	160	2.29	7.30	165	0.914	1.02
	1.00	4.51	170	0.94	4.68	170	0.943	1.04		2.50	7.13	170	2.30	7.30	171	0.922	1.02
	1.00	4.51	180	0.94	4.68	179	0.944	1.04		2.50	7.13	180	2.31	7.30	177	0.922	1.02
	1.00	4.51	190	0.94	4.68	188	0.942	1.04		2.50	7.13	190	2.29	7.30	183	0.917	1.02
	1.00	4.51	200	0.94	4.68	196	0.937	1.04		2.50	7.13	200	2.26	7.30	190	0.905	1.02
	1.00	4.51	210	0.93	4.68	205	0.928	1.04		2.50	7.13	210	2.22	7.30	197	0.886	1.02
	1.00	4.51	220	0.92	4.68	214	0.918	1.04		2.50	7.13	220	2.15	7.30	203	0.862	1.02
	1.00	4.51	230	0.91	4.68	223	0.905	1.04		2.50	7.13	230	2.08	7.30	210	0.831	1.02
	1.00	4.51	240	0.89	4.68	231	0.891	1.04		2.50	7.13	240	1.99	7.30	216	0.795	1.02
	1.00	4.51	250	0.87	4.68	238	0.873	1.04		2.50	7.13	250	1.89	7.30	223	0.755	1.02
	1.00	4.51	260	0.85	4.68	244	0.847	1.04		2.50	7.13	260	1.78	7.30	230	0.712	1.02
1.00	4.51	270	0.81	4.68	249	0.810	1.04	2.50	7.13	270	1.66	7.30	236	0.664	1.02		
1.00	4.51	280	0.76	4.68	254	0.757	1.04	2.50	7.13	280	1.52	7.30	242	0.608	1.02		
Spettro 2	1.50	5.52	90	0.90	6.29	129	0.602	1.14	Spettro 5	3.00	7.81	90	1.58	7.30	139	0.528	0.93
	1.50	5.52	100	1.03	6.29	131	0.689	1.14		3.00	7.81	100	1.87	7.30	142	0.623	0.93
	1.50	5.52	110	1.14	6.29	134	0.762	1.14		3.00	7.81	110	2.13	8.47	144	0.709	1.08
	1.50	5.52	120	1.23	6.29	138	0.820	1.14		3.00	7.81	120	2.34	8.47	148	0.780	1.08
	1.50	5.52	130	1.29	6.29	143	0.861	1.14		3.00	7.81	130	2.50	8.47	151	0.835	1.08
	1.50	5.52	140	1.34	6.29	149	0.890	1.14		3.00	7.81	140	2.62	8.47	156	0.875	1.08
	1.50	5.52	150	1.36	5.43	156	0.909	0.98		3.00	7.81	150	2.71	8.47	160	0.902	1.08
	1.50	5.52	160	1.38	5.43	163	0.920	0.98		3.00	7.81	160	2.76	8.47	165	0.919	1.08
	1.50	5.52	170	1.39	5.43	170	0.924	0.98		3.00	7.81	170	2.78	8.47	171	0.928	1.08
	1.50	5.52	180	1.39	5.43	178	0.925	0.98		3.00	7.81	180	2.79	8.47	177	0.929	1.08
	1.50	5.52	190	1.38	5.43	186	0.921	0.98		3.00	7.81	190	2.77	8.47	183	0.923	1.08
	1.50	5.52	200	1.37	5.43	194	0.912	0.98		3.00	7.81	200	2.73	8.47	189	0.910	1.08
	1.50	5.52	210	1.35	5.43	202	0.899	0.98		3.00	7.81	210	2.67	8.47	195	0.891	1.08
	1.50	5.52	220	1.32	5.43	210	0.882	0.98		3.00	7.81	220	2.59	8.47	201	0.863	1.08
	1.50	5.52	230	1.29	5.43	217	0.863	0.98		3.00	7.81	230	2.49	8.47	207	0.829	1.08
	1.50	5.52	240	1.26	5.43	225	0.840	0.98		3.00	7.81	240	2.36	8.47	213	0.788	1.08
	1.50	5.52	250	1.22	5.43	232	0.814	0.98		3.00	7.81	250	2.22	8.47	220	0.740	1.08
	1.50	5.52	260	1.18	5.43	239	0.784	0.98		3.00	7.81	260	2.06	7.30	226	0.686	0.93
1.50	5.52	270	1.12	5.43	244	0.746	0.98	3.00	7.81	270	1.88	7.30	233	0.628	0.93		
1.50	5.52	280	1.05	5.43	249	0.699	0.98	3.00	7.81	280	1.69	7.30	238	0.565	0.93		
Spettro 3	2.00	6.38	90	1.16	6.29	133	0.580	0.99	Spettro 6	3.50	8.44	90	1.77	7.30	141	0.505	0.87
	2.00	6.38	100	1.34	6.29	135	0.669	0.99		3.50	8.44	100	2.11	8.47	144	0.602	1.00
	2.00	6.38	110	1.49	6.29	138	0.744	0.99		3.50	8.44	110	2.42	8.47	147	0.693	1.00
	2.00	6.38	120	1.61	6.29	142	0.804	0.99		3.50	8.44	120	2.70	8.47	150	0.770	1.00
	2.00	6.38	130	1.70	6.29	146	0.848	0.99		3.50	8.44	130	2.91	8.47	153	0.831	1.00
	2.00	6.38	140	1.76	6.29	152	0.880	0.99		3.50	8.44	140	3.07	8.47	157	0.876	1.00
	2.00	6.38	150	1.80	6.29	157	0.901	0.99		3.50	8.44	150	3.17	8.47	162	0.907	1.00
	2.00	6.38	160	1.83	6.29	164	0.913	0.99		3.50	8.44	160	3.24	8.47	166	0.926	1.00
	2.00	6.38	170	1.84	6.29	170	0.919	0.99		3.50	8.44	170	3.28	8.47	171	0.936	1.00
	2.00	6.38	180	1.84	6.29	177	0.919	0.99		3.50	8.44	180	3.28	8.47	177	0.938	1.00
	2.00	6.38	190	1.83	6.29	184	0.915	0.99		3.50	8.44	190	3.26	8.47	183	0.932	1.00
	2.00	6.38	200	1.81	6.29	192	0.904	0.99		3.50	8.44	200	3.21	8.47	188	0.918	1.00
	2.00	6.38	210	1.78	6.29	199	0.888	0.99		3.50	8.44	210	3.14	8.47	194	0.897	1.00
	2.00	6.38	220	1.73	6.29	206	0.866	0.99		3.50	8.44	220	3.04	8.47	200	0.868	1.00
	2.00	6.38	230	1.68	6.29	213	0.840	0.99		3.50	8.44	230	2.91	8.47	205	0.830	1.00
	2.00	6.38	240	1.62	6.29	220	0.811	0.99		3.50	8.44	240	2.74	8.47	211	0.783	1.00
	2.00	6.38	250	1.56	6.29	227	0.780	0.99		3.50	8.44	250	2.55	8.47	217	0.728	1.00
	2.00	6.38	260	1.49	6.29	234	0.744	0.99		3.50	8.44	260	2.33	8.47	223	0.665	1.00
2.00	6.38	270	1.40	6.29	240	0.702	0.99	3.50	8.44	270	2.09	7.30	230	0.598	0.87		
2.00	6.38	280	1.30	5.43	245	0.651	0.85	3.50	8.44	280	1.85	7.30	236	0.529	0.87		

TABELLA 6.2.1

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

PUNTO P1									PUNTO P1								
	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To		Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N				m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 7	4.00	9.02	90	1.94	7.30	143	0.485	0.81	Spettro 10	5.50	10.58	90	2.46	13.22	149	0.448	1.25
	4.00	9.02	100	2.33	8.47	146	0.583	0.94		5.50	10.58	100	3.02	13.22	151	0.550	1.25
	4.00	9.02	110	2.71	8.47	149	0.678	0.94		5.50	10.58	110	3.60	11.40	154	0.654	1.08
	4.00	9.02	120	3.05	8.47	152	0.762	0.94		5.50	10.58	120	4.13	11.40	156	0.752	1.08
	4.00	9.02	130	3.32	9.83	155	0.830	1.09		5.50	10.58	130	4.58	11.40	159	0.833	1.08
	4.00	9.02	140	3.52	9.83	159	0.880	1.09		5.50	10.58	140	4.91	11.40	162	0.894	1.08
	4.00	9.02	150	3.66	9.83	163	0.914	1.09		5.50	10.58	150	5.15	11.40	165	0.936	1.08
	4.00	9.02	160	3.74	9.83	167	0.935	1.09		5.50	10.58	160	5.29	11.40	169	0.962	1.08
	4.00	9.02	170	3.78	9.83	172	0.946	1.09		5.50	10.58	170	5.37	11.40	173	0.976	1.08
	4.00	9.02	180	3.79	9.83	177	0.948	1.09		5.50	10.58	180	5.39	11.40	177	0.979	1.08
	4.00	9.02	190	3.77	9.83	182	0.941	1.09		5.50	10.58	190	5.35	11.40	182	0.973	1.08
	4.00	9.02	200	3.71	9.83	188	0.928	1.09		5.50	10.58	200	5.27	11.40	187	0.958	1.08
	4.00	9.02	210	3.62	9.83	193	0.906	1.09		5.50	10.58	210	5.13	11.40	192	0.933	1.08
	4.00	9.02	220	3.50	9.83	199	0.875	1.09		5.50	10.58	220	4.93	11.40	196	0.896	1.08
	4.00	9.02	230	3.33	9.83	204	0.834	1.09		5.50	10.58	230	4.65	11.40	201	0.846	1.08
	4.00	9.02	240	3.13	9.83	209	0.781	1.09		5.50	10.58	240	4.29	11.40	205	0.781	1.08
4.00	9.02	250	2.87	9.83	215	0.719	1.09	5.50	10.58	250	3.87	11.40	210	0.703	1.08		
4.00	9.02	260	2.59	8.47	221	0.648	0.94	5.50	10.58	260	3.40	11.40	216	0.618	1.08		
4.00	9.02	270	2.30	7.30	227	0.575	0.81	5.50	10.58	270	2.92	11.40	222	0.531	1.08		
4.00	9.02	280	2.01	7.30	234	0.502	0.81	5.50	10.58	280	2.47	11.40	229	0.449	1.08		
Spettro 8	4.50	9.57	90	2.11	8.47	145	0.469	0.89	Spettro 11	6.00	11.05	90	2.64	13.22	150	0.439	1.20
	4.50	9.57	100	2.55	8.47	148	0.568	0.89		6.00	11.05	100	3.26	13.22	153	0.543	1.20
	4.50	9.57	110	3.00	8.47	151	0.666	0.89		6.00	11.05	110	3.91	11.40	155	0.651	1.03
	4.50	9.57	120	3.40	9.83	154	0.756	1.03		6.00	11.05	120	4.51	11.40	157	0.751	1.03
	4.50	9.57	130	3.74	9.83	157	0.830	1.03		6.00	11.05	130	5.01	11.40	160	0.835	1.03
	4.50	9.57	140	3.98	9.83	160	0.885	1.03		6.00	11.05	140	5.39	11.40	163	0.899	1.03
	4.50	9.57	150	4.15	9.83	163	0.922	1.03		6.00	11.05	150	5.66	11.40	166	0.943	1.03
	4.50	9.57	160	4.25	9.83	168	0.944	1.03		6.00	11.05	160	5.83	11.40	169	0.971	1.03
	4.50	9.57	170	4.30	9.83	172	0.956	1.03		6.00	11.05	170	5.92	11.40	173	0.986	1.03
	4.50	9.57	180	4.31	9.83	177	0.958	1.03		6.00	11.05	180	5.94	11.40	177	0.990	1.03
	4.50	9.57	190	4.28	9.83	182	0.952	1.03		6.00	11.05	190	5.90	11.40	182	0.983	1.03
	4.50	9.57	200	4.22	9.83	187	0.938	1.03		6.00	11.05	200	5.81	11.40	187	0.968	1.03
	4.50	9.57	210	4.12	9.83	193	0.915	1.03		6.00	11.05	210	5.65	11.40	191	0.942	1.03
	4.50	9.57	220	3.97	9.83	198	0.882	1.03		6.00	11.05	220	5.42	11.40	196	0.903	1.03
	4.50	9.57	230	3.77	9.83	203	0.838	1.03		6.00	11.05	230	5.10	11.40	200	0.850	1.03
	4.50	9.57	240	3.51	9.83	208	0.781	1.03		6.00	11.05	240	4.69	11.40	204	0.782	1.03
4.50	9.57	250	3.20	9.83	213	0.712	1.03	6.00	11.05	250	4.20	11.40	209	0.700	1.03		
4.50	9.57	260	2.86	11.40	219	0.635	1.19	6.00	11.05	260	3.66	11.40	214	0.611	1.03		
4.50	9.57	270	2.50	11.40	225	0.556	1.19	6.00	11.05	270	3.13	11.40	221	0.521	1.03		
4.50	9.57	280	2.16	7.30	232	0.480	0.76	6.00	11.05	280	2.63	11.40	228	0.438	1.03		
Spettro 9	5.00	10.08	90	2.29	8.47	147	0.459	0.84	Spettro 12	6.50	11.50	90	2.82	13.22	151	0.434	1.15
	5.00	10.08	100	2.79	8.47	150	0.559	0.84		6.50	11.50	100	3.51	13.22	154	0.540	1.15
	5.00	10.08	110	3.30	11.40	153	0.660	1.13		6.50	11.50	110	4.22	13.22	156	0.649	1.15
	5.00	10.08	120	3.76	11.40	155	0.753	1.13		6.50	11.50	120	4.88	13.22	158	0.751	1.15
	5.00	10.08	130	4.15	11.40	158	0.830	1.13		6.50	11.50	130	5.44	13.22	161	0.837	1.15
	5.00	10.08	140	4.44	11.40	161	0.888	1.13		6.50	11.50	140	5.87	13.22	163	0.903	1.15
	5.00	10.08	150	4.64	11.40	164	0.928	1.13		6.50	11.50	150	6.17	13.22	166	0.949	1.15
	5.00	10.08	160	4.76	11.40	168	0.953	1.13		6.50	11.50	160	6.36	13.22	170	0.979	1.15
	5.00	10.08	170	4.83	11.40	173	0.966	1.13		6.50	11.50	170	6.47	13.22	173	0.995	1.15
	5.00	10.08	180	4.84	11.40	177	0.968	1.13		6.50	11.50	180	6.50	13.22	178	1.000	1.15
	5.00	10.08	190	4.81	11.40	182	0.962	1.13		6.50	11.50	190	6.46	13.22	182	0.993	1.15
	5.00	10.08	200	4.74	11.40	187	0.947	1.13		6.50	11.50	200	6.35	13.22	187	0.977	1.15
	5.00	10.08	210	4.62	11.40	192	0.923	1.13		6.50	11.50	210	6.18	13.22	191	0.950	1.15
	5.00	10.08	220	4.44	11.40	197	0.888	1.13		6.50	11.50	220	5.91	11.40	195	0.910	0.99
	5.00	10.08	230	4.20	11.40	201	0.841	1.13		6.50	11.50	230	5.56	11.40	199	0.855	0.99
	5.00	10.08	240	3.90	11.40	206	0.780	1.13		6.50	11.50	240	5.09	11.40	203	0.783	0.99
5.00	10.08	250	3.54	11.40	211	0.707	1.13	6.50	11.50	250	4.54	11.40	208	0.698	0.99		
5.00	10.08	260	3.13	11.40	217	0.626	1.13	6.50	11.50	260	3.94	11.40	213	0.605	0.99		
5.00	10.08	270	2.72	11.40	223	0.543	1.13	6.50	11.50	270	3.34	11.40	219	0.513	0.99		
5.00	10.08	280	2.32	11.40	230	0.464	1.13	6.50	11.50	280	2.78	11.40	226	0.428	0.99		

TABELLA 6.2.1

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

PUNTO P2

Fig. 6.2.14a - Rapporto tra l'altezza d'onda al largo H_{s0} e sottocosta in funzione della direzione del moto ondoso al largo

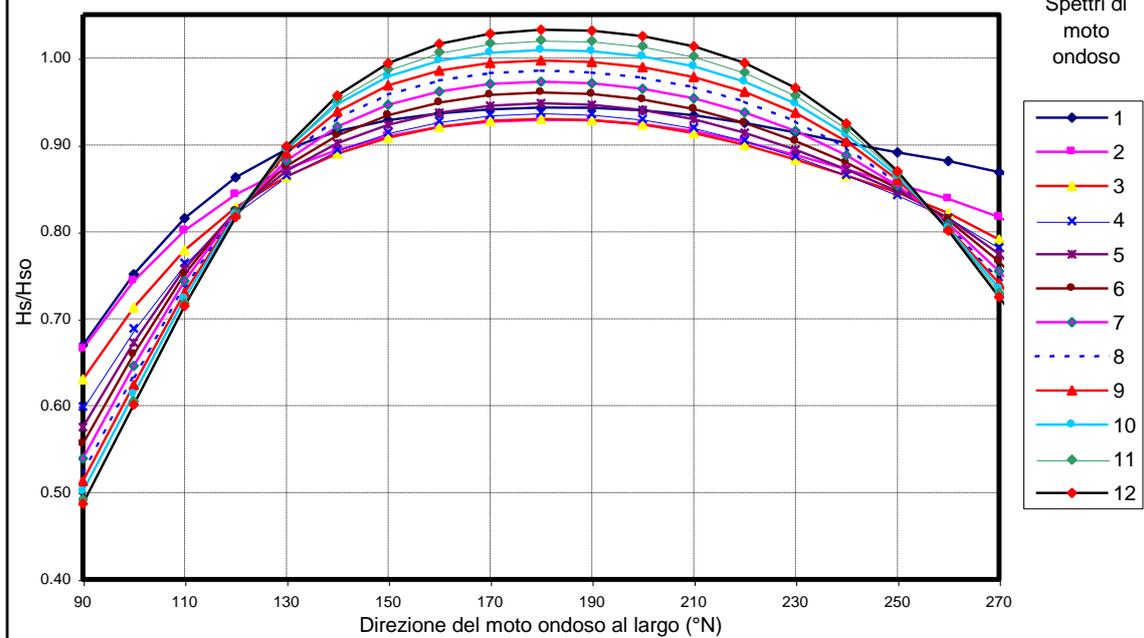
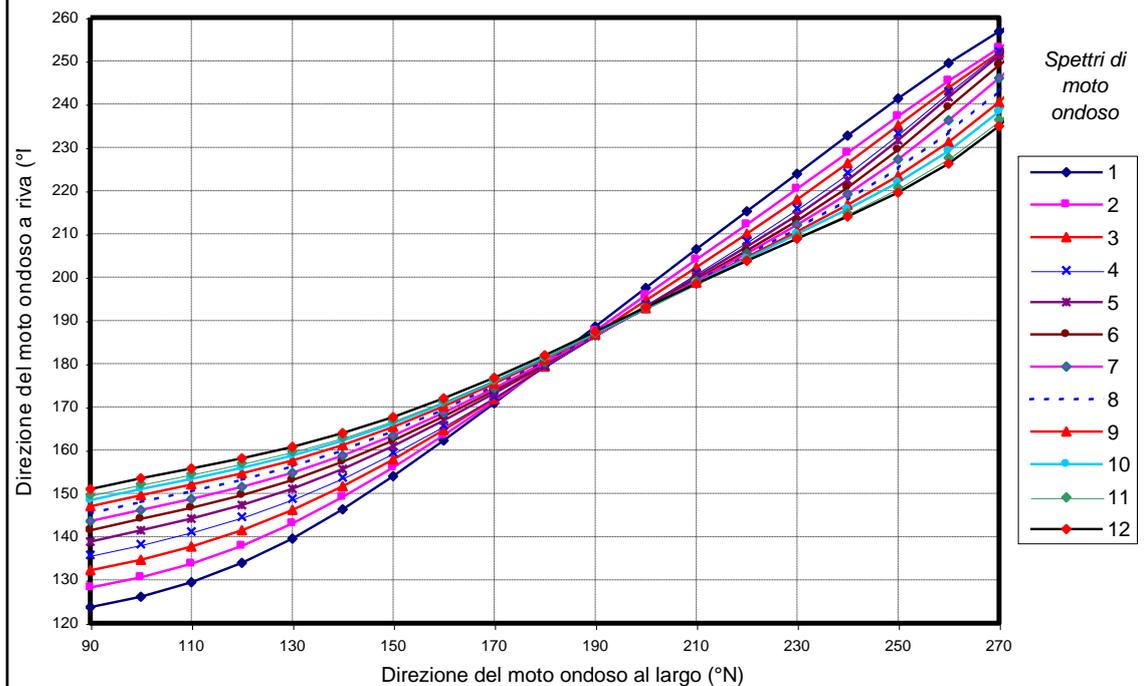


Fig. 6.2.14b - Corrispondenza direzioni di moto ondoso largo - riva



Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

PUNTO P2									PUNTO P2								
	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To		Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N			m	s	°N	m	s	°N			
Spettro 1	1.00	4.51	90	0.67	5.43	124	0.670	1.20	Spettro 4	2.50	7.13	90	1.50	6.29	136	0.599	0.88
	1.00	4.51	100	0.75	5.43	126	0.751	1.20		2.50	7.13	100	1.72	8.47	138	0.689	1.19
	1.00	4.51	110	0.82	4.68	129	0.816	1.04		2.50	7.13	110	1.91	8.47	141	0.764	1.19
	1.00	4.51	120	0.86	4.68	134	0.863	1.04		2.50	7.13	120	2.06	7.30	145	0.823	1.02
	1.00	4.51	130	0.90	4.68	140	0.895	1.04		2.50	7.13	130	2.16	7.30	149	0.865	1.02
	1.00	4.51	140	0.92	4.68	146	0.916	1.04		2.50	7.13	140	2.24	7.30	154	0.895	1.02
	1.00	4.51	150	0.93	4.68	154	0.929	1.04		2.50	7.13	150	2.29	7.30	159	0.915	1.02
	1.00	4.51	160	0.94	4.68	162	0.937	1.04		2.50	7.13	160	2.32	7.30	166	0.928	1.02
	1.00	4.51	170	0.94	4.68	171	0.941	1.04		2.50	7.13	170	2.34	7.30	172	0.935	1.02
	1.00	4.51	180	0.94	4.68	180	0.943	1.04		2.50	7.13	180	2.34	7.30	179	0.937	1.02
	1.00	4.51	190	0.94	4.68	189	0.943	1.04		2.50	7.13	190	2.34	7.30	187	0.936	1.02
	1.00	4.51	200	0.94	4.68	198	0.940	1.04		2.50	7.13	200	2.33	7.30	194	0.930	1.02
	1.00	4.51	210	0.93	4.68	206	0.934	1.04		2.50	7.13	210	2.30	7.30	201	0.920	1.02
	1.00	4.51	220	0.93	4.68	215	0.925	1.04		2.50	7.13	220	2.26	7.30	208	0.906	1.02
	1.00	4.51	230	0.91	4.68	224	0.914	1.04		2.50	7.13	230	2.22	7.30	216	0.887	1.02
	1.00	4.51	240	0.90	4.68	233	0.903	1.04		2.50	7.13	240	2.16	7.30	224	0.866	1.02
1.00	4.51	250	0.89	4.68	241	0.891	1.04	2.50	7.13	250	2.11	7.30	233	0.843	1.02		
1.00	4.51	260	0.88	4.03	250	0.881	0.89	2.50	7.13	260	2.04	7.30	243	0.816	1.02		
1.00	4.51	270	0.87	4.03	257	0.869	0.89	2.50	7.13	270	1.96	7.30	252	0.782	1.02		
1.00	4.51	280	0.85	4.03	263	0.846	0.89	2.50	7.13	280	1.83	7.30	260	0.734	1.02		
Spettro 2	1.50	5.52	90	1.00	5.43	128	0.665	0.98	Spettro 5	3.00	7.81	90	1.73	8.47	139	0.575	1.08
	1.50	5.52	100	1.11	5.43	131	0.743	0.98		3.00	7.81	100	2.02	8.47	141	0.673	1.08
	1.50	5.52	110	1.20	5.43	134	0.801	0.98		3.00	7.81	110	2.27	8.47	144	0.758	1.08
	1.50	5.52	120	1.26	5.43	138	0.843	0.98		3.00	7.81	120	2.47	8.47	147	0.823	1.08
	1.50	5.52	130	1.31	5.43	143	0.873	0.98		3.00	7.81	130	2.61	8.47	151	0.870	1.08
	1.50	5.52	140	1.34	5.43	149	0.894	0.98		3.00	7.81	140	2.71	8.47	156	0.902	1.08
	1.50	5.52	150	1.37	5.43	156	0.910	0.98		3.00	7.81	150	2.77	8.47	161	0.923	1.08
	1.50	5.52	160	1.38	5.43	163	0.921	0.98		3.00	7.81	160	2.81	8.47	167	0.937	1.08
	1.50	5.52	170	1.39	5.43	171	0.927	0.98		3.00	7.81	170	2.84	8.47	173	0.945	1.08
	1.50	5.52	180	1.39	5.43	179	0.929	0.98		3.00	7.81	180	2.84	8.47	180	0.948	1.08
	1.50	5.52	190	1.39	5.43	188	0.928	0.98		3.00	7.81	190	2.84	8.47	186	0.946	1.08
	1.50	5.52	200	1.39	5.43	196	0.924	0.98		3.00	7.81	200	2.82	8.47	193	0.940	1.08
	1.50	5.52	210	1.37	5.43	204	0.916	0.98		3.00	7.81	210	2.79	8.47	200	0.930	1.08
	1.50	5.52	220	1.36	5.43	212	0.904	0.98		3.00	7.81	220	2.74	8.47	207	0.914	1.08
	1.50	5.52	230	1.33	5.43	220	0.888	0.98		3.00	7.81	230	2.68	8.47	214	0.894	1.08
	1.50	5.52	240	1.31	5.43	229	0.872	0.98		3.00	7.81	240	2.62	8.47	222	0.872	1.08
1.50	5.52	250	1.28	5.43	237	0.855	0.98	3.00	7.81	250	2.54	8.47	232	0.847	1.08		
1.50	5.52	260	1.26	5.43	245	0.838	0.98	3.00	7.81	260	2.45	8.47	242	0.816	1.08		
1.50	5.52	270	1.23	5.43	253	0.817	0.98	3.00	7.81	270	2.32	8.47	251	0.774	1.08		
1.50	5.52	280	1.18	5.43	260	0.787	0.98	3.00	7.81	280	2.15	7.30	259	0.718	0.93		
Spettro 3	2.00	6.38	90	1.26	5.43	132	0.630	0.85	Spettro 6	3.50	8.44	90	1.95	8.47	141	0.556	1.00
	2.00	6.38	100	1.43	6.29	135	0.713	0.99		3.50	8.44	100	2.31	8.47	144	0.659	1.00
	2.00	6.38	110	1.56	6.29	138	0.779	0.99		3.50	8.44	110	2.63	8.47	147	0.751	1.00
	2.00	6.38	120	1.66	6.29	141	0.828	0.99		3.50	8.44	120	2.88	8.47	150	0.824	1.00
	2.00	6.38	130	1.73	6.29	146	0.864	0.99		3.50	8.44	130	3.07	8.47	153	0.876	1.00
	2.00	6.38	140	1.78	6.29	152	0.890	0.99		3.50	8.44	140	3.19	8.47	157	0.911	1.00
	2.00	6.38	150	1.82	6.29	158	0.908	0.99		3.50	8.44	150	3.27	8.47	162	0.934	1.00
	2.00	6.38	160	1.84	6.29	165	0.921	0.99		3.50	8.44	160	3.32	8.47	168	0.949	1.00
	2.00	6.38	170	1.86	6.29	172	0.928	0.99		3.50	8.44	170	3.35	8.47	174	0.957	1.00
	2.00	6.38	180	1.86	6.29	179	0.930	0.99		3.50	8.44	180	3.36	8.47	180	0.960	1.00
	2.00	6.38	190	1.86	6.29	187	0.929	0.99		3.50	8.44	190	3.35	8.47	186	0.958	1.00
	2.00	6.38	200	1.85	6.29	195	0.923	0.99		3.50	8.44	200	3.33	8.47	193	0.952	1.00
	2.00	6.38	210	1.83	6.29	202	0.914	0.99		3.50	8.44	210	3.29	8.47	200	0.941	1.00
	2.00	6.38	220	1.80	6.29	210	0.900	0.99		3.50	8.44	220	3.24	8.47	206	0.925	1.00
	2.00	6.38	230	1.77	7.30	218	0.883	1.14		3.50	8.44	230	3.17	8.47	213	0.905	1.00
	2.00	6.38	240	1.73	7.30	226	0.865	1.14		3.50	8.44	240	3.08	8.47	221	0.880	1.00
2.00	6.38	250	1.69	7.30	235	0.845	1.14	3.50	8.44	250	2.98	8.47	229	0.850	1.00		
2.00	6.38	260	1.64	7.30	244	0.822	1.14	3.50	8.44	260	2.85	8.47	239	0.813	1.00		
2.00	6.38	270	1.58	7.30	252	0.791	1.14	3.50	8.44	270	2.68	8.47	249	0.766	1.00		
2.00	6.38	280	1.50	7.30	259	0.749	1.14	3.50	8.44	280	2.47	8.47	258	0.705	1.00		

TABELLA 6.2.2

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

PUNTO P2									PUNTO P2								
	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To		Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N				m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 7	4.00	9.02	90	2.16	8.47	144	0.539	0.94	Spettro 10	5.50	10.58	90	2.76	8.47	148	0.501	0.80
	4.00	9.02	100	2.58	8.47	146	0.646	0.94		5.50	10.58	100	3.37	9.83	151	0.613	0.93
	4.00	9.02	110	2.97	8.47	149	0.744	0.94		5.50	10.58	110	3.98	11.40	153	0.723	1.08
	4.00	9.02	120	3.29	9.83	152	0.823	1.09		5.50	10.58	120	4.51	11.40	156	0.820	1.08
	4.00	9.02	130	3.53	9.83	155	0.882	1.09		5.50	10.58	130	4.92	11.40	159	0.895	1.08
	4.00	9.02	140	3.68	9.83	159	0.921	1.09		5.50	10.58	140	5.21	11.40	162	0.947	1.08
	4.00	9.02	150	3.79	9.83	163	0.946	1.09		5.50	10.58	150	5.38	11.40	166	0.979	1.08
	4.00	9.02	160	3.85	9.83	169	0.962	1.09		5.50	10.58	160	5.48	11.40	171	0.997	1.08
	4.00	9.02	170	3.88	9.83	174	0.970	1.09		5.50	10.58	170	5.53	11.40	176	1.006	1.08
	4.00	9.02	180	3.89	9.83	180	0.973	1.09		5.50	10.58	180	5.55	11.40	181	1.009	1.08
	4.00	9.02	190	3.88	9.83	186	0.971	1.09		5.50	10.58	190	5.54	11.40	187	1.008	1.08
	4.00	9.02	200	3.86	9.83	193	0.965	1.09		5.50	10.58	200	5.51	11.40	193	1.002	1.08
	4.00	9.02	210	3.82	9.83	199	0.954	1.09		5.50	10.58	210	5.45	11.40	199	0.991	1.08
	4.00	9.02	220	3.75	9.83	205	0.938	1.09		5.50	10.58	220	5.35	11.40	204	0.973	1.08
	4.00	9.02	230	3.66	9.83	212	0.916	1.09		5.50	10.58	230	5.21	11.40	210	0.948	1.08
	4.00	9.02	240	3.55	9.83	219	0.888	1.09		5.50	10.58	240	5.02	11.40	216	0.912	1.08
4.00	9.02	250	3.41	9.83	227	0.853	1.09	5.50	10.58	250	4.75	11.40	222	0.864	1.08		
4.00	9.02	260	3.24	8.47	236	0.809	0.94	5.50	10.58	260	4.42	11.40	229	0.804	1.08		
4.00	9.02	270	3.02	8.47	246	0.755	0.94	5.50	10.58	270	4.04	11.40	238	0.735	1.08		
4.00	9.02	280	2.77	8.47	256	0.692	0.94	5.50	10.58	280	3.65	11.40	250	0.663	1.08		
Spettro 8	4.50	9.57	90	2.36	8.47	145	0.524	0.89	Spettro 11	6.00	11.05	90	2.95	9.83	150	0.492	0.89
	4.50	9.57	100	2.85	8.47	148	0.633	0.89		6.00	11.05	100	3.63	9.83	152	0.605	0.89
	4.50	9.57	110	3.32	9.83	150	0.737	1.03		6.00	11.05	110	4.31	11.40	155	0.718	1.03
	4.50	9.57	120	3.70	9.83	153	0.823	1.03		6.00	11.05	120	4.91	11.40	157	0.819	1.03
	4.50	9.57	130	3.99	9.83	156	0.887	1.03		6.00	11.05	130	5.39	11.40	160	0.898	1.03
	4.50	9.57	140	4.19	9.83	160	0.931	1.03		6.00	11.05	140	5.72	11.40	163	0.953	1.03
	4.50	9.57	150	4.31	9.83	164	0.958	1.03		6.00	11.05	150	5.92	11.40	167	0.987	1.03
	4.50	9.57	160	4.38	9.83	169	0.974	1.03		6.00	11.05	160	6.04	11.40	171	1.007	1.03
	4.50	9.57	170	4.42	9.83	175	0.983	1.03		6.00	11.05	170	6.10	11.40	176	1.017	1.03
	4.50	9.57	180	4.43	9.83	181	0.985	1.03		6.00	11.05	180	6.13	11.40	182	1.021	1.03
	4.50	9.57	190	4.43	9.83	187	0.983	1.03		6.00	11.05	190	6.12	11.40	187	1.020	1.03
	4.50	9.57	200	4.40	9.83	193	0.977	1.03		6.00	11.05	200	6.08	11.40	193	1.014	1.03
	4.50	9.57	210	4.35	9.83	199	0.966	1.03		6.00	11.05	210	6.01	11.40	199	1.002	1.03
	4.50	9.57	220	4.27	9.83	205	0.950	1.03		6.00	11.05	220	5.90	11.40	204	0.984	1.03
	4.50	9.57	230	4.17	9.83	211	0.927	1.03		6.00	11.05	230	5.74	11.40	209	0.957	1.03
	4.50	9.57	240	4.04	9.83	218	0.897	1.03		6.00	11.05	240	5.51	11.40	215	0.919	1.03
4.50	9.57	250	3.86	9.83	225	0.857	1.03	6.00	11.05	250	5.20	11.40	221	0.867	1.03		
4.50	9.57	260	3.63	9.83	234	0.806	1.03	6.00	11.05	260	4.82	11.40	228	0.803	1.03		
4.50	9.57	270	3.36	9.83	243	0.746	1.03	6.00	11.05	270	4.38	11.40	236	0.730	1.03		
4.50	9.57	280	3.06	9.83	254	0.681	1.03	6.00	11.05	280	3.93	11.40	248	0.655	1.03		
Spettro 9	5.00	10.08	90	2.57	8.47	147	0.513	0.84	Spettro 12	6.50	11.50	90	3.17	9.83	151	0.487	0.85
	5.00	10.08	100	3.12	9.83	150	0.624	0.97		6.50	11.50	100	3.91	11.40	153	0.601	0.99
	5.00	10.08	110	3.65	9.83	152	0.730	0.97		6.50	11.50	110	4.65	11.40	156	0.715	0.99
	5.00	10.08	120	4.10	9.83	155	0.821	0.97		6.50	11.50	120	5.31	11.40	158	0.817	0.99
	5.00	10.08	130	4.45	11.40	158	0.891	1.13		6.50	11.50	130	5.84	11.40	161	0.899	0.99
	5.00	10.08	140	4.69	11.40	161	0.939	1.13		6.50	11.50	140	6.22	11.40	164	0.957	0.99
	5.00	10.08	150	4.84	11.40	165	0.968	1.13		6.50	11.50	150	6.46	11.40	168	0.994	0.99
	5.00	10.08	160	4.93	11.40	170	0.986	1.13		6.50	11.50	160	6.61	11.40	172	1.016	0.99
	5.00	10.08	170	4.97	11.40	175	0.995	1.13		6.50	11.50	170	6.68	11.40	177	1.028	0.99
	5.00	10.08	180	4.99	11.40	181	0.997	1.13		6.50	11.50	180	6.71	13.22	182	1.033	1.15
	5.00	10.08	190	4.98	11.40	187	0.995	1.13		6.50	11.50	190	6.70	13.22	187	1.031	1.15
	5.00	10.08	200	4.95	11.40	193	0.989	1.13		6.50	11.50	200	6.66	13.22	193	1.025	1.15
	5.00	10.08	210	4.89	11.40	199	0.978	1.13		6.50	11.50	210	6.59	13.22	198	1.014	1.15
	5.00	10.08	220	4.81	11.40	205	0.961	1.13		6.50	11.50	220	6.46	13.22	204	0.994	1.15
	5.00	10.08	230	4.69	11.40	211	0.937	1.13		6.50	11.50	230	6.28	11.40	209	0.966	0.99
	5.00	10.08	240	4.52	11.40	217	0.904	1.13		6.50	11.50	240	6.01	11.40	214	0.925	0.99
5.00	10.08	250	4.30	11.40	223	0.860	1.13	6.50	11.50	250	5.65	11.40	220	0.870	0.99		
5.00	10.08	260	4.02	11.40	231	0.805	1.13	6.50	11.50	260	5.21	11.40	226	0.802	0.99		
5.00	10.08	270	3.70	11.40	240	0.741	1.13	6.50	11.50	270	4.71	11.40	235	0.725	0.99		
5.00	10.08	280	3.36	11.40	252	0.673	1.13	6.50	11.50	280	4.21	11.40	247	0.648	0.99		

TABELLA 6.2.2

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

PUNTO P4

Fig. 6.2.15a - Rapporto tra l'altezza d'onda al largo H_{so} e sottocosta in funzione della direzione del moto ondoso al largo

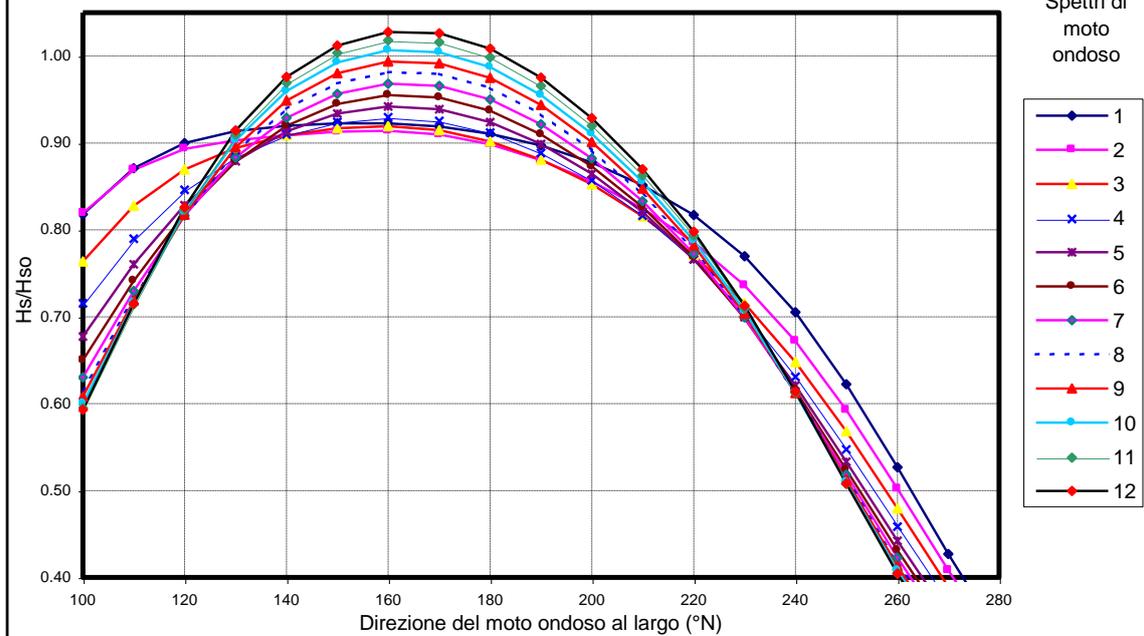
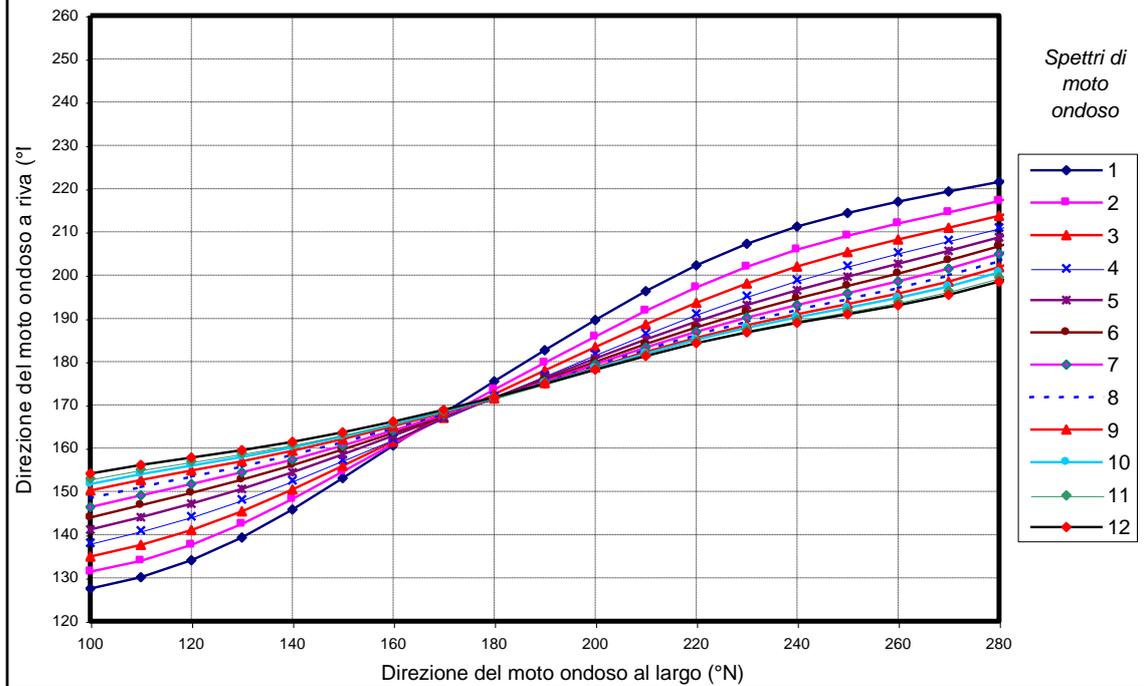


Fig. 6.2.15b - Corrispondenza direzioni di moto ondoso largo - riva



Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

PUNTO P4									PUNTO P4								
	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To		Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N				m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 1	1.00	4.51	100	0.82	5.43	128	0.818	1.20	Spettro 4	2.50	7.13	100	1.79	5.43	138	0.715	0.76
	1.00	4.51	110	0.87	5.43	130	0.871	1.20		2.50	7.13	110	1.97	7.30	141	0.790	1.02
	1.00	4.51	120	0.90	5.43	134	0.900	1.20		2.50	7.13	120	2.11	7.30	144	0.846	1.02
	1.00	4.51	130	0.91	4.68	139	0.914	1.04		2.50	7.13	130	2.21	7.30	148	0.885	1.02
	1.00	4.51	140	0.92	4.68	146	0.920	1.04		2.50	7.13	140	2.27	7.30	153	0.910	1.02
	1.00	4.51	150	0.92	4.68	153	0.923	1.04		2.50	7.13	150	2.31	7.30	157	0.924	1.02
	1.00	4.51	160	0.92	4.68	161	0.923	1.04		2.50	7.13	160	2.32	7.30	162	0.929	1.02
	1.00	4.51	170	0.92	4.68	168	0.919	1.04		2.50	7.13	170	2.31	7.30	167	0.925	1.02
	1.00	4.51	180	0.91	4.68	175	0.911	1.04		2.50	7.13	180	2.28	7.30	172	0.912	1.02
	1.00	4.51	190	0.90	4.68	183	0.897	1.04		2.50	7.13	190	2.22	7.30	177	0.889	1.02
	1.00	4.51	200	0.88	4.68	190	0.878	1.04		2.50	7.13	200	2.14	7.30	182	0.857	1.02
	1.00	4.51	210	0.85	4.68	196	0.852	1.04		2.50	7.13	210	2.04	7.30	187	0.816	1.02
	1.00	4.51	220	0.82	4.68	202	0.817	1.04		2.50	7.13	220	1.92	7.30	191	0.766	1.02
	1.00	4.51	230	0.77	4.68	207	0.770	1.04		2.50	7.13	230	1.76	7.30	195	0.704	1.02
	1.00	4.51	240	0.71	4.68	211	0.705	1.04		2.50	7.13	240	1.58	7.30	199	0.631	1.02
	1.00	4.51	250	0.62	4.68	214	0.622	1.04		2.50	7.13	250	1.37	6.29	202	0.547	0.88
1.00	4.51	260	0.53	4.68	217	0.527	1.04	2.50	7.13	260	1.15	6.29	205	0.458	0.88		
1.00	4.51	270	0.43	4.03	219	0.427	0.89	2.50	7.13	270	0.93	6.29	208	0.371	0.88		
1.00	4.51	280	0.33	5.43	222	0.333	1.20	2.50	7.13	280	0.73	6.29	211	0.290	0.88		
1.00	4.51	290	0.25	5.43	224	0.252	1.20	2.50	7.13	290	0.55	5.43	214	0.221	0.76		
Spettro 2	1.50	5.52	100	1.23	5.43	131	0.819	0.98	Spettro 5	3.00	7.81	100	2.03	7.30	141	0.677	0.93
	1.50	5.52	110	1.30	5.43	134	0.869	0.98		3.00	7.81	110	2.28	7.30	144	0.760	0.93
	1.50	5.52	120	1.34	5.43	138	0.893	0.98		3.00	7.81	120	2.48	7.30	147	0.828	0.93
	1.50	5.52	130	1.35	5.43	142	0.903	0.98		3.00	7.81	130	2.64	8.47	151	0.879	1.08
	1.50	5.52	140	1.36	5.43	148	0.909	0.98		3.00	7.81	140	2.74	8.47	154	0.913	1.08
	1.50	5.52	150	1.37	5.43	155	0.913	0.98		3.00	7.81	150	2.80	8.47	159	0.934	1.08
	1.50	5.52	160	1.37	5.43	161	0.914	0.98		3.00	7.81	160	2.83	8.47	163	0.942	1.08
	1.50	5.52	170	1.36	5.43	167	0.910	0.98		3.00	7.81	170	2.82	8.47	167	0.939	1.08
	1.50	5.52	180	1.35	5.43	174	0.898	0.98		3.00	7.81	180	2.77	8.47	172	0.924	1.08
	1.50	5.52	190	1.32	5.43	180	0.880	0.98		3.00	7.81	190	2.70	8.47	176	0.899	1.08
	1.50	5.52	200	1.28	5.43	186	0.856	0.98		3.00	7.81	200	2.59	8.47	181	0.864	1.08
	1.50	5.52	210	1.24	5.43	192	0.824	0.98		3.00	7.81	210	2.46	8.47	185	0.821	1.08
	1.50	5.52	220	1.18	5.43	197	0.786	0.98		3.00	7.81	220	2.30	8.47	189	0.766	1.08
	1.50	5.52	230	1.10	5.43	202	0.736	0.98		3.00	7.81	230	2.10	8.47	193	0.700	1.08
	1.50	5.52	240	1.01	5.43	206	0.672	0.98		3.00	7.81	240	1.86	8.47	196	0.621	1.08
	1.50	5.52	250	0.89	5.43	209	0.593	0.98		3.00	7.81	250	1.60	7.30	200	0.533	0.93
1.50	5.52	260	0.75	5.43	212	0.502	0.98	3.00	7.81	260	1.33	7.30	203	0.442	0.93		
1.50	5.52	270	0.61	6.29	214	0.408	1.14	3.00	7.81	270	1.07	6.29	206	0.356	0.81		
1.50	5.52	280	0.48	4.68	217	0.320	0.85	3.00	7.81	280	0.84	6.29	209	0.278	0.81		
1.50	5.52	290	0.36	4.68	220	0.243	0.85	3.00	7.81	290	0.64	6.29	212	0.214	0.81		
Spettro 3	2.00	6.38	100	1.53	5.43	135	0.764	0.85	Spettro 6	3.50	8.44	100	2.28	7.30	144	0.650	0.87
	2.00	6.38	110	1.66	5.43	138	0.828	0.85		3.50	8.44	110	2.59	9.83	147	0.741	1.16
	2.00	6.38	120	1.74	5.43	141	0.869	0.85		3.50	8.44	120	2.87	9.83	150	0.819	1.16
	2.00	6.38	130	1.79	6.29	145	0.894	0.99		3.50	8.44	130	3.08	9.83	153	0.879	1.16
	2.00	6.38	140	1.82	6.29	150	0.909	0.99		3.50	8.44	140	3.22	9.83	156	0.920	1.16
	2.00	6.38	150	1.83	6.29	156	0.917	0.99		3.50	8.44	150	3.31	8.47	160	0.945	1.00
	2.00	6.38	160	1.84	6.29	162	0.919	0.99		3.50	8.44	160	3.34	8.47	163	0.955	1.00
	2.00	6.38	170	1.83	6.29	167	0.915	0.99		3.50	8.44	170	3.33	8.47	167	0.952	1.00
	2.00	6.38	180	1.80	6.29	173	0.902	0.99		3.50	8.44	180	3.28	8.47	171	0.937	1.00
	2.00	6.38	190	1.76	6.29	178	0.881	0.99		3.50	8.44	190	3.18	8.47	176	0.910	1.00
	2.00	6.38	200	1.70	6.29	183	0.852	0.99		3.50	8.44	200	3.06	8.47	180	0.873	1.00
	2.00	6.38	210	1.63	6.29	189	0.816	0.99		3.50	8.44	210	2.89	8.47	184	0.826	1.00
	2.00	6.38	220	1.54	6.29	194	0.771	0.99		3.50	8.44	220	2.69	8.47	188	0.769	1.00
	2.00	6.38	230	1.43	6.29	198	0.715	0.99		3.50	8.44	230	2.44	8.47	191	0.698	1.00
	2.00	6.38	240	1.30	6.29	202	0.648	0.99		3.50	8.44	240	2.15	8.47	195	0.616	1.00
	2.00	6.38	250	1.14	6.29	205	0.568	0.99		3.50	8.44	250	1.83	9.83	197	0.524	1.16
2.00	6.38	260	0.96	6.29	208	0.479	0.99	3.50	8.44	260	1.51	9.83	200	0.431	1.16		
2.00	6.38	270	0.78	6.29	211	0.389	0.99	3.50	8.44	270	1.20	6.29	203	0.344	0.75		
2.00	6.38	280	0.61	5.43	214	0.304	0.85	3.50	8.44	280	0.94	6.29	207	0.269	0.75		
2.00	6.38	290	0.46	4.68	217	0.231	0.73	3.50	8.44	290	0.72	6.29	210	0.206	0.75		

TABELLA 6.2.3

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

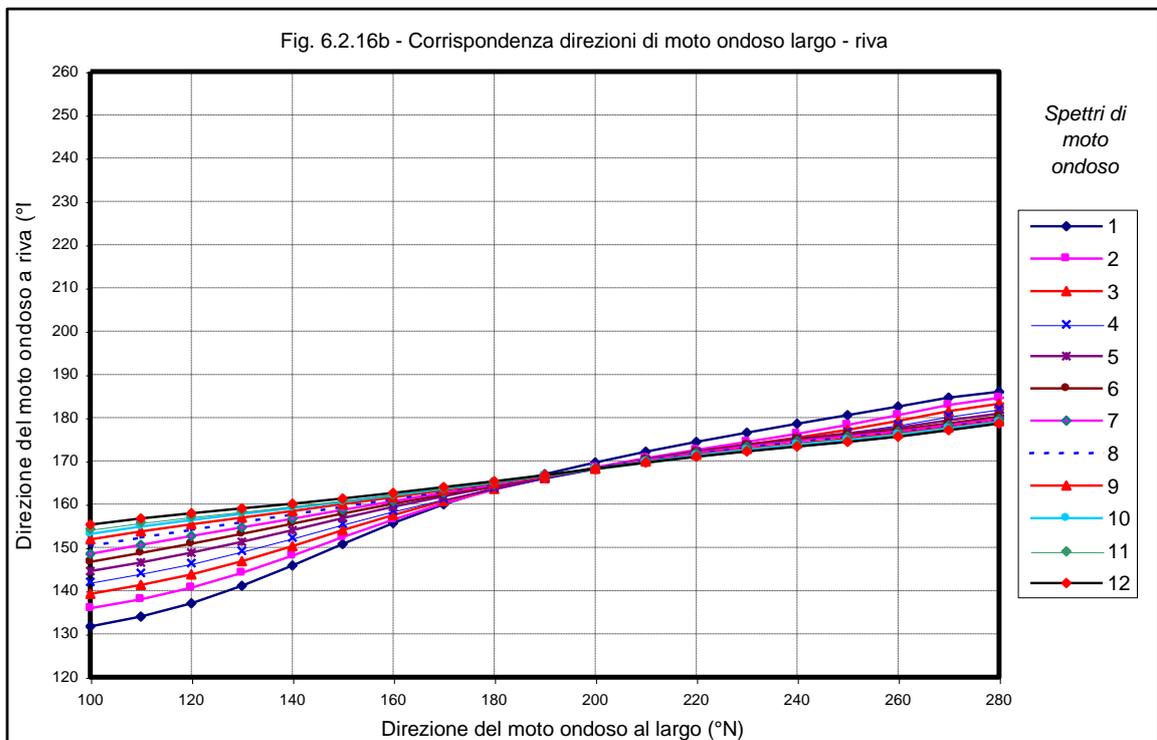
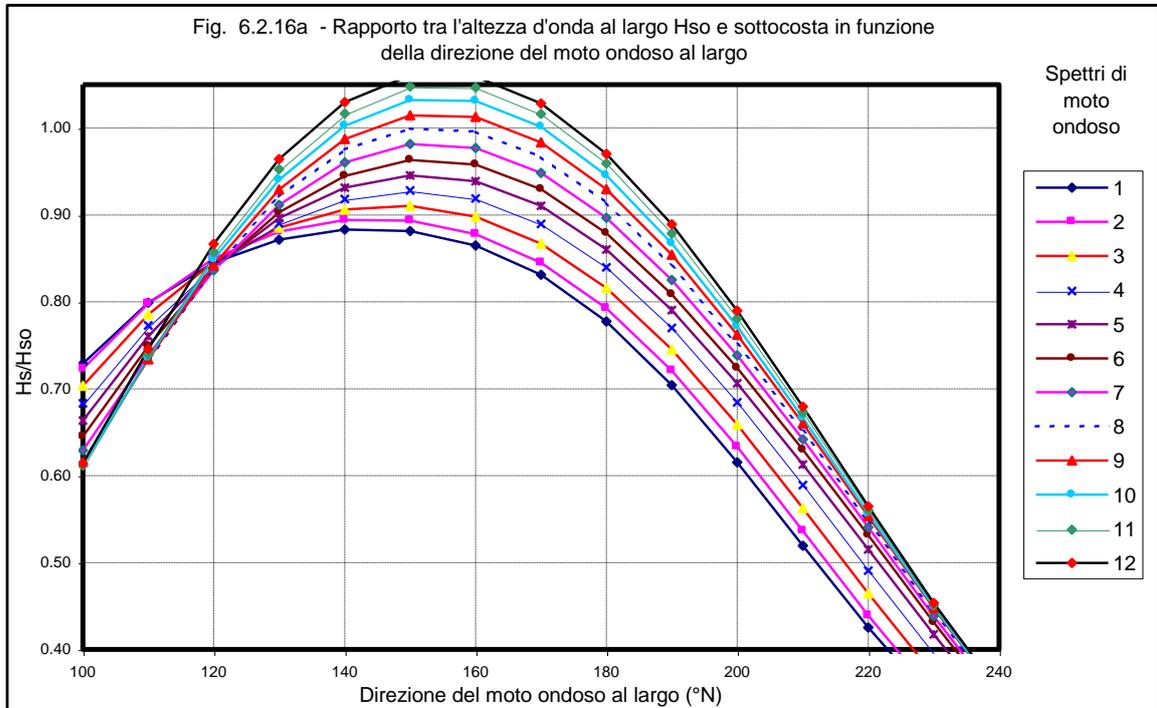
PUNTO P4									PUNTO P4								
	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To		Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N				m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 7	4.00	9.02	100	2.52	9.83	146	0.630	1.09	Spettro 10	5.50	10.58	100	3.30	13.22	152	0.600	1.25
	4.00	9.02	110	2.92	9.83	149	0.730	1.09		5.50	10.58	110	3.94	11.40	154	0.716	1.08
	4.00	9.02	120	3.26	9.83	152	0.816	1.09		5.50	10.58	120	4.51	11.40	156	0.820	1.08
	4.00	9.02	130	3.53	9.83	154	0.883	1.09		5.50	10.58	130	4.97	11.40	158	0.903	1.08
	4.00	9.02	140	3.72	9.83	157	0.929	1.09		5.50	10.58	140	5.28	11.40	160	0.960	1.08
	4.00	9.02	150	3.83	9.83	161	0.956	1.09		5.50	10.58	150	5.46	11.40	163	0.993	1.08
	4.00	9.02	160	3.87	9.83	164	0.968	1.09		5.50	10.58	160	5.54	11.40	165	1.007	1.08
	4.00	9.02	170	3.86	9.83	168	0.966	1.09		5.50	10.58	170	5.52	11.40	168	1.004	1.08
	4.00	9.02	180	3.80	9.83	171	0.950	1.09		5.50	10.58	180	5.43	11.40	172	0.987	1.08
	4.00	9.02	190	3.69	9.83	175	0.921	1.09		5.50	10.58	190	5.25	11.40	175	0.955	1.08
	4.00	9.02	200	3.53	9.83	179	0.882	1.09		5.50	10.58	200	5.01	11.40	178	0.911	1.08
	4.00	9.02	210	3.33	9.83	183	0.833	1.09		5.50	10.58	210	4.70	11.40	182	0.855	1.08
	4.00	9.02	220	3.09	9.83	187	0.772	1.09		5.50	10.58	220	4.33	11.40	185	0.788	1.08
	4.00	9.02	230	2.80	9.83	190	0.699	1.09		5.50	10.58	230	3.89	11.40	188	0.707	1.08
	4.00	9.02	240	2.45	9.83	193	0.613	1.09		5.50	10.58	240	3.37	11.40	190	0.612	1.08
	4.00	9.02	250	2.07	9.83	196	0.518	1.09		5.50	10.58	250	2.80	11.40	192	0.510	1.08
	4.00	9.02	260	1.69	11.40	199	0.423	1.26		5.50	10.58	260	2.24	13.22	195	0.408	1.25
	4.00	9.02	270	1.34	11.40	202	0.335	1.26		5.50	10.58	270	1.74	13.22	197	0.317	1.25
	4.00	9.02	280	1.04	11.40	205	0.260	1.26		5.50	10.58	280	1.33	13.22	201	0.242	1.25
	4.00	9.02	290	0.80	6.29	209	0.199	0.70		5.50	10.58	290	1.01	7.30	205	0.183	0.69
Spettro 8	4.50	9.57	100	2.77	11.40	148	0.616	1.19	Spettro 11	6.00	11.05	100	3.57	13.22	153	0.595	1.20
	4.50	9.57	110	3.25	9.83	151	0.722	1.03		6.00	11.05	110	4.29	13.22	155	0.715	1.20
	4.50	9.57	120	3.68	9.83	153	0.817	1.03		6.00	11.05	120	4.94	11.40	157	0.824	1.03
	4.50	9.57	130	4.00	9.83	156	0.890	1.03		6.00	11.05	130	5.46	11.40	159	0.910	1.03
	4.50	9.57	140	4.23	9.83	158	0.939	1.03		6.00	11.05	140	5.81	11.40	161	0.969	1.03
	4.50	9.57	150	4.36	9.83	161	0.969	1.03		6.00	11.05	150	6.02	11.40	163	1.003	1.03
	4.50	9.57	160	4.42	9.83	165	0.981	1.03		6.00	11.05	160	6.11	11.40	166	1.018	1.03
	4.50	9.57	170	4.41	9.83	168	0.979	1.03		6.00	11.05	170	6.10	11.40	169	1.016	1.03
	4.50	9.57	180	4.34	9.83	171	0.963	1.03		6.00	11.05	180	5.99	11.40	172	0.999	1.03
	4.50	9.57	190	4.20	9.83	175	0.933	1.03		6.00	11.05	190	5.79	11.40	175	0.966	1.03
	4.50	9.57	200	4.01	9.83	179	0.892	1.03		6.00	11.05	200	5.52	11.40	178	0.920	1.03
	4.50	9.57	210	3.78	9.83	183	0.840	1.03		6.00	11.05	210	5.18	11.40	182	0.863	1.03
	4.50	9.57	220	3.50	9.83	186	0.777	1.03		6.00	11.05	220	4.76	11.40	185	0.793	1.03
	4.50	9.57	230	3.16	9.83	189	0.701	1.03		6.00	11.05	230	4.26	11.40	187	0.710	1.03
	4.50	9.57	240	2.75	9.83	192	0.612	1.03		6.00	11.05	240	3.68	11.40	190	0.613	1.03
	4.50	9.57	250	2.31	11.40	194	0.514	1.19		6.00	11.05	250	3.05	13.22	192	0.508	1.20
	4.50	9.57	260	1.87	11.40	197	0.416	1.19		6.00	11.05	260	2.43	13.22	194	0.405	1.20
	4.50	9.57	270	1.47	11.40	200	0.327	1.19		6.00	11.05	270	1.88	13.22	196	0.313	1.20
	4.50	9.57	280	1.14	7.30	203	0.252	0.76		6.00	11.05	280	1.43	13.22	200	0.238	1.20
	4.50	9.57	290	0.87	6.29	207	0.193	0.66		6.00	11.05	290	1.08	15.34	203	0.180	1.39
Spettro 9	5.00	10.08	100	3.04	11.40	150	0.608	1.13	Spettro 12	6.50	11.50	100	3.85	13.22	154	0.593	1.15
	5.00	10.08	110	3.59	9.83	153	0.719	0.97		6.50	11.50	110	4.65	13.22	156	0.715	1.15
	5.00	10.08	120	4.09	9.83	155	0.817	0.97		6.50	11.50	120	5.37	13.22	158	0.826	1.15
	5.00	10.08	130	4.48	11.40	157	0.895	1.13		6.50	11.50	130	5.94	13.22	160	0.914	1.15
	5.00	10.08	140	4.74	11.40	159	0.949	1.13		6.50	11.50	140	6.34	13.22	161	0.976	1.15
	5.00	10.08	150	4.90	11.40	162	0.980	1.13		6.50	11.50	150	6.58	13.22	164	1.012	1.15
	5.00	10.08	160	4.97	11.40	165	0.994	1.13		6.50	11.50	160	6.68	13.22	166	1.028	1.15
	5.00	10.08	170	4.96	11.40	168	0.992	1.13		6.50	11.50	170	6.67	13.22	169	1.026	1.15
	5.00	10.08	180	4.87	11.40	172	0.975	1.13		6.50	11.50	180	6.56	13.22	172	1.009	1.15
	5.00	10.08	190	4.72	11.40	175	0.944	1.13		6.50	11.50	190	6.34	13.22	175	0.975	1.15
	5.00	10.08	200	4.51	11.40	179	0.901	1.13		6.50	11.50	200	6.04	13.22	178	0.929	1.15
	5.00	10.08	210	4.24	11.40	182	0.848	1.13		6.50	11.50	210	5.65	13.22	181	0.870	1.15
	5.00	10.08	220	3.91	11.40	185	0.782	1.13		6.50	11.50	220	5.19	11.40	184	0.798	0.99
	5.00	10.08	230	3.52	11.40	188	0.703	1.13		6.50	11.50	230	4.63	11.40	187	0.712	0.99
	5.00	10.08	240	3.06	11.40	191	0.612	1.13		6.50	11.50	240	3.99	11.40	189	0.614	0.99
	5.00	10.08	250	2.56	11.40	193	0.512	1.13		6.50	11.50	250	3.30	13.22	191	0.508	1.15
	5.00	10.08	260	2.07	11.40	196	0.413	1.13		6.50	11.50	260	2.63	13.22	193	0.404	1.15
	5.00	10.08	270	1.61	13.22	199	0.323	1.31		6.50	11.50	270	2.03	15.34	195	0.312	1.33
	5.00	10.08	280	1.24	13.22	202	0.248	1.31		6.50	11.50	280	1.53	15.34	198	0.235	1.33
	5.00	10.08	290	0.94	13.22	206	0.188	1.31		6.50	11.50	290	1.15	15.34	202	0.177	1.33

TABELLA 6.2.3

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

PUNTO P5 - situazione attuale



Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

PUNTO P5 - situazione progetto

Fig. 6.2.17a - Rapporto tra l'altezza d'onda al largo H_{so} e sottocosta in funzione della direzione del moto ondoso al largo

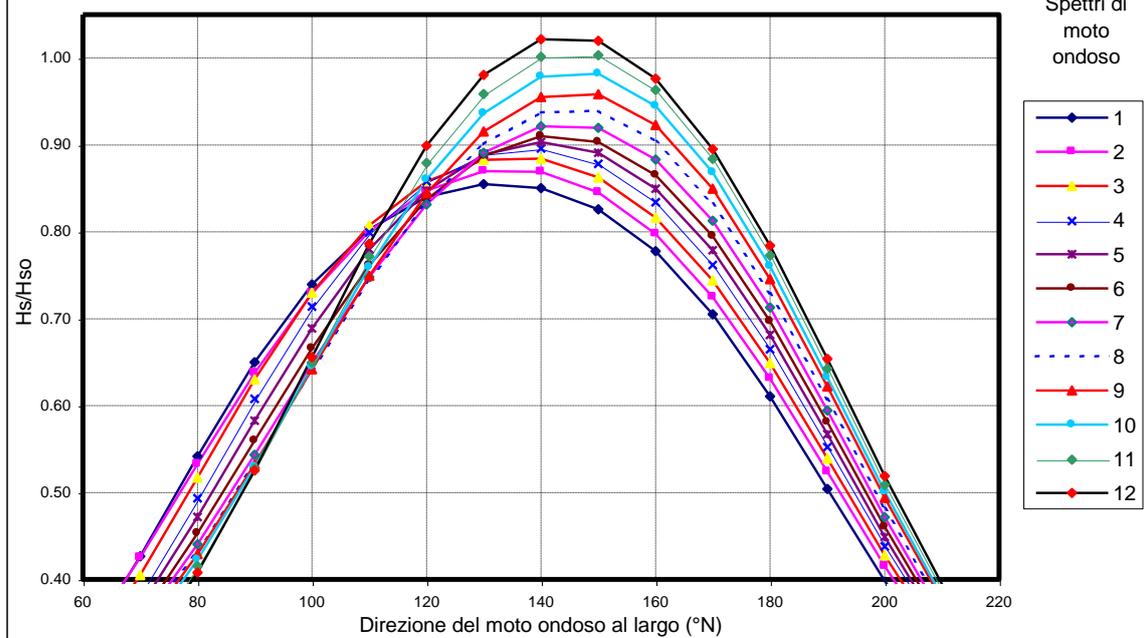
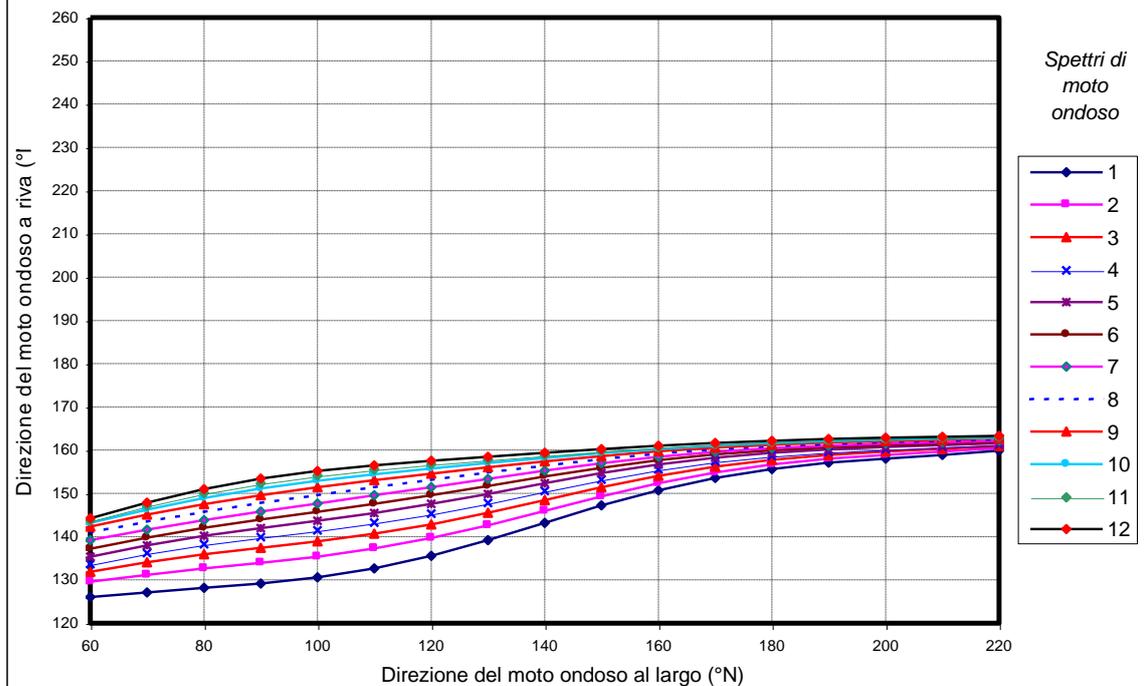


Fig. 6.2.17b - Corrispondenza direzioni di moto ondoso largo - riva



Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

PUNTO P5 - situazione progetto																	
	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To		Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N				m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 1	1.00	4.51	50	0.23	4.03	125	0.231	0.89	Spettro 4	2.50	7.13	50	0.54	4.68	131	0.215	0.66
	1.00	4.51	60	0.32	4.03	126	0.320	0.89		2.50	7.13	60	0.72	6.29	134	0.290	0.88
	1.00	4.51	70	0.43	4.03	127	0.426	0.89		2.50	7.13	70	0.96	6.29	136	0.384	0.88
	1.00	4.51	80	0.54	4.03	128	0.542	0.89		2.50	7.13	80	1.23	6.29	138	0.493	0.88
	1.00	4.51	90	0.65	4.03	129	0.650	0.89		2.50	7.13	90	1.52	6.29	140	0.608	0.88
	1.00	4.51	100	0.74	4.03	131	0.740	0.89		2.50	7.13	100	1.78	7.30	141	0.714	1.02
	1.00	4.51	110	0.80	4.68	133	0.803	1.04		2.50	7.13	110	2.00	7.30	143	0.799	1.02
	1.00	4.51	120	0.84	4.68	136	0.840	1.04		2.50	7.13	120	2.15	7.30	145	0.858	1.02
	1.00	4.51	130	0.85	4.68	139	0.855	1.04		2.50	7.13	130	2.22	7.30	148	0.890	1.02
	1.00	4.51	140	0.85	4.68	143	0.850	1.04		2.50	7.13	140	2.24	7.30	151	0.896	1.02
	1.00	4.51	150	0.83	4.68	147	0.826	1.04		2.50	7.13	150	2.20	7.30	153	0.878	1.02
	1.00	4.51	160	0.78	4.68	151	0.778	1.04		2.50	7.13	160	2.09	7.30	156	0.834	1.02
	1.00	4.51	170	0.71	4.68	154	0.705	1.04		2.50	7.13	170	1.90	7.30	157	0.762	1.02
	1.00	4.51	180	0.61	4.68	156	0.611	1.04		2.50	7.13	180	1.66	7.30	159	0.665	1.02
	1.00	4.51	190	0.50	5.43	157	0.504	1.20		2.50	7.13	190	1.38	8.47	160	0.552	1.19
	1.00	4.51	200	0.40	5.43	158	0.398	1.20		2.50	7.13	200	1.09	8.47	160	0.438	1.19
	1.00	4.51	210	0.30	5.43	159	0.303	1.20		2.50	7.13	210	0.83	8.47	161	0.333	1.19
1.00	4.51	220	0.22	5.43	160	0.224	1.20	2.50	7.13	220	0.61	8.47	161	0.246	1.19		
1.00	4.51	230	0.16	6.29	161	0.162	1.40	2.50	7.13	230	0.44	9.83	162	0.177	1.38		
1.00	4.51	240	0.11	6.29	163	0.114	1.40	2.50	7.13	240	0.31	9.83	164	0.123	1.38		
Spettro 2	1.50	5.52	50	0.36	4.03	128	0.240	0.73	Spettro 5	3.00	7.81	50	0.63	6.29	132	0.209	0.81
	1.50	5.52	60	0.49	4.03	130	0.326	0.73		3.00	7.81	60	0.84	6.29	135	0.279	0.81
	1.50	5.52	70	0.64	6.29	131	0.425	1.14		3.00	7.81	70	1.10	6.29	138	0.368	0.81
	1.50	5.52	80	0.80	6.29	133	0.533	1.14		3.00	7.81	80	1.42	6.29	140	0.472	0.81
	1.50	5.52	90	0.96	6.29	134	0.638	1.14		3.00	7.81	90	1.75	7.30	142	0.583	0.93
	1.50	5.52	100	1.09	6.29	135	0.729	1.14		3.00	7.81	100	2.07	7.30	144	0.689	0.93
	1.50	5.52	110	1.20	6.29	137	0.801	1.14		3.00	7.81	110	2.34	7.30	145	0.780	0.93
	1.50	5.52	120	1.27	6.29	140	0.847	1.14		3.00	7.81	120	2.54	7.30	148	0.848	0.93
	1.50	5.52	130	1.30	6.29	143	0.870	1.14		3.00	7.81	130	2.67	8.47	150	0.889	1.08
	1.50	5.52	140	1.30	6.29	146	0.869	1.14		3.00	7.81	140	2.71	8.47	152	0.903	1.08
	1.50	5.52	150	1.27	6.29	149	0.845	1.14		3.00	7.81	150	2.67	8.47	155	0.891	1.08
	1.50	5.52	160	1.20	6.29	152	0.798	1.14		3.00	7.81	160	2.55	8.47	157	0.850	1.08
	1.50	5.52	170	1.09	6.29	155	0.725	1.14		3.00	7.81	170	2.34	8.47	158	0.779	1.08
	1.50	5.52	180	0.95	6.29	157	0.631	1.14		3.00	7.81	180	2.04	8.47	159	0.681	1.08
	1.50	5.52	190	0.79	6.29	158	0.524	1.14		3.00	7.81	190	1.70	8.47	160	0.567	1.08
	1.50	5.52	200	0.62	6.29	159	0.415	1.14		3.00	7.81	200	1.35	8.47	161	0.449	1.08
	1.50	5.52	210	0.47	7.30	160	0.316	1.32		3.00	7.81	210	1.02	9.83	161	0.341	1.26
1.50	5.52	220	0.35	7.30	160	0.232	1.32	3.00	7.81	220	0.75	9.83	162	0.250	1.26		
1.50	5.52	230	0.25	7.30	162	0.167	1.32	3.00	7.81	230	0.54	9.83	162	0.180	1.26		
1.50	5.52	240	0.18	7.30	163	0.117	1.32	3.00	7.81	240	0.38	11.40	164	0.125	1.46		
Spettro 3	2.00	6.38	50	0.45	4.03	129	0.226	0.63	Spettro 6	3.50	8.44	50	0.72	6.29	134	0.206	0.75
	2.00	6.38	60	0.61	4.68	132	0.306	0.73		3.50	8.44	60	0.95	6.29	137	0.273	0.75
	2.00	6.38	70	0.81	6.29	134	0.405	0.99		3.50	8.44	70	1.24	6.29	140	0.355	0.75
	2.00	6.38	80	1.03	6.29	136	0.517	0.99		3.50	8.44	80	1.59	7.30	142	0.453	0.87
	2.00	6.38	90	1.26	6.29	137	0.630	0.99		3.50	8.44	90	1.96	7.30	144	0.560	0.87
	2.00	6.38	100	1.46	6.29	139	0.730	0.99		3.50	8.44	100	2.33	7.30	146	0.666	0.87
	2.00	6.38	110	1.62	6.29	141	0.808	0.99		3.50	8.44	110	2.67	8.47	148	0.761	1.00
	2.00	6.38	120	1.72	6.29	143	0.858	0.99		3.50	8.44	120	2.93	8.47	150	0.837	1.00
	2.00	6.38	130	1.77	6.29	146	0.883	0.99		3.50	8.44	130	3.11	8.47	152	0.888	1.00
	2.00	6.38	140	1.77	6.29	148	0.884	0.99		3.50	8.44	140	3.19	8.47	154	0.910	1.00
	2.00	6.38	150	1.73	6.29	151	0.863	0.99		3.50	8.44	150	3.16	8.47	156	0.904	1.00
	2.00	6.38	160	1.63	6.29	154	0.816	0.99		3.50	8.44	160	3.03	8.47	158	0.865	1.00
	2.00	6.38	170	1.49	6.29	156	0.744	0.99		3.50	8.44	170	2.78	8.47	159	0.795	1.00
	2.00	6.38	180	1.30	7.30	158	0.649	1.14		3.50	8.44	180	2.44	8.47	160	0.697	1.00
	2.00	6.38	190	1.08	7.30	159	0.539	1.14		3.50	8.44	190	2.03	8.47	161	0.581	1.00
	2.00	6.38	200	0.86	7.30	160	0.428	1.14		3.50	8.44	200	1.61	9.83	161	0.460	1.16
	2.00	6.38	210	0.65	8.47	160	0.326	1.33		3.50	8.44	210	1.23	11.40	161	0.350	1.35
2.00	6.38	220	0.48	8.47	161	0.240	1.33	3.50	8.44	220	0.90	11.40	162	0.257	1.35		
2.00	6.38	230	0.35	8.47	162	0.173	1.33	3.50	8.44	230	0.65	11.40	163	0.184	1.35		
2.00	6.38	240	0.24	8.47	164	0.121	1.33	3.50	8.44	240	0.45	11.40	164	0.129	1.35		

TABELLA 6.2.6

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

PUNTO P5 - situazione progetto																	
	Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To		Hso	Tso	Azmo	Hsr	Tsr	Azmr	K	T/To
	m	s	°N	m	s	°N				m	s	°N	m	s	°N		
Spettro 7	4.00	9.02	50	0.82	6.29	137	0.205	0.70	Spettro 10	5.50	10.58	50	1.06	6.29	140	0.193	0.59
	4.00	9.02	60	1.08	6.29	139	0.269	0.70		5.50	10.58	60	1.40	13.22	143	0.254	1.25
	4.00	9.02	70	1.39	7.30	142	0.348	0.81		5.50	10.58	70	1.81	13.22	146	0.330	1.25
	4.00	9.02	80	1.76	7.30	144	0.441	0.81		5.50	10.58	80	2.33	13.22	149	0.423	1.25
	4.00	9.02	90	2.17	7.30	146	0.543	0.81		5.50	10.58	90	2.91	13.22	151	0.530	1.25
	4.00	9.02	100	2.60	7.30	148	0.649	0.81		5.50	10.58	100	3.55	13.22	153	0.645	1.25
	4.00	9.02	110	2.99	8.47	150	0.748	0.94		5.50	10.58	110	4.18	13.22	154	0.759	1.25
	4.00	9.02	120	3.33	8.47	151	0.832	0.94		5.50	10.58	120	4.73	13.22	156	0.860	1.25
	4.00	9.02	130	3.56	9.83	153	0.891	1.09		5.50	10.58	130	5.15	13.22	157	0.936	1.25
	4.00	9.02	140	3.69	9.83	155	0.922	1.09		5.50	10.58	140	5.38	13.22	158	0.978	1.25
	4.00	9.02	150	3.68	9.83	157	0.920	1.09		5.50	10.58	150	5.40	11.40	159	0.982	1.08
	4.00	9.02	160	3.53	9.83	158	0.883	1.09		5.50	10.58	160	5.20	11.40	160	0.945	1.08
	4.00	9.02	170	3.25	9.83	160	0.813	1.09		5.50	10.58	170	4.78	11.40	161	0.869	1.08
	4.00	9.02	180	2.85	9.83	160	0.713	1.09		5.50	10.58	180	4.18	11.40	162	0.760	1.08
	4.00	9.02	190	2.38	9.83	161	0.594	1.09		5.50	10.58	190	3.48	13.22	162	0.633	1.25
	4.00	9.02	200	1.89	11.40	162	0.472	1.26		5.50	10.58	200	2.76	13.22	162	0.501	1.25
	4.00	9.02	210	1.44	11.40	162	0.359	1.26		5.50	10.58	210	2.10	13.22	163	0.381	1.25
	4.00	9.02	220	1.05	11.40	162	0.264	1.26		5.50	10.58	220	1.54	13.22	163	0.280	1.25
	4.00	9.02	230	0.76	11.40	163	0.189	1.26		5.50	10.58	230	1.11	13.22	163	0.201	1.25
	4.00	9.02	240	0.53	13.22	164	0.133	1.47		5.50	10.58	240	0.77	15.34	164	0.141	1.45
Spettro 8	4.50	9.57	50	0.91	13.22	138	0.203	1.38	Spettro 11	6.00	11.05	50	1.12	7.30	140	0.186	0.66
	4.50	9.57	60	1.20	13.22	141	0.266	1.38		6.00	11.05	60	1.47	7.30	144	0.245	0.66
	4.50	9.57	70	1.54	13.22	143	0.342	1.38		6.00	11.05	70	1.92	13.22	147	0.321	1.20
	4.50	9.57	80	1.95	13.22	146	0.433	1.38		6.00	11.05	80	2.49	13.22	150	0.415	1.20
	4.50	9.57	90	2.40	13.22	148	0.534	1.38		6.00	11.05	90	3.16	13.22	152	0.527	1.20
	4.50	9.57	100	2.88	8.47	150	0.640	0.89		6.00	11.05	100	3.90	13.22	154	0.650	1.20
	4.50	9.57	110	3.35	8.47	151	0.744	0.89		6.00	11.05	110	4.63	13.22	156	0.772	1.20
	4.50	9.57	120	3.75	9.83	153	0.834	1.03		6.00	11.05	120	5.28	13.22	157	0.879	1.20
	4.50	9.57	130	4.05	9.83	155	0.901	1.03		6.00	11.05	130	5.75	13.22	158	0.959	1.20
	4.50	9.57	140	4.22	9.83	156	0.937	1.03		6.00	11.05	140	6.01	13.22	159	1.001	1.20
	4.50	9.57	150	4.23	9.83	158	0.939	1.03		6.00	11.05	150	6.02	13.22	160	1.003	1.20
	4.50	9.57	160	4.07	9.83	159	0.904	1.03		6.00	11.05	160	5.78	13.22	161	0.963	1.20
	4.50	9.57	170	3.74	9.83	160	0.832	1.03		6.00	11.05	170	5.30	13.22	161	0.884	1.20
	4.50	9.57	180	3.28	9.83	161	0.729	1.03		6.00	11.05	180	4.64	13.22	162	0.773	1.20
	4.50	9.57	190	2.73	11.40	161	0.607	1.19		6.00	11.05	190	3.86	13.22	162	0.643	1.20
	4.50	9.57	200	2.17	11.40	162	0.482	1.19		6.00	11.05	200	3.05	13.22	163	0.509	1.20
	4.50	9.57	210	1.65	11.40	162	0.367	1.19		6.00	11.05	210	2.32	13.22	163	0.387	1.20
	4.50	9.57	220	1.21	13.22	162	0.270	1.38		6.00	11.05	220	1.71	13.22	163	0.284	1.20
	4.50	9.57	230	0.87	13.22	163	0.194	1.38		6.00	11.05	230	1.22	15.34	164	0.204	1.39
	4.50	9.57	240	0.61	13.22	164	0.136	1.38		6.00	11.05	240	0.86	15.34	164	0.143	1.39
Spettro 9	5.00	10.08	50	0.99	13.22	139	0.199	1.31	Spettro 12	6.50	11.50	50	1.17	7.30	141	0.181	0.63
	5.00	10.08	60	1.31	13.22	142	0.261	1.31		6.50	11.50	60	1.54	7.30	144	0.237	0.63
	5.00	10.08	70	1.69	13.22	145	0.338	1.31		6.50	11.50	70	2.02	13.22	148	0.311	1.15
	5.00	10.08	80	2.15	13.22	148	0.429	1.31		6.50	11.50	80	2.65	13.22	151	0.408	1.15
	5.00	10.08	90	2.66	13.22	150	0.532	1.31		6.50	11.50	90	3.41	13.22	153	0.525	1.15
	5.00	10.08	100	3.21	13.22	151	0.642	1.31		6.50	11.50	100	4.26	13.22	155	0.656	1.15
	5.00	10.08	110	3.75	13.22	153	0.750	1.31		6.50	11.50	110	5.11	13.22	156	0.786	1.15
	5.00	10.08	120	4.22	13.22	155	0.844	1.31		6.50	11.50	120	5.84	13.22	158	0.899	1.15
	5.00	10.08	130	4.58	11.40	156	0.915	1.13		6.50	11.50	130	6.37	13.22	158	0.981	1.15
	5.00	10.08	140	4.78	11.40	157	0.955	1.13		6.50	11.50	140	6.64	13.22	159	1.022	1.15
	5.00	10.08	150	4.79	11.40	159	0.958	1.13		6.50	11.50	150	6.63	13.22	160	1.020	1.15
	5.00	10.08	160	4.61	11.40	160	0.923	1.13		6.50	11.50	160	6.35	13.22	161	0.976	1.15
	5.00	10.08	170	4.25	11.40	161	0.850	1.13		6.50	11.50	170	5.82	13.22	162	0.895	1.15
	5.00	10.08	180	3.73	11.40	161	0.746	1.13		6.50	11.50	180	5.10	13.22	162	0.784	1.15
	5.00	10.08	190	3.11	11.40	162	0.622	1.13		6.50	11.50	190	4.25	13.22	163	0.654	1.15
	5.00	10.08	200	2.47	13.22	162	0.494	1.31		6.50	11.50	200	3.37	13.22	163	0.519	1.15
	5.00	10.08	210	1.88	13.22	162	0.376	1.31		6.50	11.50	210	2.57	13.22	163	0.395	1.15
	5.00	10.08	220	1.38	13.22	163	0.276	1.31		6.50	11.50	220	1.88	15.34	163	0.290	1.33
	5.00	10.08	230	0.99	13.22	163	0.198	1.31		6.50	11.50	230	1.35	15.34	164	0.207	1.33
	5.00	10.08	240	0.69	13.22	164	0.139	1.31		6.50	11.50	240	0.94	15.34	164	0.144	1.33

TABELLA 6.2.6

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Nel seguente prospetto vengono confrontati i valori medi del coefficiente k per i cinque punti d'inversa per quattro settori di direzione:

Coefficienti k					
Direzioni (°N)	Punto P1	Punto P2	Punto P4	Punto P5 Sit.attuale	Punto P5 progetto
112.5 – 157.5	0.85	0.88	0.90	0.92	0.92
157.5 – 202.5	0,95	0,98	0,94	0,90	0,78
202.5 – 247.5	0.86	0,93	0,73	0,50	-
247.5 – 292.5	0,67	0,80	0.40	-	-

Risulta evidente dalla tabella che il massimo valore medio del coefficiente si ha per i due punti ubicati lungo il nuovo molo di sopraflutto (il punto P1 è posto immediatamente davanti la nuova imboccatura portuale, mentre il punto P2 è stato posizionato davanti alla parte centrale della diga foranea), in corrispondenza della direzione di Mezzogiorno. Anche per il punto P4 ubicato immediatamente davanti l'attuale imboccatura portuale, il massimo valore del coefficiente k coincide con la direzione di Mezzogiorno. Invece, per quanto riguarda il punto P5 posizionato a circa 700 m ad est dell'imboccatura del nuovo porto turistico, sono state effettuate due simulazioni di inversa, nella situazione attuale ed in quella di progetto. Dai risultati si evince che il massimo valore di k, per entrambe le configurazioni prese in esame, è associato alla direzione di Scirocco, mentre tale valore, passando dalla situazione attuale a quella di progetto, si riduce sensibilmente per la direzione di Mezzogiorno.

Per quanto riguarda le direzioni medie di propagazione si osserva che:

- le onde di scirocco (135°N) tendono a raggiungere il punto P1 con una direzione media di 154°N, il punto P2 con una direzione di 148°N ed i punti P4 e P5 con una direzione di 150°N

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

- le onde di mezzogiorno (180 °N) non subiscono sostanziali rotazioni (Punto P1 – 178 °N, Punto P2 – 180°N, e Punto P4 – 174°N)
- le onde di libeccio (225 °N) raggiungono i punto P1, P2, P4 e P5 rispettivamente con una direzione media di 205°N, 213°N, 195°N e 174 °N;
- le onde di ponente (270°N) raggiungono i punto P1, P2 e P3 rispettivamente con una direzione media di 235°N, 246°N, 207 °N e 182 °N;
- In definitiva il settore di traversia si stringe all'angolo compreso tra 150 °N e 240 °N.

Inoltre con il modello MEROPE, nota la serie ondometrica al largo, è stato possibile ricostruire la corrispondente serie di dati ondometrici sotto costa per i 5 punti presi in esame.

I risultati sono sintetizzati per classi di altezza e direzione (tabelle da 6.2.7 a 6.2.35 e figure da 6.2.18 a 6.2.23) al fine di fornire un'utile visione d'insieme del clima d'onda sotto costa:

- 1) Per il punto P1 (in corrispondenza dell'imboccatura portuale) emerge che nella configurazione di progetto (tab. 6.2.7 e fig. 6.2.18):
 - il settore di traversia si stringe all'angolo 120 - 240°N;
 - il 45% degli eventi (corrispondente ad una durata di 5.5 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0.5 m (valore di soglia per la modellazione del litorale);
 - il settore di libeccio (202.5 – 247.5°N) ha la maggiore frequenza sia di eventi di moto ondoso: 47.7 % (5.8 mesi / anno), che di eventi con altezza significativa superiore ai 0.5 m: 25.5 % (3.0 mesi / anno);
 - gli eventi con $H_s > 2.0$ (eventi estremi) provengono essenzialmente dal settore di mezzogiorno (1.37 %) e di libeccio (0.77%).
- 2) Per il punto P2 (850 m ad ovest dell'imboccatura portuale), nella configurazione di progetto si ha che (tab. 6.2.8 e fig. 6.2.19):

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

- il settore di traversia si stringe all'angolo 120 - 260°N;
- il 48.8 % degli eventi (corrispondente ad una durata di 5.9 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0.5 m (valore di soglia per la modellazione del litorale);
- il settore di libeccio (202.5 – 247.5°N) ha la maggiore frequenza sia di eventi di moto ondoso: 43 % (5.1 mesi / anno), che di eventi con altezza significativa superiore ai 0.5 m: 32.5 % (3.9 mesi / anno);
- gli eventi con $H_s > 2.0$ (eventi estremi) provengono essenzialmente dal settore di mezzogiorno (1.38 %) e di libeccio (2.10 %);

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Distribuzione annuale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Anzio riva (Punto P1) - periodo:1 luglio 1989 - luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5	>=6.5	
10																
20																
30																
40																
50																
60																
70																
80																
90																
100																
110	0.28															0.28
120	3.19	2.93	1.71	0.00												7.84
130	0.87	1.99	3.84	0.72	0.03											7.46
140	0.42	1.03	0.99	0.38	0.12	0.01										2.95
150	0.30	0.85	1.20	0.57	0.20	0.05	0.02									3.19
160	0.22	0.67	0.90	0.40	0.24	0.08	0.02	0.00								2.53
170	0.34	0.79	0.96	0.49	0.20	0.10	0.00									2.89
180	0.41	0.95	1.45	0.80	0.39	0.30	0.06	0.02	0.02	0.00						4.40
190	0.54	1.36	1.44	0.78	0.45	0.22	0.08	0.04	0.01		0.01					4.94
200	0.73	1.86	1.56	0.87	0.41	0.22	0.12	0.04	0.02	0.01	0.01					5.84
210	0.83	1.88	1.66	0.74	0.38	0.12	0.08	0.01								5.68
220	0.93	1.56	1.54	0.82	0.52	0.24	0.08	0.02								5.70
230	1.17	1.58	2.60	2.33	1.00	0.21	0.03									8.93
240	1.74	2.91	5.20	1.61	0.12	0.01										11.60
250	2.50	4.78	2.78	0.12	0.00											10.19
260	5.43	4.62	0.83	0.00												10.89
270	4.38	0.25														4.63
280	0.09															0.09
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350																
360																
TOT.	24.37	30.03	28.68	10.63	4.06	1.55	0.49	0.12	0.04	0.01	0.02					100.00
Tot. cumul.	54.40	83.08	93.71	97.78	99.32	99.81	99.93	99.97	99.98	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Capo d'Anzio S.p.A.
C.D.M. n. 6586/2011

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Distribuzione annuale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Anzio riva (Punto P2) - periodo:1 luglio 1989 - luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5		>=6.5
10																
20																
30																
40																
50																
60																
70																
80																
90																
100	0.01															0.01
110	0.82	0.00														0.83
120	2.45	3.26	2.69	0.01												8.41
130	0.69	1.62	3.08	1.26	0.09											6.73
140	0.29	0.85	0.93	0.39	0.11	0.03										2.59
150	0.28	0.65	0.92	0.63	0.17	0.05	0.02									2.72
160	0.21	0.51	0.57	0.51	0.17	0.11	0.02		0.00							2.10
170	0.27	0.67	0.80	0.52	0.14	0.11	0.00									2.52
180	0.33	0.66	0.89	0.87	0.18	0.22	0.02	0.03		0.00						3.21
190	0.43	1.00	1.19	0.83	0.39	0.36	0.07	0.05	0.01	0.00						4.33
200	0.80	1.57	1.26	0.88	0.35	0.20	0.08	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01				5.21
210	0.78	2.22	1.64	0.88	0.47	0.18	0.11	0.05	0.03	0.00	0.01					6.38
220	0.80	1.66	1.60	0.69	0.32	0.13	0.04	0.01	0.00							5.27
230	0.87	1.33	1.13	0.75	0.36	0.13	0.04	0.06	0.01	0.01						4.70
240	1.20	1.49	2.07	1.21	0.64	0.41	0.18	0.06	0.02	0.00						7.29
250	1.42	3.23	3.96	2.51	0.93	0.44	0.12	0.03	0.01							12.65
260	2.29	3.31	2.96	1.11	0.20	0.05	0.01									9.93
270	4.48	4.14	1.68	0.13	0.03											10.46
280	3.04	0.78	0.15													3.98
290	0.67															0.67
300	0.01															0.01
310																
320																
330																
340																
350																
360																
TOT.	22.15	28.97	27.51	13.18	4.53	2.43	0.73	0.33	0.11	0.03	0.02	0.01				100.00
Tot. cumul.		51.13	78.64	91.81	96.35	98.78	99.51	99.83	99.94	99.97	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

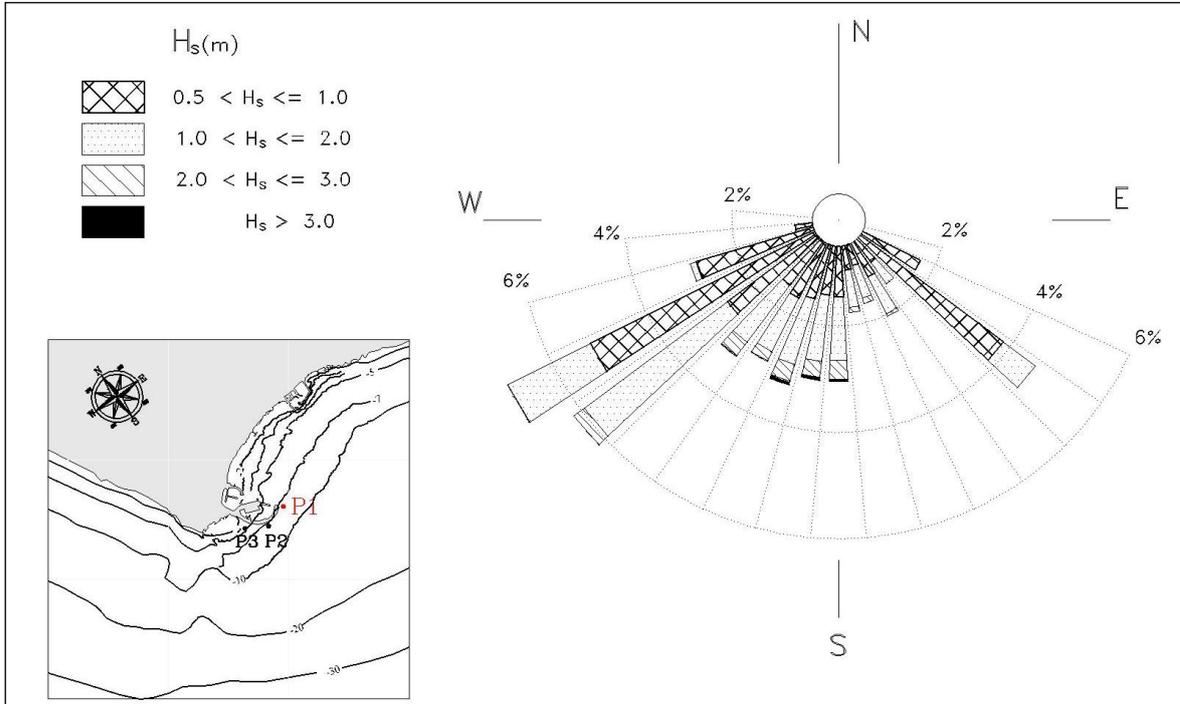


Fig. 6.2.18 - Propagazione a riva nel punto P1 (Configurazione di Progetto)

Clima annuale. Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso

(periodo luglio 1989 - luglio 2007)

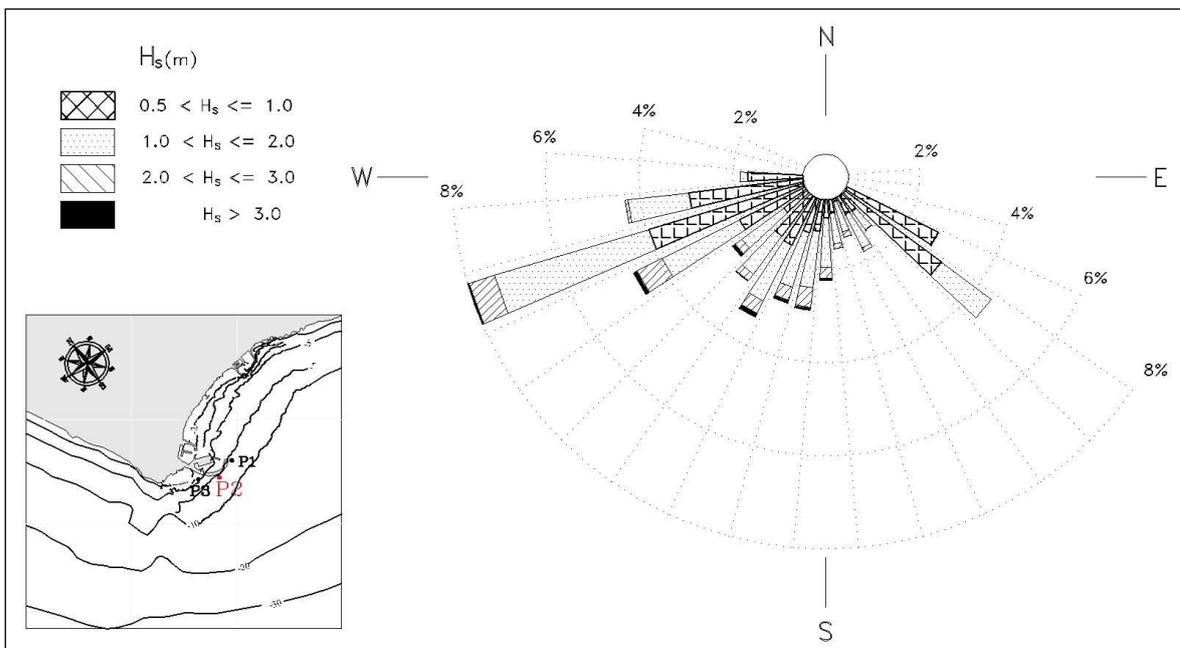


Fig. 6.2.19 - Propagazione a riva nel punto P2 (Configurazione di Progetto)

Clima annuale. Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso

(periodo luglio 1989 - luglio 2007)

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

- 3) Per il punto P3 (a circa 800 m ad ovest del punto di inversa P2, ovvero immediatamente antistante l'Antico porto di Nerone), si ha che nella configurazione di progetto (da tab. 6.2.9 e fig. 6.2.20):
- il settore di traversia si stringe all'angolo 130 - 240°N;
 - il 40.7 % degli eventi (corrispondente ad una durata di 4.8 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0.5 m (valore di soglia per la modellazione del litorale);
 - il settore di libeccio (202.5 – 247.5°N) ha la maggiore frequenza sia di eventi di moto ondoso: 41.3 % (5.0 mesi / anno), che di eventi con altezza significativa superiore ai 0.5 m: 16.8 % (2.0 mesi / anno);
 - gli eventi con $H_s > 2.0$ (eventi estremi) provengono essenzialmente dal settore di mezzogiorno (1.8 %).
- 4) Per il punto P4 (immediatamente antistante l'imboccatura attuale del porto esistente), si ha che nella situazione attuale (da tab. 6.2.10 e fig. 6.2.21):
- il settore di traversia si stringe all'angolo 130 - 210°N;
 - il 36.8 % degli eventi (corrispondente ad una durata di 4.5 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0.5 m (valore di soglia per la modellazione del litorale)
 - il settore di libeccio (202.5 – 247.5°N) ha la maggiore frequenza sia di eventi di moto ondoso: 31 % (3.8 mesi / anno), che di eventi con altezza significativa superiore ai 0.5 m: 18.6 % (2.2 mesi / anno);
 - gli eventi con $H_s > 2.0$ (eventi estremi) provengono essenzialmente dal settore di mezzogiorno (1.20 %);

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

TABELLA 6.2.9

Distribuzione annuale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Anzio riva (Punto P3) - periodo:1 luglio 1989 - luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5		>=6.5
10																
20																
30																
40																
50																
60																
70																
80																
90																
100																
110	0.13															0.13
120	3.08	2.24	0.56													5.88
130	0.81	2.23	5.22	1.05	0.01											9.32
140	0.36	0.96	1.05	0.51	0.13	0.01										3.03
150	0.33	0.69	1.03	0.70	0.16	0.08	0.01									3.01
160	0.23	0.61	0.66	0.63	0.21	0.12	0.03	0.01	0.00							2.50
170	0.37	0.88	1.06	0.74	0.23	0.15	0.02									3.44
180	0.46	1.02	1.25	1.19	0.39	0.46	0.06	0.07	0.00	0.01						4.93
190	0.88	1.98	1.98	1.34	0.58	0.35	0.15	0.07	0.01	0.02	0.02					7.36
200	1.47	2.68	2.60	1.18	0.44	0.17	0.07	0.01								8.61
210	1.47	1.93	2.08	1.20	0.28	0.08	0.01									7.06
220	1.60	1.91	2.81	0.86	0.14	0.01										7.34
230	1.97	2.72	2.22	0.29												7.20
240	1.88	2.72	1.46	0.10	0.00											6.16
250	2.02	2.10	0.81	0.02	0.00											4.95
260	3.18	2.61	0.54	0.01												6.35
270	4.60	1.83	0.19	0.00												6.61
280	2.94	0.69	0.11	0.00												3.73
290	1.05	0.46	0.08	0.00												1.59
300	0.46	0.29	0.05													0.80
310	0.01															0.01
320																
330																
340																
350																
360																
TOT.	29.28	30.54	25.74	9.84	2.57	1.44	0.35	0.16	0.02	0.03	0.02					100.00
Tot. cumul.	59.82	85.56	95.40	97.97	99.42	99.77	99.93	99.95	99.98	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

TABELLA 6.2.10

Distribuzione annuale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Anzio riva (Punto P4 - Situazione attuale) - periodo:1 luglio 1989 - luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)															TOT.
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5	>=6.5	
10																
20																
30																
40																
50																
60																
70																
80																
90																
100																
110	0.27															0.27
120	3.27	2.83	1.41													7.52
130	0.76	1.74	4.26	1.77	0.22	0.00										8.75
140	0.31	0.88	1.03	0.47	0.11	0.05										2.85
150	0.27	0.73	0.94	0.71	0.20	0.09	0.03									2.97
160	0.24	0.56	0.63	0.60	0.18	0.12	0.02	0.01	0.00							2.37
170	0.39	0.97	1.17	0.98	0.27	0.23	0.02	0.02		0.00						4.06
180	0.54	1.23	1.70	1.38	0.51	0.39	0.05	0.04	0.02	0.01						5.86
190	1.33	2.21	2.11	1.34	0.54	0.27	0.08	0.02	0.01							7.92
200	1.94	3.05	4.24	2.14	0.33	0.03										11.73
210	4.15	7.57	5.59	0.29		0.00										17.59
220	11.08	3.07	0.16													14.31
230	12.31	0.05														12.37
240	1.41															1.41
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350																
360																
TOT.	38.28	24.89	23.25	9.69	2.37	1.19	0.19	0.10	0.04	0.01						100.00
Tot. cumul.		63.16	86.41	96.10	98.47	99.66	99.85	99.95	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

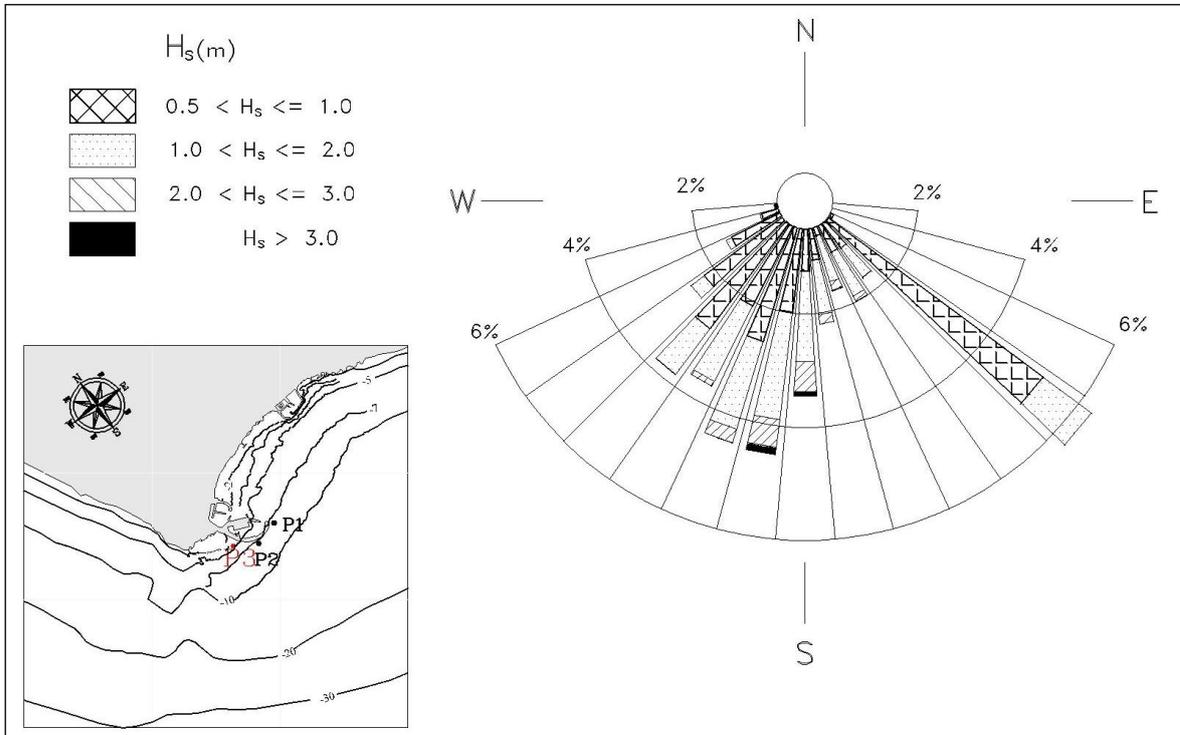


Fig. 6.2.20 - Propagazione a riva nel punto P3 (Configurazione di Progetto)
Clima annuale. Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso (periodo luglio 1989 - luglio 2007)

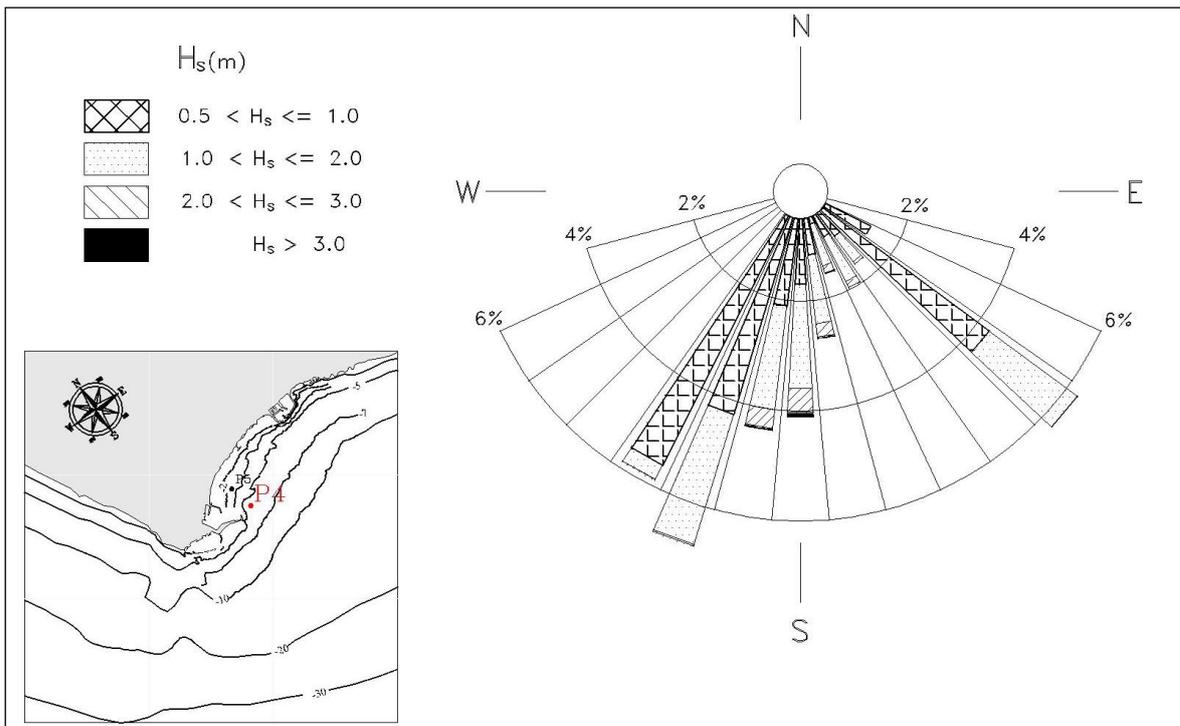


Fig. 6.2.21 - Propagazione a riva nel punto P4 (Situazione Attuale)
Clima annuale. Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso (periodo luglio 1989 - luglio 2007)

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

- 5) Per il punto P5 (posto a 250 m a nord-est dell'attuale dell'imboccatura del porto), nella situazione attuale si ha che (tab.6.2.11 e fig. 6.2.22):
- il settore di traversia si stringe all'angolo 130 - 170°N;
 - il 23 % degli eventi (corrispondente ad una durata di 2.8 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0.5 m (valore di soglia per la modellazione del litorale);
 - il settore di mezzogiorno (157.5 – 202.5°N) ha la maggiore frequenza di eventi di moto ondoso: 71 % (8.7 mesi / anno), mentre gli eventi con altezza significativa superiore ai 0.5 m provengono essenzialmente dallo stesso settore di mezzogiorno: 24.3 % (2.9 mesi / anno);
 - gli eventi con $H_s > 2.0$ (eventi estremi) provengono essenzialmente dal settore di mezzogiorno (4.6 %).
- 6) Per il punto P5 (posto a 250 m a nord-est dell'imboccatura del nuovo porto turistico), si ha che nella configurazione di progetto (tab. 6.2.12 e fig. 6.2.23):
- il settore di traversia si stringe all'angolo 130 - 160°N;
 - il 22 % degli eventi (corrispondente ad una durata di 2.7 mesi) ha una altezza significativa superiore ai 0.5 m (valore di soglia per la modellazione del litorale)
 - il settore di scirocco (112.5 – 157.5°N) ha la maggiore frequenza di eventi di moto ondoso: 70 % (8.5 mesi / anno), mentre gli eventi con altezza significativa superiore ai 0.5 m sono pari al 21.6 % (2.6 mesi / anno);
 - gli eventi con $H_s > 2.0$ (eventi estremi) provengono essenzialmente dal settore di scirocco (0.4 %);

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

TABELLA 6.2.11

Distribuzione annuale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Anzio riva (Punto P5 - Situazione attuale) - periodo:1 luglio 1989 - luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5		>=6.5
10																
20																
30																
40																
50																
60																
70																
80																
90																
100																
110	0.02															0.02
120	2.79	0.11														2.90
130	2.13	4.65	5.20	0.45												12.43
140	0.59	1.18	1.43	0.95	0.16	0.01										4.32
150	0.43	1.01	1.33	0.98	0.25	0.15	0.03									4.20
160	0.76	1.42	1.84	1.18	0.42	0.20	0.04	0.01	0.00							5.87
170	6.78	5.65	4.55	2.01	0.64	0.23	0.06	0.04								19.97
180	29.18	4.52	0.81	0.02												34.53
190	15.76															15.76
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350																
360																
TOT.	58.45	18.54	15.17	5.59	1.47	0.60	0.13	0.05	0.00							100.00
Tot. cumul.	76.99	92.16	97.75	99.22	99.82	99.95	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

TABELLA 6.2.12

Distribuzione annuale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di Hs e direzione di provenienza

Località: Anzio riva (Punto P5 - Configurazione di Progetto) - periodo:1 luglio 1989 -luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)														TOT.	
	<.25	.25÷0.5	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	5.0÷5.5	5.5÷6.0	6.0÷6.5		>=6.5
10																
20																
30																
40																
50																
60																
70																
80																
90																
100																
110																
120	4.08	0.38														4.46
130	2.07	5.72	7.19	0.81												15.79
140	0.95	1.69	1.77	1.14	0.27	0.04										5.85
150	1.42	1.92	1.93	1.37	0.37	0.16	0.05									7.22
160	23.11	7.06	4.44	1.85	0.41	0.13	0.01	0.01	0.01							37.01
170	29.60	0.07														29.67
180																
190																
200																
210																
220																
230																
240																
250																
260																
270																
280																
290																
300																
310																
320																
330																
340																
350																
360																
TOT.	61.23	16.83	15.33	5.17	1.05	0.33	0.05	0.01	0.01							100.00
Tot. cumul.		78.05	93.38	98.55	99.60	99.94	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

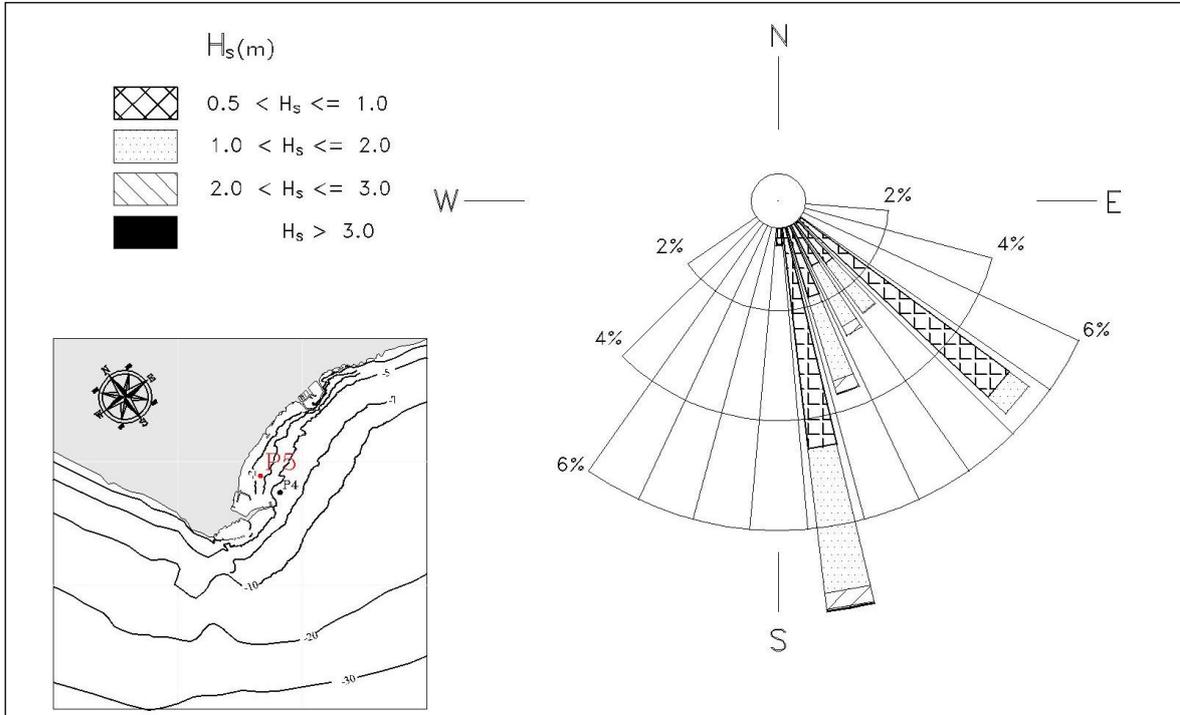


Fig. 6.2.22 - Propagazione a riva nel punto P5 (Situazione Attuale)
Clima annuale. Distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso
(periodo luglio 1989 - luglio 2007)

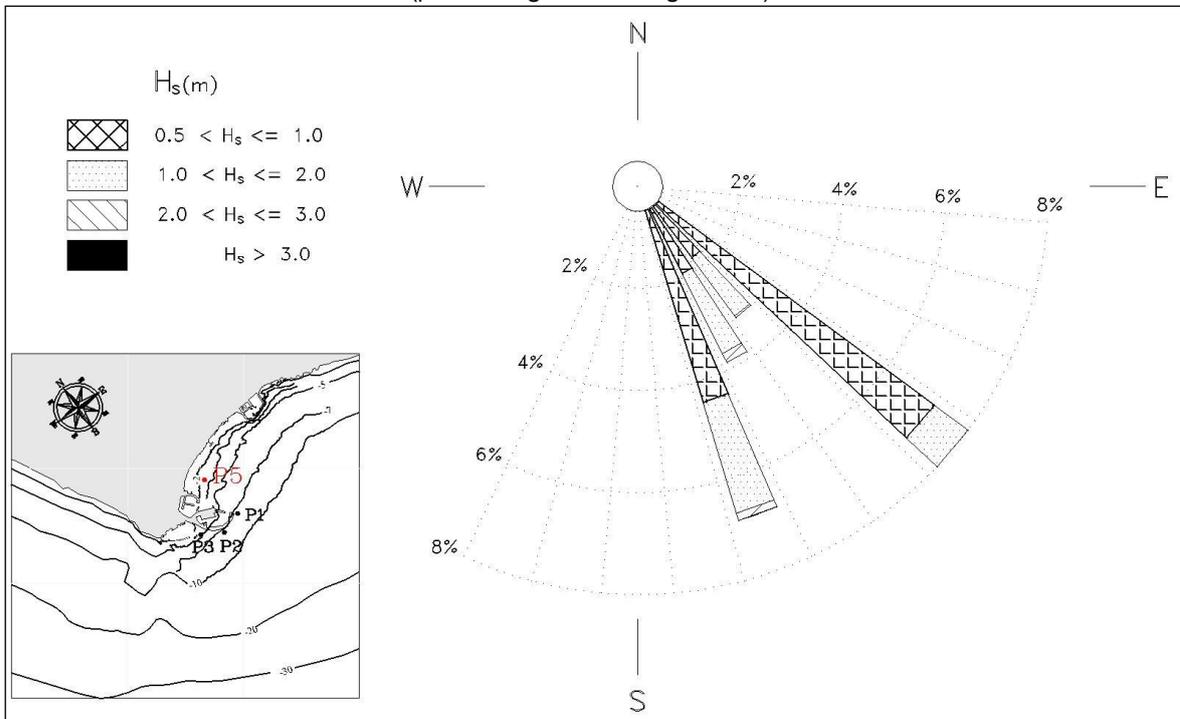


Fig. 6.2.23 - Propagazione a riva nel punto P5 (Configurazione di Progetto)Clima annuale. Distribuzione
direzionale degli eventi di moto ondoso
(periodo luglio 1989 - luglio 2007)

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

L'analisi effettuata evidenzia che:

- la nuova imboccatura portuale è esposta al moto ondoso da eventi provenienti prevalentemente da libeccio (più frequente per eventi ordinari) e mezzogiorno (per eventi estremi).
- i litorali adiacenti al porto risentiranno in misura modesta della costruzione delle nuove opere, infatti le variazioni del moto ondoso passando dalla configurazione attuale a quella prevista dal Nuovo Piano Regolatore risultano modeste sia in termini di persistenza e intensità che in termini di direzione; in particolare a circa 250 m a nord-est dell'imboccatura del porto turistico (Punto P5) l'influenza delle nuove opere comporta l'eliminazione degli eventi provenienti da mezzogiorno, ma la sostanziale persistenza di quelli provenienti da scirocco. L'argomento sarà affrontato in modo completo nello studio specifico dedicato all'argomento.

Analisi del clima di moto ondoso sottocosta: onda morfologica

Nella conduzione dello studio sul litorale adiacente al porto una delle condizioni al contorno principali è costituita dall'esposizione al moto ondoso del paraggio.

L'analisi dettagliata delle registrazioni ondametriche ed il trasferimento di queste sottocosta al sito in esame, ha consentito di derivare utili indicazioni qualitative e quantitative sulle caratteristiche del clima di moto ondoso responsabile dei fenomeni evolutivi della fascia costiera del sito in esame.

Lo studio è stato articolato nell'ipotesi che la serie di dati di misure di moto ondoso (altezza, periodo, direzione) sia comunque rappresentativa delle condizioni medie climatiche del sito in esame e che il punto P5, data la sua ubicazione, sia rappresentativo del tratto di litorale posto ad est del porto.

Utilizzando la totalità delle misure di moto ondoso classificate in funzione della direzione di propagazione in settori di 10° è stata calcolata, per ciascuna direzione di provenienza, un'onda avente un'altezza H_e con relativo periodo T_e , avente un contenuto energetico

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

($\cong H^2 \cdot T$) ed una ripidità ($\cong H/T^2$) rappresentative del contenuto energetico e della ripidità delle onde provenienti dallo stesso settore.

Sotto queste ipotesi si può associare ad una particolare direzione di provenienza (assumendo la direzione media come rappresentativa del singolo settore di 10°) un singolo evento contraddistinto da un'onda $H_e \div T_e$, definita nella letteratura specializzata come "onda di modellazione" o "onda morfologica", avente caratteristiche tali da indurre effetti sul litorale equivalenti a quelli indotti da tutte le onde provenienti da quella direzione in un anno statistico medio.

Derivando dalla serie di misure ondometriche assunte come rappresentativa del clima ondoso le coppie di valori H_i e T_i relative all'i-esimo tra gli N eventi di moto ondoso provenienti dal settore di traversia l'onda di modellazione che compete al settore è tale che:

$$N (H_e^2 T_e) = \sum (H_i^2 T_i)$$

$$N (H_e / T_e^2) = \sum (H_i / T_i^2)$$

La soluzione delle equazioni, sviluppata per il punto P5 nella situazione ed in quella di progetto, rappresentativo del litorale in esame, su base annuale, ha fornito per ogni settore di provenienza, l'energia associata a ciascuna classe di altezza d'onda (tabb. 6.3.1 e 6.3.2). Da una prima elaborazione è evidente che il litorale in esame è contraddistinto da un clima d'onda di tipo monodirezionale caratterizzato cioè da stati di mare prevalenti da sud-sudest (mezzogiorno-scirocco).

Dalla rappresentazione tabellare di questa serie di elaborazione appare evidente che per il punto considerato e nelle due configurazioni portuali:

- la direzione media della risultante energetica annuale varia tra i 148 e i 157°N. In particolare appare evidente dalla Fig. 6.3.3 che per il punto P5 la risultante energetica subisce una rotazione dovuta alle nuove opere portuali di circa 9°. Come conseguenza diretta, la costruzione delle nuove opere porterà ad un rimodellamento delle spiagge adiacenti al porto con una rotazione della linea di riva al massimo di 9° ed inoltre tale effetto si attenuerà rapidamente oltre il punto P5 (posto a circa 250 m ad est del nuovo porto).

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

TABELLA 6.3.1

Onda di modellazione per il sito in esame - Risultante media annua
Località: Anzio riva (Punto P5 - situazione attuale) - periodo:1 luglio 1989 - luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	> 5.0	
10											
20											
30											
40											
50											
60											
70											
80											
90											
100											
110											
120											
130	0.10	0.03									0.14
140	0.03	0.07	0.03	0.00							0.13
150	0.03	0.07	0.04	0.05	0.01						0.20
160	0.04	0.08	0.07	0.06	0.02	0.01	0.01				0.28
170	0.09	0.14	0.11	0.07	0.03	0.03					0.47
180	0.02	0.00									0.02
190											
200											
210											
220											
230											
240											
250											
260											
270											
280											
290											
300											
310											
320											
330											
340											
350											
360											
TOT.	0.30	0.40	0.24	0.18	0.07	0.04	0.01				1.23

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia media annua (kW/m):	1.2	0.9	0.5
Direzione del vettore flusso di energia (°N):	157	159	161
Percentuale di eventi sopra soglia:	23.0%	7.8%	2.3%
H equivalente (m):	1.10	1.52	2.02
Tp equivalente (s):	4.74	5.57	6.40
Durata (mesi):	2.76	0.94	0.27

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

TABELLA 6.3.2

Onda di modellazione per il sito in esame - Risultante media annua
Località: Anzio riva (Punto P5 - situazione progetto) - periodo:1 luglio 1989 - luglio 2007

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										TOT.
	0.5±1.0	1.0±1.5	1.5±2.0	2.0±2.5	2.5±3.0	3.0±3.5	3.5±4.0	4.0±4.5	4.5±5.0	> 5.0	
10											
20											
30											
40											
50											
60											
70											
80											
90											
100											
110											
120											
130	0.14	0.06									0.20
140	0.04	0.08	0.04	0.01							0.17
150	0.04	0.10	0.06	0.05	0.02						0.27
160	0.09	0.13	0.07	0.04	0.00	0.00	0.01				0.34
170											
180											
190											
200											
210											
220											
230											
240											
250											
260											
270											
280											
290											
300											
310											
320											
330											
340											
350											
360											
TOT.	0.30	0.37	0.17	0.10	0.03	0.00	0.01				0.99

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia media annua (kW/m):	1.0	0.7	0.3
Direzione del vettore flusso di energia (°N):	148	150	152
Percentuale di eventi sopra soglia:	21.9%	6.6%	1.5%
H equivalente (m):	1.03	1.44	1.94
Tp equivalente (s):	4.58	5.41	6.29
Durata (mesi):	2.63	0.79	0.17

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Analisi statistiche degli eventi estremi

Per la determinazione della cosiddetta "onda di progetto" in acqua profonda è necessario eseguire un'elaborazione statistica delle altezze d'onda significative maggiori relative alle singole mareggiate della serie storica di riferimento. Mediante regolarizzazione della serie di eventi estremi, secondo note funzioni probabilistiche, è possibile ricavare le caratteristiche del moto ondoso (definite in termini di altezza significativa e periodo) da associare ad assegnati tempi di ritorno (o probabilità di occorrenza). Nella figura 6.4.1 sono indicati in un grafico scatter-plot gli eventi estremi al largo di Anzio e i settori di provenienza del moto ondoso.

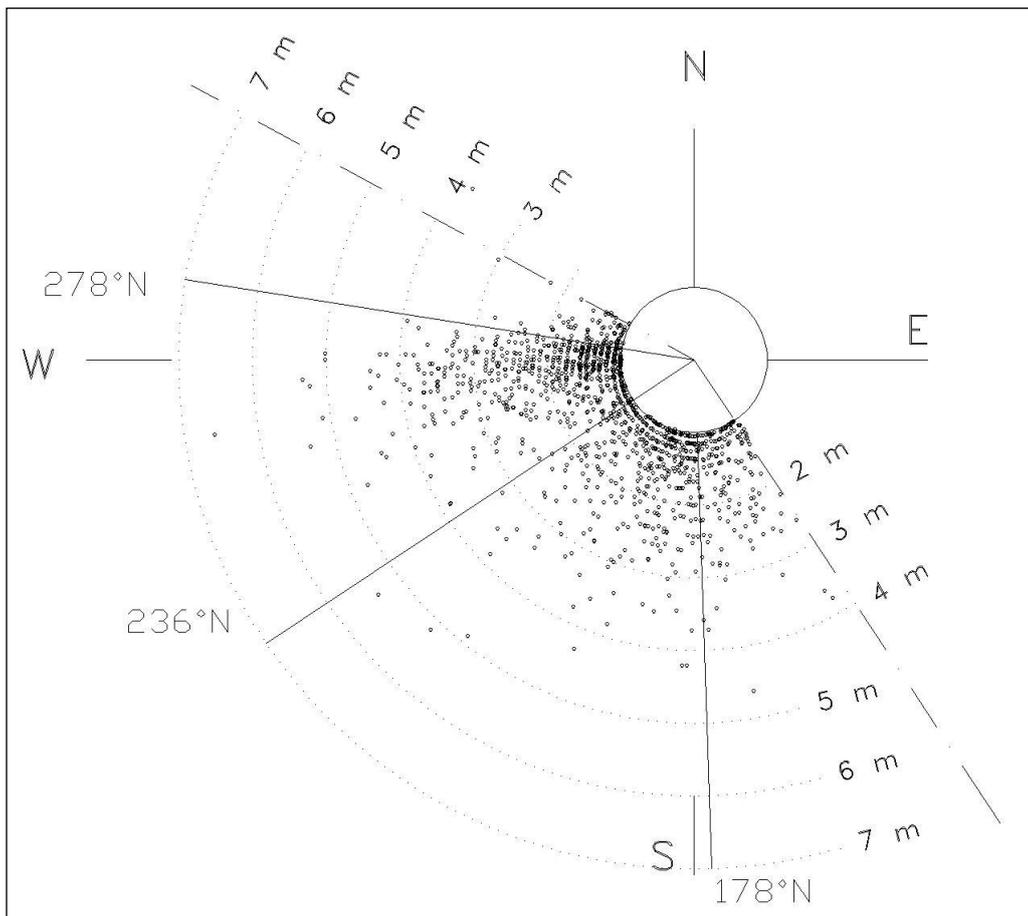


Fig. 6.4.1 - Trasposizione geografica del moto ondoso al largo di Anzio
Distribuzione direzionale degli eventi estremi di moto ondoso
(periodo luglio 1989 - luglio 2007)

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Nel caso di serie di dati relativi a misure di altezza d'onda è più affidabile l'analisi statistica di serie tronche, ottenute selezionando per i diversi settori direzionali di caratteristiche omogenee tutte le altezze d'onda significative, registrate al picco di mareggiate indipendenti superiori ad una soglia prefissata. Infatti, il metodo delle serie tronche è da preferire sia al metodo dei massimi annuali (dati in numero limitato e per alcune "annate" ben poco estremi) sia a quello dell'analisi di tutta la serie di eventi di moto ondoso (sicuramente non indipendenti e poco omogenei). La scelta della soglia di troncamento deve essere effettuata al fine di garantire comunque una selezione di un numero di eventi estremi comparabile con il numero di anni di osservazione.

Dalle tabelle 6.4.1 e 6.4.2 si evince il verificarsi di 30 eventi (superiori a 2.85 m – metodo POT) per il settore 178° ÷ 236° Nord e di 80 eventi (superiori a 3.1 m – metodo POT) per il settore 230° ÷ 279° Nord.

Le serie tronche sono state elaborate effettuando dapprima una regolarizzazione di tipo statistico delle serie di valori riferita al periodo di misure (15 anni).

Successivamente le serie "tronche" di dati sono state riferite alle usuali leggi di distribuzione probabilistica, al fine di determinare il valore "di progetto" con un prefissato tempo di ritorno, o la probabilità di non superamento durante la vita delle opere.

Le leggi adottate di distribuzione di probabilità cumulata di non superamento (funzione di ripartizione) sono quella di Weibull:

$$P(X \leq x) = 1 - e^{-\left[\frac{(x-B)}{A}\right]^\alpha}$$

e la legge di Gumbel (1988):

$$P(X \leq x) = \exp[-\exp[-(x-b)/a]]$$

dove X è la variabile aleatoria, x il valore di non superamento e α , A B, a, b sono i parametri delle distribuzioni. La stima dei parametri delle distribuzioni è stata eseguita sui valori dell'altezza d'onda significativa riportati nella tabb. 6.4.1 e 6.4.2. e nelle figg. 6.4.2 e 6.4.3.

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Tenendo conto che la probabilità cumulata di non superamento è legata al tempo di ritorno dell'evento dalla relazione:

$$Tr(X \leq x) = \frac{1}{(1 - P(X \leq x))}$$

Per il settore compreso tra 178°÷236 °N, le altezze d'onda significative, associate al tempo di ritorno (T_r) di 10 e 50 anni, sono rispettivamente di 5.1 m e 6.3 m, invece per il settore 236÷278°N, le altezze d'onda significative raggiungono i 5.7 m e 6.8 m con $T_r=10$ e 50 anni. Per la definizione del periodo associato all'altezza d'onda di progetto è uso corrente determinarlo per mezzo di formule del tipo $T = c H^{1/m}$ (vedi le espressioni Bretschneider, Grancini ed altri); nel nostro caso si è utilizzato $T_p = 4.15$.

Detti valori sono riferiti al largo del porto di Anzio; nel punto P1 (in prossimità dell'imboccatura portuale) le altezze d'onda ottenute con il modello Merope (in assenza di frangimento) sono:

T_r	Anzio largo				Anzio riva (Punto P1)	
	Libeccio		Ponente		Libeccio	Ponente
Anni	Hs (m)	c.i. (m)	Hs (m)	c.i. (m)	Hs (m)	Hs(m)
5	4.6	0.7	5.3	0.6	3.8	3.3
10	5.1	0.9	5.7	0.8	4.1	3.5
25	5.8	1.3	6.3	1.0	4.6	3.8
50	6.3	1.6	6.8	1.3	4.9	4.1
100	6.8	1.9	7.2	1.5	5.3	4.3

dove c.i. rappresenta l'intervallo di confidenza

Comunque per un'onda al largo di 7.1 m, la massima onda significativa compatibile con un fondale di 7.0 m (in presenza di frangimento) è pari a circa 4.76 m (Goda e Kamphuis).

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

**Tab.6.4.1 - Analisi degli eventi estremi a al largo di Anzio
Settore di traversia: 178 - 236° Nord**

Numero anni: 15.06
Numero delle mareggiate: 98
Soglia di riferimento (POT) m 2.85

Media (m): 3.61
Deviazione Standard (m): 0.71
Numero di eventi sopra POT 30

Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)						
5.37	26.93	3.46	1.11	2.92	0.57	2.73	0.38
5.15	9.67	3.44	1.04	2.89	0.55	2.62	0.37
5.15	5.89	3.40	0.97	2.89	0.53	2.62	0.36
4.89	4.24	3.38	0.91	2.88	0.51	2.62	0.35
4.30	3.31	3.35	0.86	2.84	0.49	2.61	0.35
4.20	2.71	3.25	0.81	2.83	0.48	2.60	0.34
3.85	2.30	3.22	0.77	2.82	0.46	2.59	0.33
3.82	1.99	3.22	0.73	2.81	0.45	2.56	0.32
3.77	1.76	3.18	0.70	2.81	0.44	2.55	0.32
3.58	1.58	3.14	0.67	2.78	0.42	2.52	0.31
3.55	1.43	3.07	0.64	2.76	0.41	2.52	0.30
3.54	1.30	2.97	0.61	2.73	0.40	2.52	0.30
3.50	1.20	2.93	0.59	2.73	0.39	2.50	0.29

Tr	GUMBEL		WEI(.75)		
	Anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5		4.6	0.7	4.4	0.5
10		5.2	1.0	4.9	0.7
25		5.8	1.4	5.5	1.1
50		6.3	1.7	6.0	1.4
100		6.8	2.0	6.5	1.7
A		0.703		0.378	
B		2.148		2.500	
r		0.977		0.963	

Tr	WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)		
	anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)
5		4.6	0.7	4.7	0.7	4.8	0.8
10		5.1	0.9	5.2	1.0	5.4	1.0
25		5.8	1.3	5.9	1.3	6.0	1.4
50		6.3	1.6	6.4	1.6	6.5	1.7
100		6.8	1.9	6.9	2.0	7.0	2.0
A		0.729		1.365		2.391	
B		2.026		1.277		0.164	
r		0.975		0.979		0.978	

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Tab.6.4.2 - Analisi degli eventi estremi a al largo di Anzio
Settore di traversia: 236 - 278° Nord

Numero anni: 15.06
Numero delle mareggiate: 233
Soglia di riferimento (POT) m 3.11

Media (m): 3.80
Deviazione Standard (m): 0.63
Numero di eventi sopra POT 80

Hs (m)	Tempo di ritorno (anni)						
6.59	26.93	4.28	1.11	3.86	0.57	3.65	0.38
5.34	9.67	4.26	1.04	3.85	0.55	3.64	0.37
5.32	5.89	4.22	0.97	3.82	0.53	3.63	0.36
5.24	4.24	4.19	0.91	3.80	0.51	3.61	0.35
5.11	3.31	4.05	0.86	3.78	0.49	3.59	0.35
5.02	2.71	4.02	0.81	3.78	0.48	3.58	0.34
5.01	2.30	3.97	0.77	3.75	0.46	3.56	0.33
4.66	2.00	3.96	0.73	3.75	0.45	3.52	0.32
4.43	1.76	3.94	0.70	3.72	0.44	3.51	0.32
4.42	1.58	3.92	0.67	3.70	0.42	3.51	0.31
4.40	1.43	3.91	0.64	3.70	0.41	3.50	0.30
4.39	1.30	3.90	0.61	3.69	0.40	3.50	0.30
4.30	1.20	3.88	0.59	3.67	0.39	3.49	0.29

Tr	GUMBEL		WEI(.75)	
	Anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)
5	5.2	0.6	5.2	0.5
10	5.7	0.7	5.6	0.7
25	6.2	1.0	6.2	0.9
50	6.6	1.2	6.7	1.2
100	7.1	1.4	7.1	1.4
A		0.608		0.336
B		2.605		2.876
r		0.993		0.991

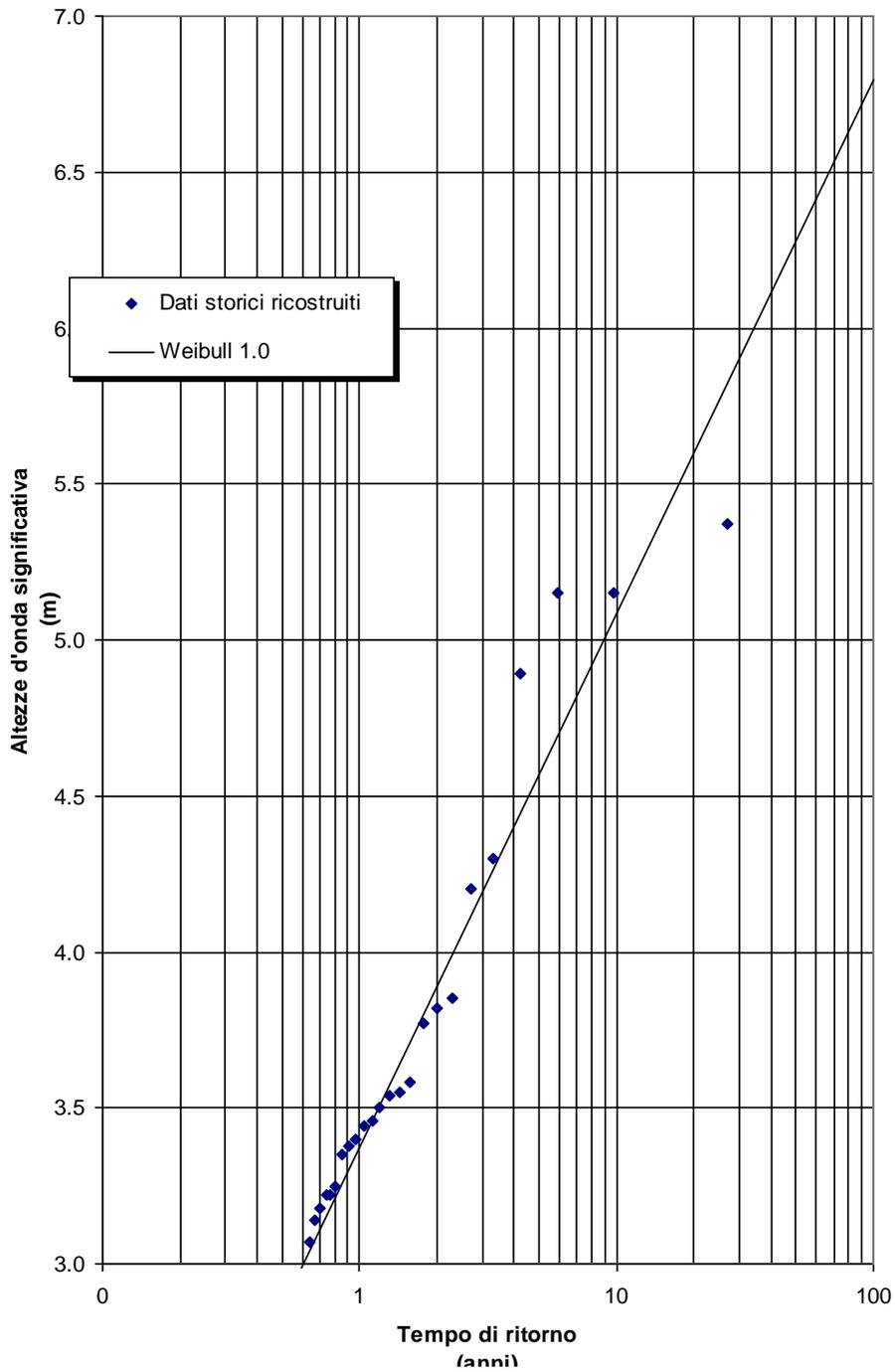
Tr	WEI(1.0)		WEI(1.4)		WEI(2.0)	
	anni	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)	c.i.(m)	Hs(m)
5	5.3	0.6	5.3	0.6	5.4	0.6
10	5.7	0.8	5.7	0.8	5.8	0.7
25	6.3	1.0	6.3	1.0	6.2	0.9
50	6.8	1.3	6.7	1.2	6.6	1.1
100	7.2	1.5	7.1	1.4	7.0	1.3
A		0.638		1.174		2.027
B		2.484		1.869		0.958
r		0.994		0.990		0.983

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

FIGURA 6.4.2

**Altezze d'onda estreme al largo di Anzio
Legge FT-I (Gumbel) Settore 178 - 236° Nord**

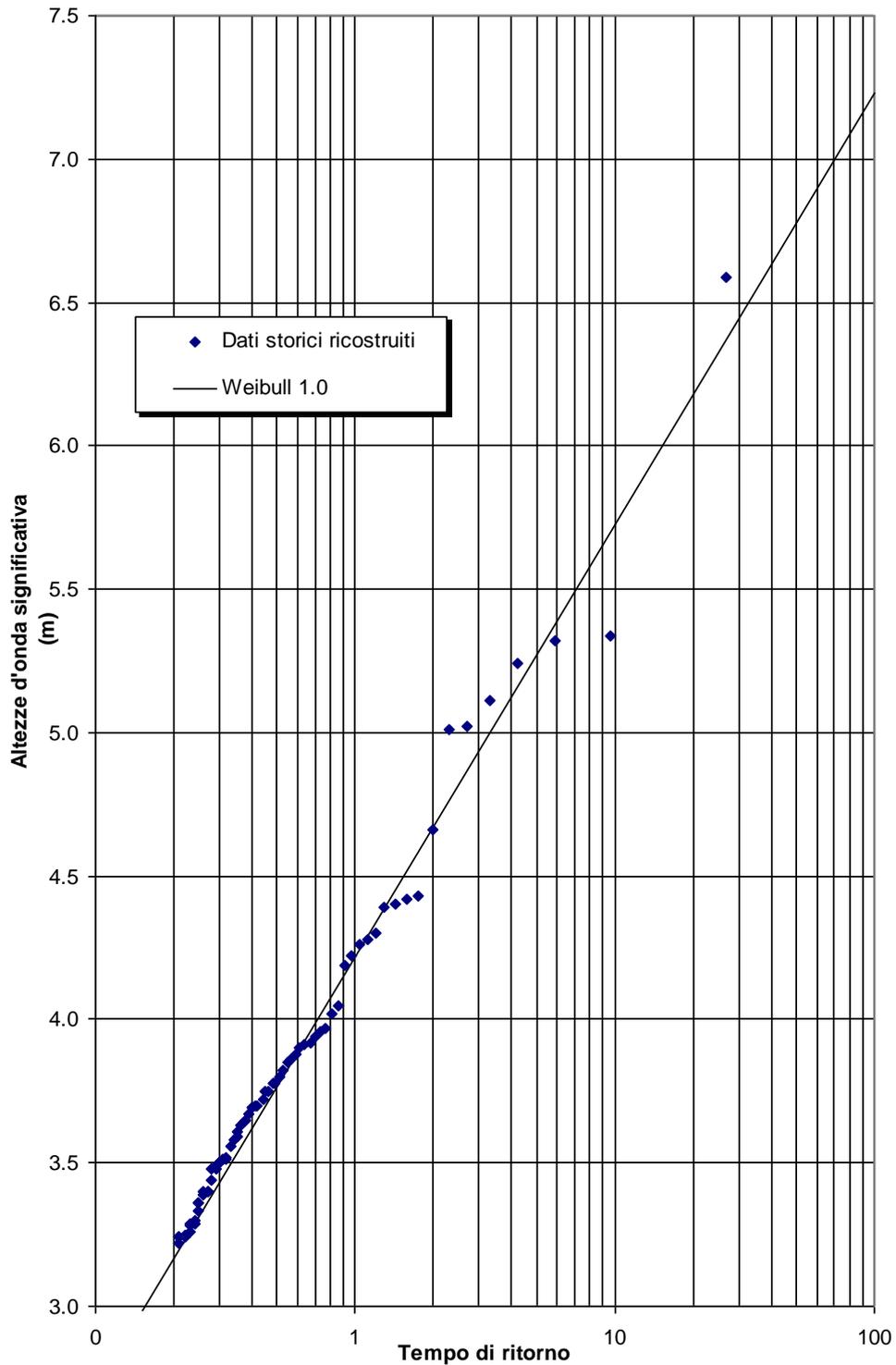


Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

FIGURA 6.4.3

Altezze d'onda estreme al largo di Anzio
Legge FT-I (Gumbel) Settore 236- 278° Nord



**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Determinazione dell'onda di progetto

Per ogni opera marittima si deve valutare la durata di vita presunta, in relazione al complesso in cui è inserita, tenuto conto delle sue caratteristiche funzionali.

Inoltre, si deve valutare il livello di rischio o probabilità di superamento dell'onda di progetto, tenuto conto dei danni che tali onde possono arrecare all'opera e della possibilità di ripristinare la normale funzionalità con operazioni di manutenzione.

Nelle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996) si consigliano i valori riportati nelle seguenti tabelle 6.5.1 e 6.5.2.

TAB. 6.5.1 - Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo Tv

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

Per infrastrutture di uso generale si intendono opere di difesa di complessi civili

o industriali, che non siano destinati ad uno specifico scopo e per i quali non è chiaramente identificabile il termine della vita funzionale dell'opera. Per infrastrutture ad uso specifico si intendono le opere di difesa di singole installazioni industriali, di porti industriali, di depositi o piattaforme di carico e scarico, di piattaforme petrolifere, ecc.

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

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Il livello di sicurezza 2 si riferisce ad opere e installazioni di interesse generale, comportanti un moderato rischio di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso dell'opera (opere di grandi porti, scarichi a mare di grandi città, ecc.).

Il livello di sicurezza 3 si riferisce ad opere o installazioni per la protezione dall'inondazione o di interesse sopranazionale, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso della stessa (difese di centri urbani o industriali, ecc.).

Il caso di porto di Anzio va considerato come infrastruttura civile di uso generale con un livello di sicurezza compreso tra 1 e 2. Cautelativamente si può dunque assumere un tempo di vita dell'opera pari a 50 anni.

Tab. 6.5.2 -Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera Pf

Danneggiamento incipiente		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0.50	0.30
Media	0.30	0.20
Alta	0.25	0.15
Distruzione totale		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0.20	0.15
Media	0.15	0.10
Alta	0.10	0.05

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

Per quanto riguarda la probabilità di occorrenza dell'onda di progetto, si assumeranno le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente od alla distruzione totale in relazione alle deformazioni e/o modificazioni subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno nel minor tempo possibile.

Per strutture rigide (dighe a parete verticale), per le quali è estremamente difficile riparare il danno, si assume la probabilità di distruzione totale.

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

Per queste opere si deve comunque verificare anche lo scenario di rovina totale, cioè del superamento di un livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale l'opera cessa di svolgere un'apprezzabile funzione protettiva.

Per rischio limitato per la vita umana si intendono i casi in cui a seguito del danneggiamento non è prevista alcuna perdita di vite umane. Quando queste perdite sono preventivabili, il rischio è elevato.

Per ripercussione economica bassa, media ed alta si intendono casi in cui il rapporto fra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti dovuti alla perdita di funzionalità delle opere protette, ed il costo totale per la realizzazione dell'opera è minore di 5, è compreso fra 5 e 20 o è maggiore di 20.

La combinazione dei tempo di vita dell'opera T_v e della probabilità di danneggiamento P_f , determina il tempo di ritorno dell'evento di progetto T_{rp} : $T_{rp} = T_v / [-\ln(1 - P_f)]$

Nel caso in esame si può considerare un rischio limitato di perdita di vita umana ed una ripercussione economica medio-bassa. Assumendo il criterio del danno incipiente si impone $P_f = 0,4$ e quindi $T_{rp} = 50 / [-\ln(0.6)] = 100$ anni. In relazione a questo tempo di ritorno, dalla statistica degli eventi estremi, si può desumere che:

- l'altezza d'onda significativa di progetto è pari a 7.1 m al largo e quindi 4.76 m a riva (in presenza di frangimento);

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

- il periodo di picco è pari a $4.51 \times H_s^{0.5} = 12$ s secondo le consuete relazioni empiriche per fetch limitati;
- La direzione di provenienza del moto ondoso corrispondente è compresa tra 178° e 236° N.

L'onda significativa così valutata ha approssimativamente la probabilità Pf (detta anche probabilità di incontro) di essere superata nell'arco di vita dell'opera.

Capo d'Anzio S.p.A.
C.D.M. n. 6586/2011

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo delle opere a gettata

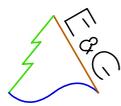
ALLEGATO 2

REGIONE LAZIO COMUNE DI ANZIO



PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA, IDRAULICA, IDROGEOLOGICA, SEDIMENTOLOGICA E SISMICA



E&G SRL
ENVIRONMENT AND GEOTECHNIC
STUDIO DI INGEGNERIA GEOTECNICA E
AMBIENTALE

IL DIRETTORE TECNICO

ing. Quintilio Napoleoni
Ord. Ingg. Roma N.15672

CONSULENZA GEOLOGICA

prof. dott. Sergio Storani Ridolfi
Ord. Geol. Marche N.293

RIFERIMENTO ELABORATO	DIRETTORIO		FILE		DATA: GIUGNO 2008	REVISIONE	
	codice cliente	codice lavoro	Anno	n. progressivo		n.	data
RS-01	- CPA -	PTA	08	REL -	01	1	GIUGNO 2008

ELABORAZIONE PROGETTUALE E GRAFICA A CURA DI:	Ing. Gadiel Coen	GRUPPO DI PROGETTAZIONE :	Ing. Francesca Leo	Ing. Ferdinando Leone
			Ing. Emiliano Maria Sali	Ing. Claudio Gravina
			Ing. Matteo Pinti	Arch. Francesca Ventriglia

COMMITTENTE: CAPO D'ANZIO S.p.A.



Sommario

1	INTRODUZIONE	3
2	GEOLOGIA DELL'AREA	6
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	6
2.2	ASSETTO GEOLOGICO DELL'AREA RISTRETTA.....	8
2.3	IDROGEOLOGIA	10
2.4	SISMICITÀ.....	13
2.4.1	<i>Classificazione sismica DELL'AREA</i>	14
3	CAMPAGNE DI INDAGINE	17
3.1	SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO	19
3.2	PROVE SPT.....	19
3.3	PROVE DI LABORATORIO.....	22
3.3.1	<i>Determinazioni fisiche e prove di taglio diretto</i>	22
3.3.2	<i>Prove edometriche</i>	24
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	26
4.1	UNITÀ LITOLOGICHE	26
4.2	CLASSIFICAZIONE SEDIMENTOLOGICA	27
4.3	PARAMETRI MECCANICI.....	28
4.3.1	<i>Angolo d'attrito INTERNO</i>	28
4.3.2	<i>Coesione efficace</i>	30
4.3.3	<i>Modulo di deformazione</i>	31
4.4	PARAMETRI DI PROGETTO.....	32
5	VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE NUOVE BANCHINE	33
5.1	GENERALITÀ.....	33
5.2	AZIONI SISMICHE	36
5.3	RISULTATI.....	37
6	CALCOLO DEI CEDIMENTI DELLE NUOVE OPERE	39
6.1	GENERALITÀ.....	39
6.2	SEZIONI DI CALCOLO	42
7	CONCLUSIONI	47



Indice tabelle

- Tabella 1: Valori medi delle precipitazioni mensili 1951 - 2006
- Tabella 2: Categorie di suolo di fondazione in ottica sismica (V_{s30})
- Tabella 3: Quadro sinottico delle attività in situ eseguite
- Tabella 4: Valori dei parametri meccanici ricavati dalle prove SPT
- Tabella 5: Quadro sinottico delle attività di laboratorio.
- Tabella 6: Quadro sinottico dei valori delle proprietà indice dei campioni di laboratorio
- Tabella 7: Quadro sinottico dei parametri meccanici desunti dalle prove di taglio diretto
- Tabella 8: Quadro sinottico dei valori dell'angolo d'attrito dedotti dalle differenti prove per le unità geomeccaniche in esame
- Tabella 9: Quadro sinottico dei valori della coesione efficace stimati dalle differenti prove per le unità geomeccaniche in esame
- Tabella 10: Quadro sinottico dei valori del modulo di Young stimati dalle differenti prove per le unità geomeccaniche in esame
- Tabella 11: Quadro sinottico dei risultati delle verifiche di stabilità
- Tabella 12: Cedimenti dei rilevati e delle opere a mare

Indice figure

- Figura 1: Inquadramento dell'area in esame
- Figura 2: Schema progettuale della nuova struttura portuale
- Figura 3: Bacino idrografico della zona litoranea tra il fosso dell'Incastro ed il fosso Loricina
- Figura 4: Idrogeologia dell'area in esame (da Capelli G. & Mazza R. , 2005)
- Figura 5: parametri sismici in funzione degli stati limite di calcolo ricavati secondo le NTC 14/01/2008
- Figura 6: Planimetria con linee batimetriche e ubicazione dei sondaggi geognostici
- Figura 7: andamento $E_d - \sigma'_v$ campione CI2 sondaggio ST2
- Figura 8: andamento $E_d - \sigma'_v$ campione CI2 sondaggio ST3
- Figura 9: schema statico utilizzato nel metodo delle strisce
- Figura 10: Schema di calcolo per la valutazione dei cedimenti.
- Figura 11: Schema di calcolo per la valutazione dei cedimenti.
- Figura 12: Striscia di carico infinita
- Figura 13: Sezione tipo O
- Figura 14: Sezione tipo N1
- Figura 15: Sezione tipo I
- Figura 16: Sezione tipo C
- Figura 17: Sezione tipo R

Allegati

- Verifiche di stabilità: uscite grafiche del programma di calcolo
- Calcolo dei cedimenti: procedure analitiche

1 INTRODUZIONE

La presente relazione intende definire un modello geologico e geotecnico funzionale alle attività di progettazione delle nuove banchine commerciali e turistica del porto di Anzio (Figura 1).



Figura 1: Inquadramento dell'area in esame

L'area in esame è quella dell'attuale porto di Anzio, che verrà potenziato per divenire la parte turistica del nuovo scalo, mentre verrà realizzata una struttura completamente nuova, esternamente all'attuale braccio di sud, per il porto commerciale. Il nuovo assetto della struttura marittima è quello riportato in Figura 2.

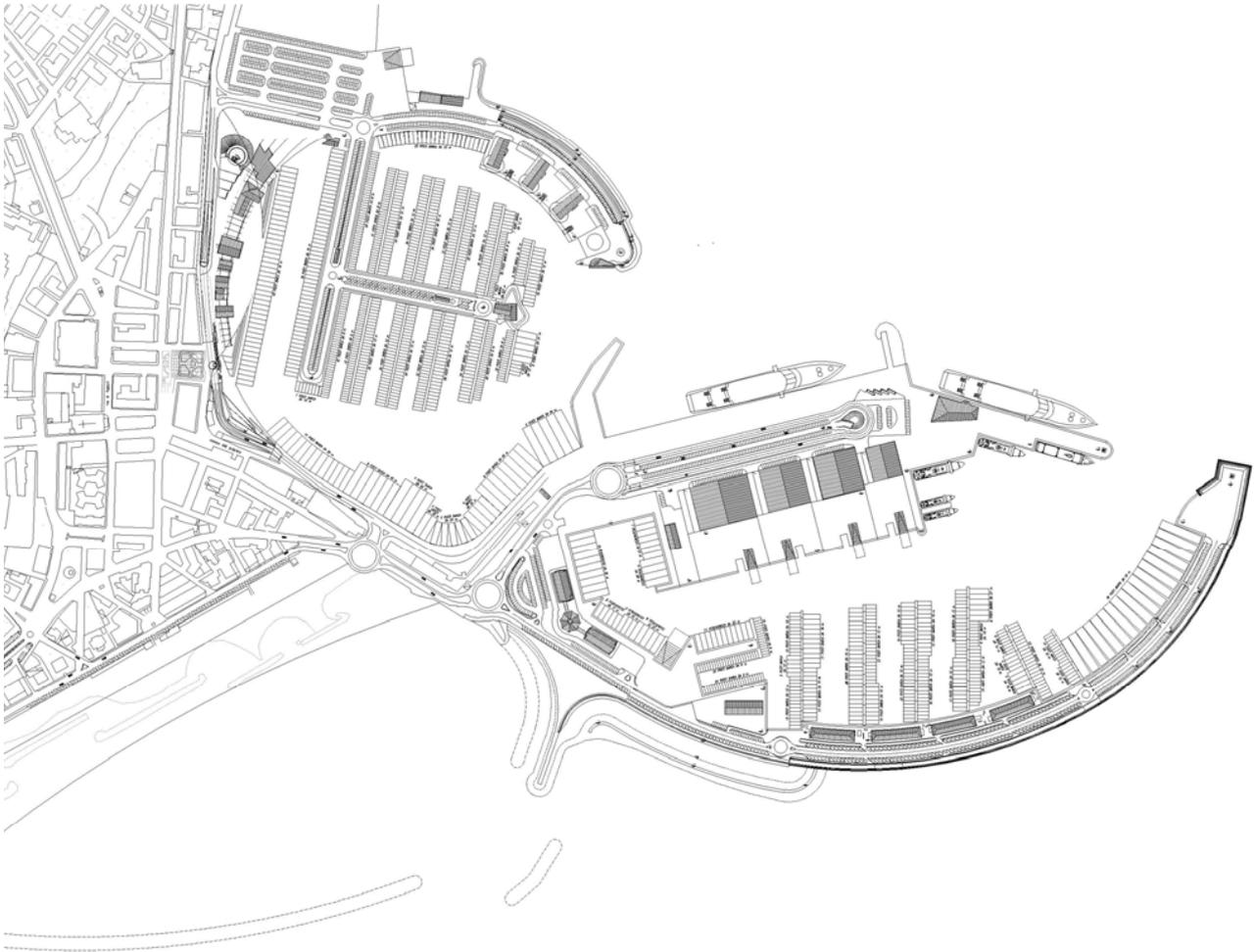


Figura 2: Schema progettuale della nuova struttura portuale

I campi di studio che saranno trattati dal presente elaborato fanno riferimento alla parte geologica e geotecnica emersa a valle della campagna di indagini eseguita dalla società GEOTER nei primi mesi del 2008 realizzata a terra ed a mare.

La parte geologica è strutturata a partire da un inquadramento geologico dell'area basato sulle conoscenze regionali e sull'individuazione delle macroformazioni presenti in sito, dai caratteri geomorfologici e strutturali, dallo studio sismico dell'area e dallo studio idrogeologico del sottosuolo. Lo studio geologico è inoltre corredato da una serie di informazioni riguardanti le caratteristiche granulometriche dei terreni di sedime sui quali si intesta l'opera, desunte dalle prove granulometriche eseguite sui campioni prelevati durante la campagna di indagine.



La parte geotecnica comprende, a partire dall'identificazione dei terreni costituenti il sedime, la determinazione dei parametri meccanici e di deformabilità dei terreni, in relazione alle stratigrafie di riferimento, con riferimento ai risultati delle prove geotecniche in situ e di laboratorio.

Dal punto di vista delle opere sono, in questa sede, riportate le verifiche di capacità portante delle sezioni tipo, differenziate secondo la stratigrafia di riferimento, ed i relativi cedimenti indotti dall'applicazione dei carichi.

In allegato sono disponibili tutti gli elaborati di calcolo cui si fa esplicito riferimento nel testo.



2 GEOLOGIA DELL'AREA

2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Per meglio inquadrare le problematiche geologiche del settore in esame viene di seguito descritta l'*evoluzione geologica dell'area costiera* a cui questo appartiene.

Nell'area costiera il substrato geologico più antico è rappresentato dai terreni argillosi e calcarei del Pliocene medio-inferiore e da quelli argilloso-sabbiosi del Pleistocene inferiore, affioranti lungo la falesia da Tor Caldara ad Anzio e nell'area di Torre Astura a Le Grottace. In particolare, i depositi sedimentari affioranti tra Anzio e Torre Astura rivelano un ambiente di spiaggia parzialmente alimentato da apporti fluviali.

Nell'area di Anzio, sono preservati anche sedimenti riferibili al Pliocene medio: molto noti sono gli affioramenti in *facies* di Macco ($Pl_{2.3}$) che si estendono sino in prossimità dei rilievi Lepini-Ausoni; si tratta di calcareniti bioclastiche, costituite prevalentemente da resti organogeni (pettinidi, ostreidi e gasteropodi), a testimonianza che nell'area costiera c'erano condizioni favorevoli a un ampio sviluppo della fauna di spiaggia e alla formazione di abbondante quantità di materiale bioclastico. Questi affioramenti si rinvencono, soprattutto nei pressi della stazione ferroviaria di Anzio, con continuità per circa 1 chilometro e un'ampia sezione consente di osservarne la giacitura: la stratificazione inclinata indica che l'ambiente in cui si sono depositi è riferibile ad un delta di conoide.

All'inizio del Pleistocene, dopo un breve periodo di emersione avuto nel Pliocene, si assiste all'ingressione marina che modifica nuovamente il paesaggio costiero. I sedimenti del Pleistocene medio, sia marini che continentali, scarsamente rappresentati in superficie, sono ben riconoscibili in quanto caratterizzati dalla presenza di abbondanti prodotti piroclastici rimaneggiati. Infatti, è proprio all'inizio di questo periodo che, poco più a Nord, ha inizio l'attività vulcanica dei Colli Albani. Per tutto il Pleistocene medio si riferiscono variazioni del livello marino per cause glacio-eustatiche che determinano fasi di sedimentazione e di erosione in tutta l'area. I primi prodotti vulcanici che giungono alla costa si depositano sui sedimenti plio-pleistocenici quando l'area è ancora parzialmente sommersa.



Successivamente, intorno a 360.000 anni fa, il Complesso dei Colli Albani emette, con una violenta eruzione, la III colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio (tufo Lionato) che si depone in condizioni subaeree testimoniando che la linea di costa si era nuovamente spostata verso l'esterno. Nel Pleistocene medio e superiore la sedimentazione, cui si aggiungono i prodotti vulcanici, appare controllata essenzialmente da fattori eustatici.

Circa 125.000 anni fa (Eutirreniano) si assiste a un innalzamento del livello del mare che raggiunge quota +6/+8 metri rispetto al livello attuale: la fase finale della trasgressione è rappresentata, nell'area, dai depositi eolici relativi alla *Duna Antica (qd)* che occupa in affioramento una fascia molto ampia, estendendosi parallelamente all'attuale linea di costa. Alla regressione post-eutirreniana segue una nuova fase trasgressiva, durante il Neotirreniano, di minore entità, in cui si assiste al lento sollevamento del mare che raggiunge i 2-3 metri sopra il livello attuale. I depositi eolici costieri, relativi alla *Duna Antica*, ostacolano l'avanzare del mare neotirreniano verso l'interno, favorendo la formazione di estese lagune che occupano gran parte delle piane costiere, la cui alimentazione è favorita da canali trasversali alle dune.

Alla fine del Pleistocene superiore, un forte peggioramento climatico determina il ritiro del mare che, nell'ultimo massimo raffreddamento, circa 22.000 anni fa, si abbassa fino a raggiungere 120 metri sotto il livello attuale, lasciando emersa parte della piattaforma continentale. Il paesaggio viene fortemente modificato: avanza la linea di riva di alcune decine di chilometri, precipita il livello di base, si approfondiscono i corsi d'acqua che vanno formando ampie valli. Il ritiro del mare determina, unitamente, lo sviluppo di stagni e paludi nelle aree interdunari.

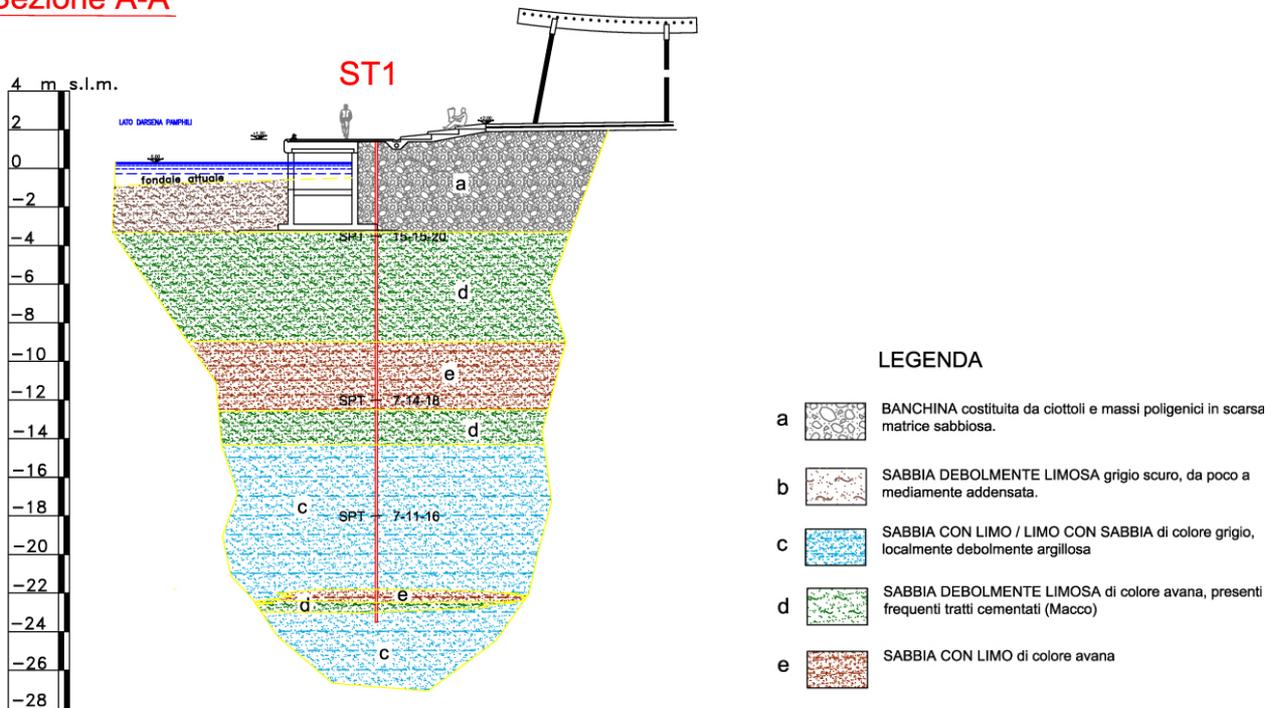
Successivamente si osserva un processo di risalita del mare, in modo episodico, con fasi di stabilità del livello marino separate da rapide risalite. Circa 10.000 anni fa si assiste ad una nuova trasgressione marina con il livello del mare ad una quota prossima all'attuale; segue una fase regressiva a cui è collegata la formazione delle dune litoranee. Un clima più secco e l'abbassamento del livello del mare avrebbero determinato il graduale ritiro della laguna e, nelle aree più depresse, si sarebbe impostato un ambiente acquitrinoso-palustre che si mantiene tale fino alle bonifiche avviate in tempi storici.

2.2 ASSETTO GEOLOGICO DELL'AREA RISTRETTA

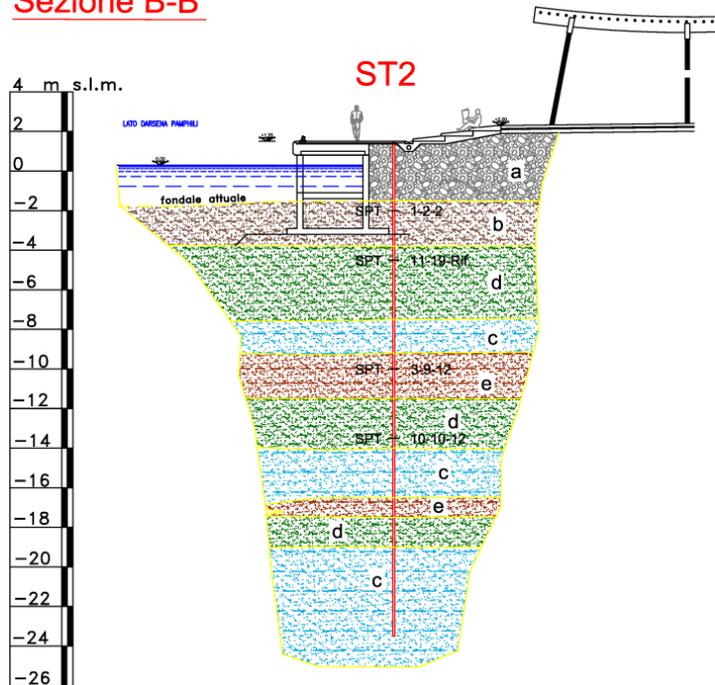
I litotipi affioranti nell'area in studio (zona Porto) sono riferibili, da bibliografia, alle sabbie rossastre della *Duna Antica (qd)* (Figura 2).

Le indagini geognostiche eseguite dalla GEOTER S.r.l. nella zona in oggetto, hanno evidenziato la presenza, sotto alcuni metri di banchina (3 – 8 m), di litotipi in generale sabbioso-limosi; nel dettaglio l'assetto stratigrafico che costituisce il substrato dell'area, dalle stratigrafie dei sondaggi ST1, ST2 e ST3, è così determinato:

Sezione A-A'



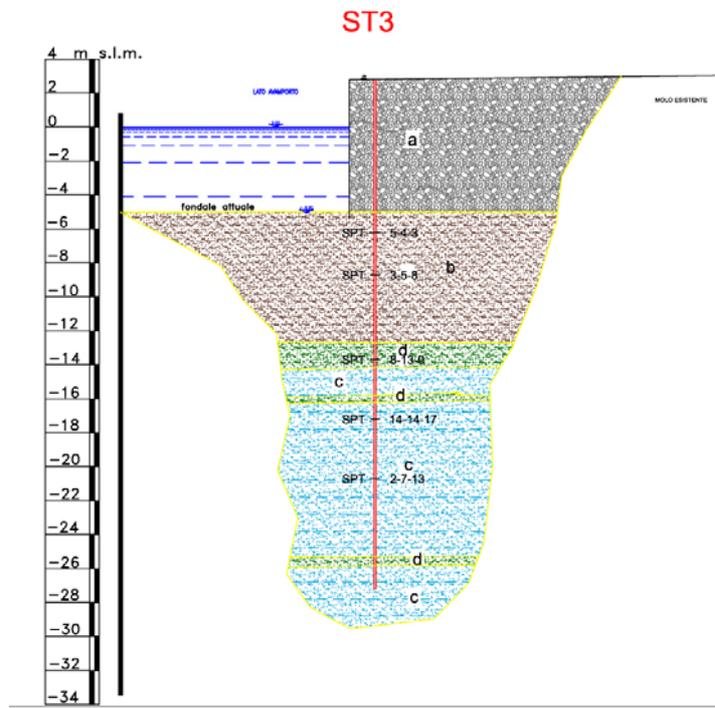
Sezione B-B'



LEGENDA

- a BANCHINA costituita da ciottoli e massi poligenici in scarsa matrice sabbiosa.
- b SABBIA DEBOLMENTE LIMOSA grigio scuro, da poco a mediamente addensata.
- c SABBIA CON LIMO / LIMO CON SABBIA di colore grigio, localmente debolmente argillosa
- d SABBIA DEBOLMENTE LIMOSA di colore avana, presenti frequenti tratti cementati (Macco)
- e SABBIA CON LIMO di colore avana

Sezione C-C'



LEGENDA

- a BANCHINA costituita da ciottoli e massi poligenici in scarsa matrice sabbiosa.
- b SABBIA DEBOLMENTE LIMOSA grigio scuro, da poco a mediamente addensata.
- c SABBIA CON LIMO / LIMO CON SABBIA di colore grigio, localmente debolmente argillosa
- d SABBIA DEBOLMENTE LIMOSA di colore avana, presenti frequenti tratti cementati (Macco)
- e SABBIA CON LIMO di colore avana

2.3 IDROGEOLOGIA

L'area in oggetto appartiene al Gruppo idrogeologico dei Colli Albani, caratterizzato dalla presenza di litotipi costituiti prevalentemente da prodotti piroclastici indifferenziati.

La zona in studio ricade nel bacino idrografico della zona litoranea tra il fosso dell'Incastro ed il fosso Loricina (INC-LOR) (Figura 3).



Figura 3: Bacino idrografico della zona litoranea tra il fosso dell'Incastro ed il fosso Loricina

Tale bacino ha una forma grossomodo triangolare con una superficie complessiva di 92.78 kmq, la sua altitudine media è di circa 46 - 47 m s.l.m., non è presente nessuna asta



principale, ma svariate aste secondarie tutte dirette a sud-ovest verso il Mar Tirreno. La parte settentrionale del bacino è costituito da terreni vulcanici dei Colli Albani, mentre nel resto del bacino affiorano depositi sabbiosi a luoghi cementati.

Per quanto riguarda la permeabilità, nell'area in oggetto, i terreni vulcanici sono nel complesso mediamente permeabili per porosità mentre i depositi sabbiosi presentano una buona permeabilità.

Il deflusso delle acque sotterranee è orientata verso il Mar Tirreno in direzione SW e SSW.

Nel settore in studio la falda idrica principale, collegata direttamente al pelo libero del mare, è ben ricaricata dal complesso delle vulcaniti dei Colli Albani (Figura 4).

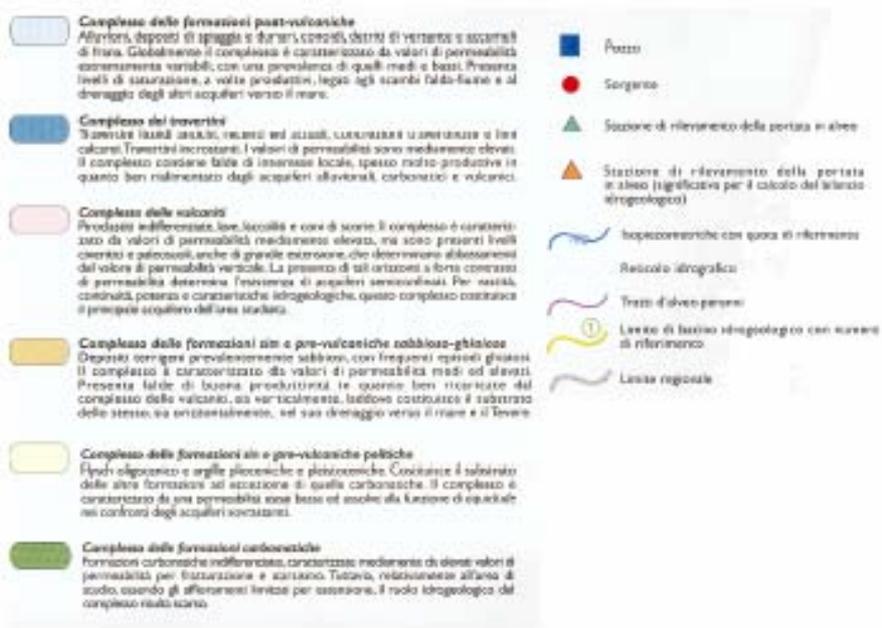
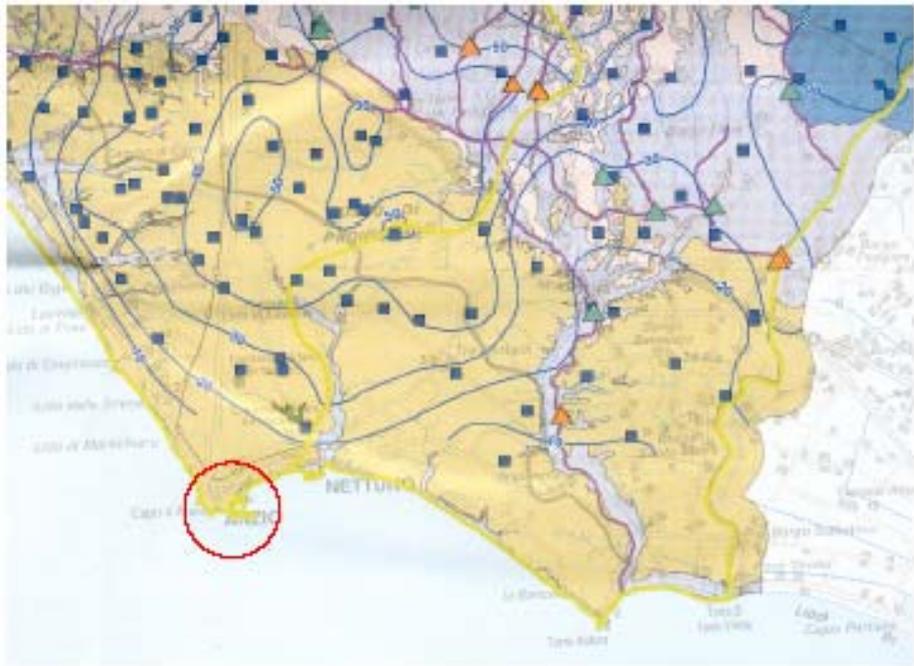


Figura 4: Idrogeologia dell'area in esame (da Capelli G. & Mazza R. , 2005)

L'area in esame è caratterizzata da un clima tipicamente mediterraneo con temperature mediamente più basse all'inizio e alla fine dell'anno e valori più elevati durante i mesi

estivi. Anche le precipitazioni seguono uno schema di distribuzione stagionale caratterizzato da apporti minimi in estate e mediamente più abbondanti nei mesi autunnali.

Nel dettaglio i dati di seguito riportati sono relativi alla stazione pluviometrica di Anzio nel periodo compreso tra il 1951 e il 2006.

Tabella 1: Valori medi delle precipitazioni mensili 1951 - 2006

localt	PRECIPITAZIONI (mm)											
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Anzio	61.2	53.7	50.8	50.1	27.0	14.7	9.8	23.7	58.4	79.0	97.3	83.5

La temperatura media annua è compresa tra 4,1 e 28,9°

2.4 SISMICITÀ

Dall'analisi delle osservazioni disponibili presso l'Istituto Nazionale di Geofisica, andando a consultare la sismicità storica del territorio nazionale è possibile constatare che nel passato la zona di mare antistante Anzio ha subito il 22 Ottobre 1919 un terremoto di magnitudo 5,4 della scala Richter, raggiungendo un'intensità massima (MCS) pari al VII grado.

I cataloghi sismici indicano, inoltre, che tutti gli altri eventi sismici avvenuti nella zona (con intensità inferiori al VII grado registrato nel 1919), sono dovuti al risentimento di terremoti originatisi nell'apparato vulcanico dei Colli Albani (1892, 1895, 1899, 1901 e 1927) o, ancora più lontano, nella catena appenninica (Reatino del 1902, Avezzano del 1915). È proprio lungo tale catena che si sviluppano i terremoti tra i più forti e catastrofici dell'intera penisola italiana, legati a un contesto regionale sismotettonico che consente l'accumulo e il rilascio improvviso di elevati livelli energetici.

Differente è la situazione del settore costiero laziale, dove un diverso regime tettonico, associato a particolari caratteristiche litologiche, consente minori accumuli di energia di deformazione e di conseguenza lo sviluppo di terremoti a minore magnitudo.

Negli ultimi anni, l'evento sismico più importante è stato quello del 22 agosto 2005 con



epicentro localizzato in mare, circa 5 miglia a largo della città di Anzio, e, sulla base dei dati strumentali, è stata stimata una magnitudo (scala Richter) di 4,5 e una profondità ipocentrale pari a 30 km; tale evento è stato generato dall'attivazione di una faglia che ha prodotto una lacerazione della crosta terrestre lunga 1 - 2 km e uno spostamento orizzontale della stessa faglia ampio alcuni centimetri. Alla scossa principale sono seguite solo due micro-scosse, la più forte delle quali è avvenuta il 23 Agosto con una magnitudo pari a 2,1.

2.4.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA

Dal punto di vista normativo, il Comune di Anzio, come gran parte del territorio costiero laziale, fino al marzo del 2003 non era classificato e pertanto non rispondeva alla vigente normativa per le costruzioni in zona sismica.

L'ordinanza n. 3274 del 20-3-2003 e le nuove norme tecniche per la costruzione **NTC del D.M. del 14 gennaio 2008** stabiliscono che i primi 30 m di terreno al di sotto del piano di posa delle fondazioni vengano classificati in base alla velocità di propagazione delle onde di taglio V_s secondo categorie come riporta la seguente Tabella 2:

Tabella 2 Categorie di suolo di fondazione in ottica sismica (V_{S30})

Suolo di fondazione	V_{S30}	$N_{spt} - C_u$
A Formazione litoide o suoli rigidi	> 800 m/sec	
B Sabbie o ghiaie addensate, argille molto consistenti	>360 m/sec <800 m/sec	$N_{spt} > 50$ $C_u > 250$ kPa
C Sabbie e ghiaie mediamente addensate, argille mediamente consistenti	>180 m/sec <360 m/sec	$15 < N_{spt} < 50$ $70 < C_u < 250$ kPa
D Terreni granulari sciolti, terreni coesivi da poco a mediamente consistenti	<180 m/sec	$N_{spt} < 15$ $C_u < 70$ kPa
E Strati superficiali alluvionali (5-20 m) su substrato rigido	<360 m/sec	
S1 Terreni costituiti o che includono uno strato di argille > 10 m, $PI > 40$	<100 m/sec	$C_u < 20$ kPa
S2 Terreni soggetti a liquefazione, argille sensibili, terreni non classificati in precedenza		

Il terreno presente nell'area in oggetto, in mancanza di specifiche prove sismiche sperimentali, può essere ragionevolmente riferito alla categoria **C**.

Nel dettaglio, ai fini della stessa normativa, per ogni sito si dovranno fornire i parametri sismici necessari per la determinazione delle azioni sismiche, quali:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale;
- T^*_C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

A tale proposito, i valori a_g , F_o , e T_c^* sono stati calcolati, per il sito in esame, tramite il modello di calcolo indicato dal Ministero dei Lavori Pubblici. L'elaborazione (riportata in Figura 5) ha dato i seguenti risultati (per il calcolo agli stati limite ultimi):

$$a_g = 0.164 \text{ g}$$

$$F_o = 2.647$$

$$T_c^* = 0.323 \text{ sec}$$

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_R

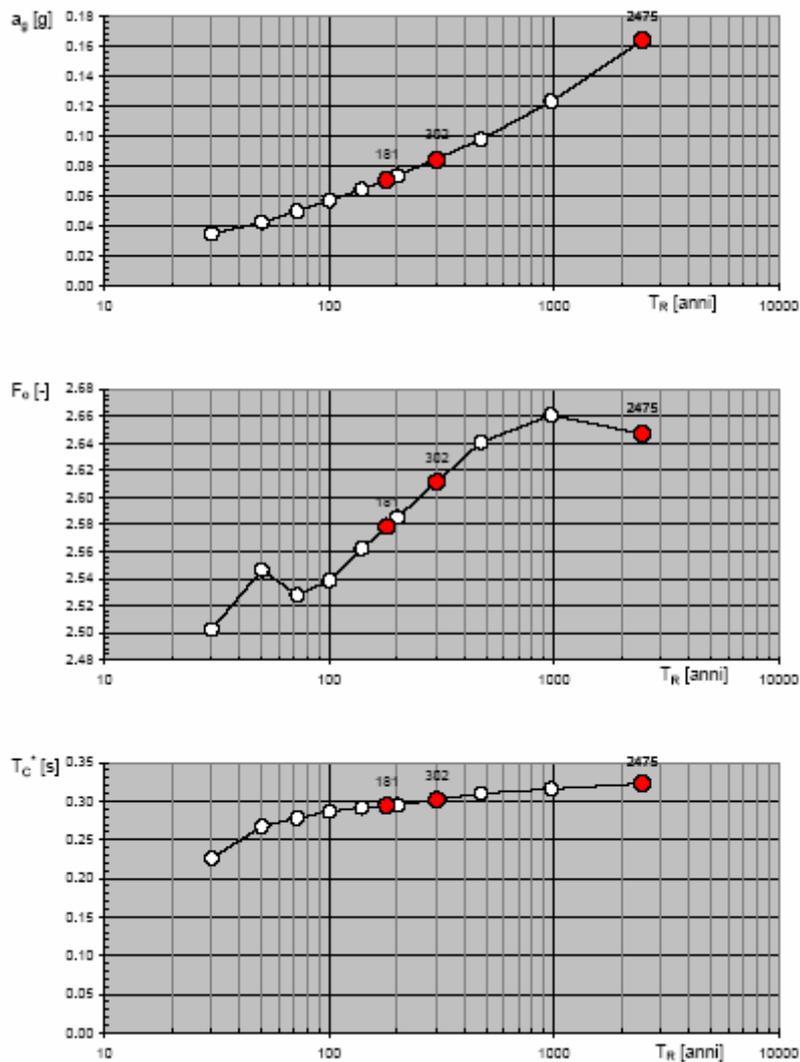


Figura 5: parametri sismici in funzione degli stati limite di calcolo ricavati secondo le NTC 14/01/2008



3 CAMPAGNE DI INDAGINE

Al fine di caratterizzare il sito a livello stratigrafico e litologico/meccanico la già citata campagna di indagini è consistita in:

- realizzazione di numero tre sondaggi a carotaggio continuo nelle zone di terra ferma spinti a profondità massime di 25 m dal p.c. (sondaggi denominati ST da 1 a 3 come ubicati in Figura 6);
- esecuzione, nei predetti sondaggi a terra ST, di numero dodici prove penetrometriche SPT (standard penetration test) e prelievo di numero sei campioni indisturbati e numero un campione rimaneggiato;
- realizzazione di numero tre sondaggi a carotaggio continuo a mare spinti a profondità massime di 18 m dal p.c. (sondaggi denominati SM da 5 a 7) ubicati come in Figura 6;
- esecuzione, nei predetti sondaggi a mare SM, di numero sei prove penetrometriche SPT e prelievo di numero un campione indisturbato;

A seguito del prelievo dei campioni, su questi sono state condotte una serie di prove di laboratorio, nella fattispecie:

granulometria e caratteristiche fisiche su numero otto campioni;

limiti di Atterberg e classificazione USCS a AASHTO su numero cinque campioni;

prova di taglio diretto su numero sette campioni;

prova di compressione edometrica su numero due campioni.

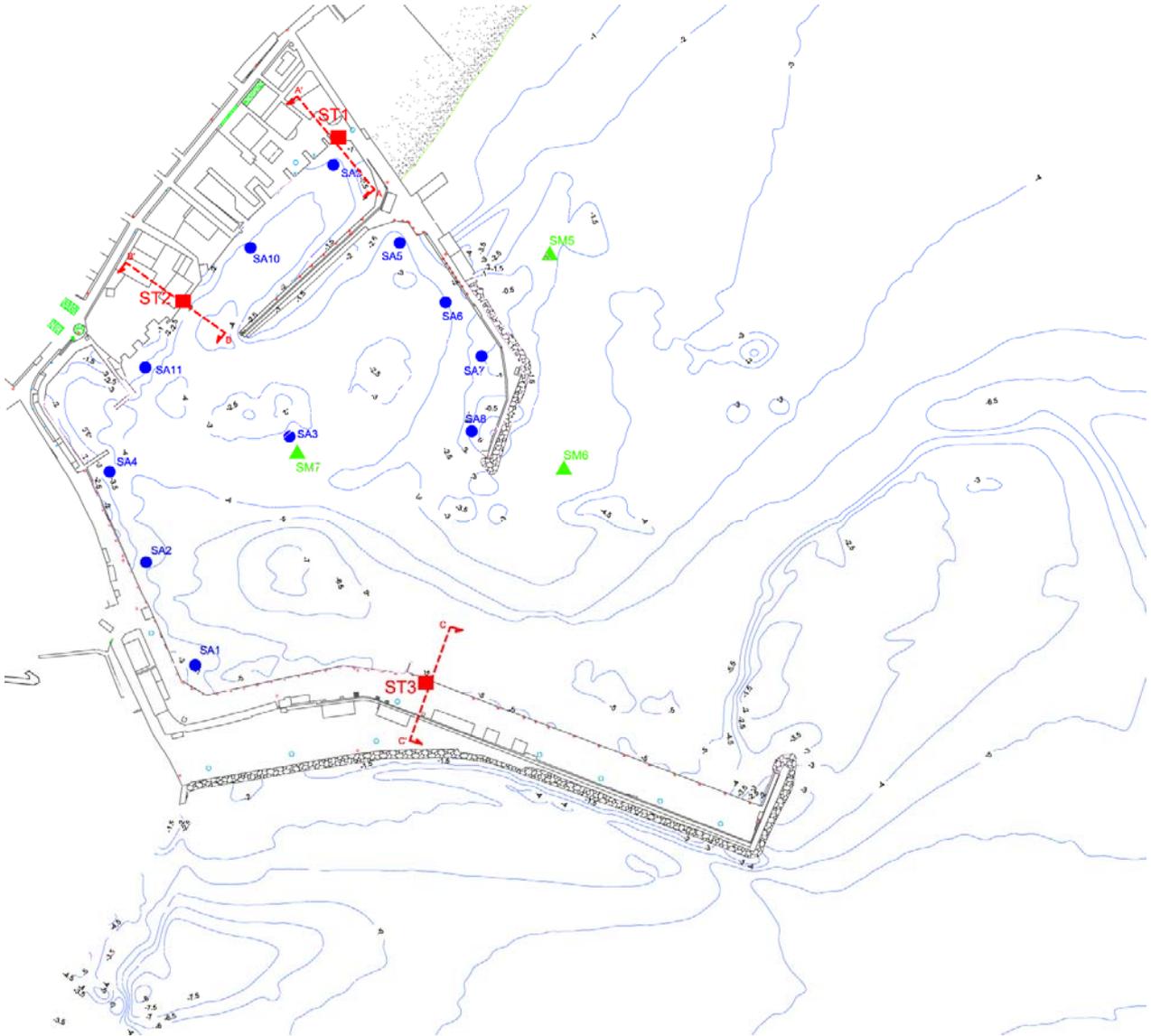


Figura 6: Planimetria con linee batimetriche e ubicazione dei sondaggi geognostici

3.1 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

La Tabella 3 riporta la sintesi delle perforazioni geognostiche effettuate nell'area.

Tabella 3: Quadro sinottico delle attività in situ eseguite

	Sondaggio	Profondità max dal p.c.	Prova Penetrometrica	Campioni
Sondaggi a Terra	ST1	25 m	-5.0m ; -13.5m ; -19.5m	-16m IND. ; -25m IND.
	ST2	25 m	-3.5m ; -6.0m ; -11.5m ; -15.0m	-9.5m RIM. ; -2m IND. -24.5m IND.
	ST3	30 m	-9.0m ; -11.5m ; -16.5m -20.0m ; -23.5m	-19.5m IND. ; -27.5m IND.
Sondaggi a Mare	SM5	5 m	NO	NO
	SM6	15 m	-3.0m ; -6.0m ; -12.0m	NO
	SM7	18 m	-6.0m ; -9.0m ; -12.0m	-17.5 IND.

L'esame delle carote recuperate dai sondaggi ha permesso l'identificazione di intervalli della successione stratigrafica macroscopicamente omogenei (strati), costituiti cioè o da un tipo di terreno predominante o da alternanze più o meno regolari di terreni differenti.

Le stratigrafie hanno evidenziato la sostanziale appartenenza dei terreni alle seguenti tipologie:

- **Materiale di riporto grossolano (corpo banchina esistente) (Unità A);**
- **Sabbie fini limose di colore grigio (Unità B);**
- **Sabbie con limo e argilla di struttura omogenea (Unità C);**
- **Sabbie limose avana e biancastre a tratti cementate (Unità D);**
- **Sabbie limose avana e biancastre (Unità E).**

3.2 PROVE SPT

Nei fori di sondaggio relativi alla campagna di indagini sono state eseguite un totale di numero diciotto prove penetrometriche dinamiche SPT, particolarmente indicate per lo stima indiretta dei parametri di resistenza e deformabilità dei terreni granulari.



A tal fine è necessario applicare una serie di correlazioni operando prima alcune correzioni sul valore ottenuto per il parametro misurato N_{SPT} . In particolare occorre tener conto della marcata influenza su N_{SPT} delle tensioni efficaci agenti localmente, questo effetto può essere compensato introducendo la grandezza N' che rappresenta il numero di colpi relativo alla prova, normalizzato in base alla tensione efficace agente alla profondità di penetrazione σ'_v , secondo la seguente formulazione:

$$N = 10 \cdot N_{SPT} (\sigma'_v)^{-0.5}$$

Sulla base di N' è quindi possibile stimare i parametri di resistenza meccanica ed in particolare l'angolo d'attrito efficace. Nello specifico è stata utilizzata la seguente relazione (Shioi e Fukuni, 1982):

$$\varphi' = 15 + \sqrt{15N}$$

Per quanto riguarda la determinazione delle caratteristiche di deformabilità è stata utilizzata una correlazione desunta da prove pressiometriche secondo la quale il modulo di deformazione può essere determinato dalla relazione (Tornaghi, 1983):

$$E = 7\sqrt{N} \quad (\text{MPa})$$

L'interpretazione dei dati delle prove condotte ha dato i risultati riportati in Tabella 4:

Tabella 4: Valori dei parametri meccanici ricavati dalle prove SPT

Unità litologica	Id. Sondaggio	Profondità dal p.c.	N _{SPT}	N'	φ'	E (MPa)
Unità B	ST2	-3.5 m	4	8	26°	19
	ST3	-9.0 m	7	8	26°	20
	ST3	-11.5 m	13	14	29°	26
	SM6	-3.0 m	6	12	29°	24
	SM6	-6.0 m	11	16	30°	28
	SM6	-12.0 m	21	21	33°	32
Unità C	ST1	-19.5 m	27	22	33°	33
	ST3	-20.0 m	31	25	34°	35
	ST3	-23.5 m	20	15	30°	27
Unità D	ST1	-5.0 m	35 (*)	55 (*)	44° (*)	52 (*)
	ST2	-6.0 m	RIFIUTO (*)	-	-	-
	ST2	-11.5 m	21	22	33°	33
	ST2	-15.0 m	22	20	32°	31
	SM7	-6.0 m	16	23	34°	34
	SM7	-9.0 m	23	27	35°	36
	SM7	-12.0 m	23	23	34°	34
	SM7	-13.5 m	32	31	36°	39

(*) probabile livello cementato

In via qualitativa si può apprezzare la relativa uniformità dei valori registrati dalla prova SPT nelle differenti unità geomeccaniche, tra le quali si differenzia in particolar modo l'unità B, costituita dalle sabbie fini limose più superficiali, che mostra una scarsa resistenza alla penetrazione, indice di un probabile stato di scarso addensamento. Allo stesso modo la prova evidenzia la relativa compattezza degli orizzonti sabbiosi più profondi (Unità C e D); per quest'ultima, poi, la cospicua resistenza all'avanzamento riscontrata a tratti è un buon riscontro alla presenza di livelli cementati.

3.3 PROVE DI LABORATORIO

3.3.1 DETERMINAZIONI FISICHE E PROVE DI TAGLIO DIRETTO

Dei complessivi otto campioni che si è potuto prelevare durante le operazioni di sondaggio, sette sono tutti rappresentativi dell'unità geomeccanica C, costituita dalle sabbie con limo e argilla; ciò è dovuto alla sostanziale impossibilità di prelevare campioni dagli altri orizzonti, per i quali la scarsità di frazione fine ha impedito che il contenuto della fustella campionatrice potesse essere recuperato intatto. L'unico campione prelevato nelle sabbie dell'unità D è stato considerato utilizzabile per le sole determinazioni fisiche.

In Tabella 5 si riporta un quadro riassuntivo delle attività svolte in laboratorio.

Tabella 5: Quadro sinottico delle attività di laboratorio.

ID	Profondità di prelievo	Unità geomeccanica	Caratteristiche Fisiche	Taglio Diretto	Edometrica
ST1 – CI1	- 16.5 ÷ -17.0 m	Unità C	SI	SI	NO
ST1 – CI2	- 22.5 ÷ -23.0 m	Unità C	SI	SI	SI
ST2 – CI1	-21.0 ÷ -21.5 m	Unità C	SI	SI	NO
ST2 – CI2	- 24.5 ÷ -25.0 m	Unità C	SI	SI	NO
ST2 – CR1 (*)	-9.5 ÷ -11.0 m	Unità D	SI	NO	NO
ST3 – CI1	-19.5 ÷ -20.0 m	Unità C	SI	SI	NO
ST3 – CI2	- 27.5 ÷ -28.0 m	Unità C	SI	SI	SI
SM7 – C1	-17.5 ÷ -18.0 m	Unità C	SI	SI	NO

A partire dai dati ricavati dalle prove di laboratorio è stato possibile riassumere tutte le grandezze ricavate ed estrapolarne altre al fine di individuare una serie di parametri caratteristici delle singole unità litologiche, che sono stati riassunti in Tabella 6 e Tabella 7 che si riportano nel seguito.

Tabella 6: Quadro sinottico dei valori delle proprietà indice dei campioni di laboratorio

ID	Profondità di prelievo	Unità geomeccanica	Granulometria				Classifica AASHTO / USCS
			G%	S%	L%	A%	
ST1 – CI1	- 16.5 ÷ -17.0 m	Unità C	0.4	56.1	23.5	20.0	-
ST1 – CI2	- 22.5 ÷ -23.0 m	Unità C	0.3	45.1	28.1	26.5	A6 / CL
ST2 – CI1	-21.0 ÷ -21.5 m	Unità C	0.2	44.8	31.5	23.5	A4 / ML-OL
ST2 – CI2	- 24.5 ÷ -25.0 m	Unità C	0.3	28.7	36.5	34.5	A4 / CL
ST2 – CR1 (*)	-9.5 ÷ -11.0 m	Unità D	0.0	47.5	28.5	24.0	-
ST3 – CI1	-19.5 ÷ -20.0 m	Unità C	0.4	52.1	31.5	16.0	-
ST3 – CI2	- 27.5 ÷ -28.0 m	Unità C	0.0	41.2	31.3	27.5	A6 / CL
SM7 – C1	-17.5 ÷ -18.0 m	Unità C	0.0	36.2	32.3	31.5	A4 / CL-ML

Tabella 7: Quadro sinottico dei parametri meccanici desunti dalle prove di taglio diretto

ID	Profondità di prelievo	Unità geomeccanica	Peso per unità di volume γ (kN/mc)	Angolo d'attrito efficace ϕ'	Coesione efficace c' (kPa)
ST1 – CI1	- 16.5 ÷ -17.0 m	Unità C	18.1	33°	14
ST1 – CI2	- 22.5 ÷ -23.0 m	Unità C	18.2	31°	10
ST2 – CI1	-21.0 ÷ -21.5 m	Unità C	17.8	31°	24
ST2 – CI2	- 24.5 ÷ -25.0 m	Unità C	19.2	26°	29
ST3 – CI1	-19.5 ÷ -20.0 m	Unità C	18.8	30°	5
ST3 – CI2	- 27.5 ÷ -28.0 m	Unità C	19.1	28°	40
SM7 – C1	-17.5 ÷ -18.0 m	Unità C	19.1	29°	20

I risultati delle determinazioni fisiche e delle prove meccaniche svolte sui campioni dell'unità geomeccanica C possono far scaturire alcune considerazioni qualitative circa la natura ed il comportamento meccanico del materiale.

I campioni possono venire ascritti alle "Terre limose" secondo la classifica AASHTO, avendo una componente fine (limosa e argillosa) sempre superiore al 35%, tale frazione fine, tuttavia, presenta una scarsa plasticità e non mostra segni di presenza di componente organica.

Il comportamento meccanico, in particolare la resistenza al taglio, appare influenzato dalla presenza dei limi e delle argille: nei campioni in cui questi termini sono maggiori si nota una maggiore componente di resistenza coesiva (superiore a 15 kPa) e



contemporaneo lieve decremento dell'attrito interno ($\varphi' < 30^\circ$) . Analogamente le prove effettuate sui campioni con maggiore frazione sabbiosa hanno mostrato minore resistenza in termini di coesione ($c' < 15$ kPa) ma angoli di attrito tipici di un materiale granulare ($\varphi' \geq 30^\circ$).

3.3.2 PROVE EDOMETRICHE

La prova edometrica consiste essenzialmente nell'applicazione di un carico ad un provino di terreno impedendone l'espansione laterale e verificando il fenomeno di consolidazione così indotto nel campione di terreno. Il punto di forza della prova consiste, oltre che nella semplicità realizzativa, nel fatto che le modalità di carico e le condizioni al contorno rispecchiano ciò che accade al terreno nella sua situazione "naturale" : sottoposto a carico assiale ed impossibilitato ad espandere lateralmente.

La grandezza di maggiore interesse, nel caso specifico, deducibile dalle prove edometriche è il modulo di deformazione edometrico E_d , ovvero in assenza di deformazioni laterali. Questa grandezza è il rapporto tra incremento di carico imposto e relativa deformazione misurata nell'ambito della prova. La risposta del terreno, in termini di deformazione, è notoriamente dipendente dall'entità del carico applicato, il modulo edometrico sarà quindi variabile in relazione alla pressione esercitata.

Per le prove in esame l'andamento di E_d in relazione alla tensione verticale applicata è riportato nei grafici di Figura 7 e Figura 8, nelle quali è inoltre evidenziato il valore del modulo estrapolato per la tensione verticale agente alla profondità di prelievo del campione.

In base ai risultati si può determinare che, alle profondità individuate dai sondaggi per l'unità geomeccanica C, considerate le tensioni efficace ivi agenti, il valore del modulo "di calcolo" , ai fini della stima del comportamento tenso-deformativo del terreno, è nell'ordine dei 20 MPa.

ST2 - CI2 Profondità di prelievo -24.5m

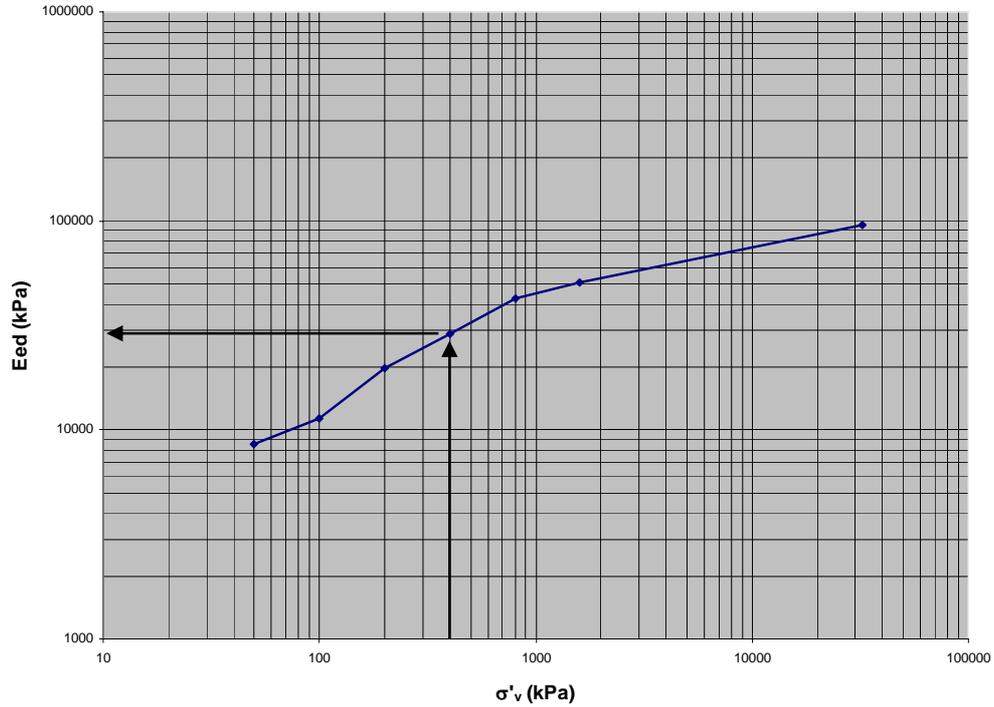


Figura 7: andamento $E_d - \sigma'_v$ campione CI2 sondaggio ST2

ST3 - CI2 Profondità di prelievo -27.5m

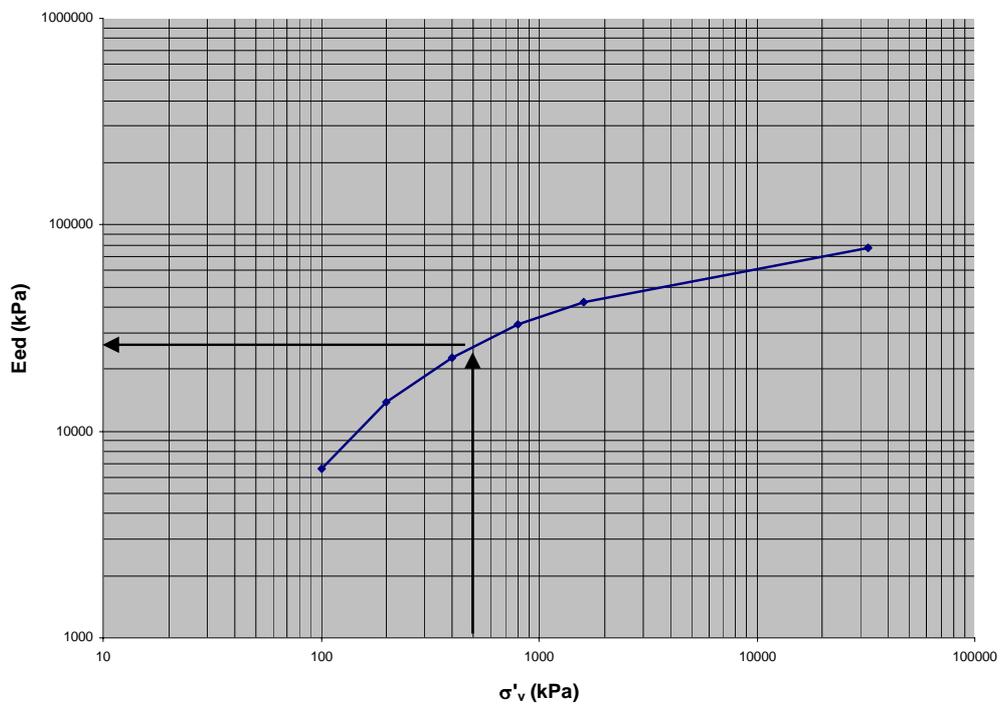


Figura 8: andamento $E_d - \sigma'_v$ campione CI2 sondaggio ST3



4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La seguente caratterizzazione geotecnica è stata basata sui dati a disposizione; benché tali risultanze si ritengano sufficienti per la caratterizzazione dei terreni di sedime, si ritiene che il completamento della campagna di indagine possa fornire ulteriori ed utili approfondimenti sulla disposizione dei contatti stratigrafici e sulle alternanze litologiche, con particolare riferimento alla zona del nuovo porto commerciale, situata esternamente all'attuale diga foranea sud, per la quale non è stato ancora possibile effettuare le previste prove in sito, a causa delle estreme condizioni di lavoro per le attrezzature di sondaggio a mare. Alla luce di ciò, in questa fase, le elaborazioni relative alla nuova diga foranea ed alle relative banchine dello scalo commerciale sono state condotte interpolando i dati a disposizione, ci si riserva, quindi, di integrare e raffinare il presente studio a valle della realizzazione delle indagini previste.

4.1 UNITÀ LITOLOGICHE

Secondo quanto evidenziato dalla campagna di indagine, i cui risultati sono stati illustrati in sintesi ai punti precedenti, la zona in esame è caratterizzata da una stratigrafia che vede la successione piuttosto regolare dei seguenti orizzonti:

- materiale a grana grossa, prevalentemente ciottolame, costituente le attuali banchine, messo in posto per formare le strutture del porto e presente solo in corrispondenza di queste, dal fondo marino fino ad emergere, definito unità geomeccanica A; per tale unità la caratterizzazione si baserà solo su dati di letteratura (affidabili data l'uniformità del materiale; peraltro questa unità rientra solo parzialmente nelle procedure di dimensionamento e verifica delle opere);
- strati superficiali di spessore assai variabile (e verosimilmente assente in alcune zone) di sabbie sciolte, di colore grigio, a tratti con resti di organismi marini, di probabile riporto o deposizione recente, definito convenzionalmente come unità geomeccanica B;
- orizzonti sabbiosi con presenza di fine costantemente superiore al 35%, di colore grigio, generalmente riportata come substrato dei sondaggi più profondi, risulta l'unico deposito campionabile poichè dotato di coesione intrinseca, denominato

unità geomeccanica C;

- strati di sabbie limose avana e biancastri, quasi sempre intercalati all'unità C, localmente cementati in livelli centimetrici e pluricentimetrici generalmente piuttosto addensati, definiti unità geomeccanica D;
- sabbie limose avana, simili per litologia e stato fisico alla precedente unità, ma prive di cementazione, denominate unità geomeccanica E.

Va premesso che, da un punto di vista geomeccanico, anche alla luce dell'assenza di specifiche indagini di dettaglio, le unità geomeccaniche D e E vengono accomunate, assegnando loro le stesse caratteristiche di resistenza. Ciò può essere considerato a favore di sicurezza, dato che, nella definizione dei parametri meccanici, si è trascurato l'effetto della cementazione. Sono stati quindi considerati entrambi i materiali come privi di coesione.

4.2 CLASSIFICAZIONE SEDIMENTOLOGICA

Dall'esame delle granulometria eseguite su 8 campione mediante sedimentazione e setacciatura emergono i seguenti dati.

La descrizione granulometria, definita sulla base della nomenclatura A.G.I. 1963, è la seguente:

n° campione di laboratorio	Descrizione granulometrica
4871	Sabbia con limo ed argilla
4774	Sabbia limoso-argillosa
4775	Sabbia con limo ed argilla
4776	Sabbia con limo argillosa
4777	Limo con argilla e sabbia
4778	Sabbia con limo argillosa
4783	Sabbia con limo argillosa
4784	Sabbia con limo argillosa



E' inoltre possibile definire, sulla base dei passanti al 10, 30, 50 e 60 % della curva cumulativa i seguenti parametri statistici.

$U = D_{60} / D_{10}$ coefficiente di uniformità

$C = D_{30}^2 / D_{60} \times D_{10}$ coefficiente di curvatura

$M_{df} = D_{50}$ Mediana

Per i campioni in studio emergono i seguenti dati:

ID campione	4871	4774	4775	4776	4777	4778	4783	4784
D₆₀	0.042	0.15	0.07	0.075	0.032	0.085	0.08	0.05
D₁₀	0.0001	0.001	0.0001	0.001	0.0001	0.0001	0.002	0.0001
D₃₀	0.004	0.015	0.007	0.009	0.0035	0.01	0.015	0.0065
D₅₀	0.022	0.09	0.04	0.035	0.015	0.042	0.06	0.032

Da ciò discendono i seguenti valori statistici per ciascuna curva:

ID campione	4871	4774	4775	4776	4777	4778	4783	4784
U	420	150	700	750	32	566	40	50
C	3.8	5.3	7	1.1	3.8	7.8	1.4	8.4
M_{df}	0.022	0.09	0.04	0.035	0.015	0.042	0.06	0.032

Dai dati della tabella emerge in genere un elevato assortimento della frazione granulometrica.

4.3 PARAMETRI MECCANICI

4.3.1 ANGOLO D'ATTRITO INTERNO

Per quel che concerne i valori degli angoli d'attrito, nella Tabella 8 viene riportato il quadro sinottico dei valori desunti dalle differenti prove effettuate, in situ e di laboratorio.

Tabella 8: Quadro sinottico dei valori dell'angolo d'attrito dedotti dalle differenti prove per le unità geomeccaniche in esame

Unità geomeccanica	Prova SPT	Prova di taglio diretto
Unità B	26° ÷ 33°	-
Unità C	30° ÷ 34°	26° ÷ 30°
Unità D / Unità E	32° ÷ 36° (*)	-

(*) sono escluse le prove che forniscono valori fuori scala relative ai livelli cementati

Si può notare come i valori forniti siano crescenti a partire dalla unità B fino alla D, ciò è direttamente rappresentativo dello stato di addensamento dei depositi e marginalmente riflette la presenza di frazioni fini.

Va notata anche la differenza tra i valori dedotti dalla prova SPT e quelli estrapolati dalle prove di taglio diretto per l'unità C. La differenza può essere imputata alla presenza di frazioni fini; queste ultime, fornendo un apporto coesivo alla resistenza meccanica del materiale, "falsano" i risultati delle prove penetrometriche, provocando un innalzamento del numero di colpi necessario all'avanzamento della punta. Questa maggiore resistenza si traduce in un maggiore valore, fittizio, dell'angolo d'attrito dedotto dalla prova.

Alla luce di queste considerazioni circa le prove, in questa sede, cautelativamente, si adotta un angolo di attrito di 28° per l'unità B, rappresentativo dello scarso grado di addensamento del materiale, considerato a comportamento meccanico puramente attritivo.

Per l'unità C si può considerare un valore di ϕ' pari a 30° tenendo conto anche di una certa coesione, fornita dalle frazioni fini, per la stima della quale si rimanda al punto successivo.

Infine per l'unità D si propone un modello di resistenza puramente attritivo, trascurando eventuali contributi dei livelli cementati, come già illustrato, a favore di sicurezza. Con ciò si stima un angolo d'attrito interno di 34°.

4.3.2 COESIONE EFFICACE

Per i valori attribuibili alla coesione efficace, nella Tabella 9 vengono riportati in sintesi i risultati dell'interpretazione delle prove effettuate.

Tabella 9: Quadro sinottico dei valori della coesione efficace stimati dalle differenti prove per le unità geomeccaniche in esame

Unità geomeccanica	Prova SPT	Prova di taglio diretto
Unità B	- (*)	-
Unità C	- (*)	5 ÷ 40 kPa
Unità D / Unità E	- (*)	-

(*) prova non significativa per la stima della coesione efficace

Come già accennato la sola unità geomeccanica che si considera dotata di coesione è la C, per la quale tale grandezza può essere stimata sulla base delle prove di taglio. Si nota una ampia dispersione dei valori dedotti da queste prove, attribuibile, come già illustrato, alla differente frazione di fini contenuta nei vari campioni oggetto di prova.

Stando questa situazione, al fine di rappresentare le capacità di resistenza meccanica dell'unità nel suo complesso, le si attribuisce una coesione relativamente modesta pari a 10 kPa, oltre a 30° di angolo d'attrito già proposti (cfr Figura 9)

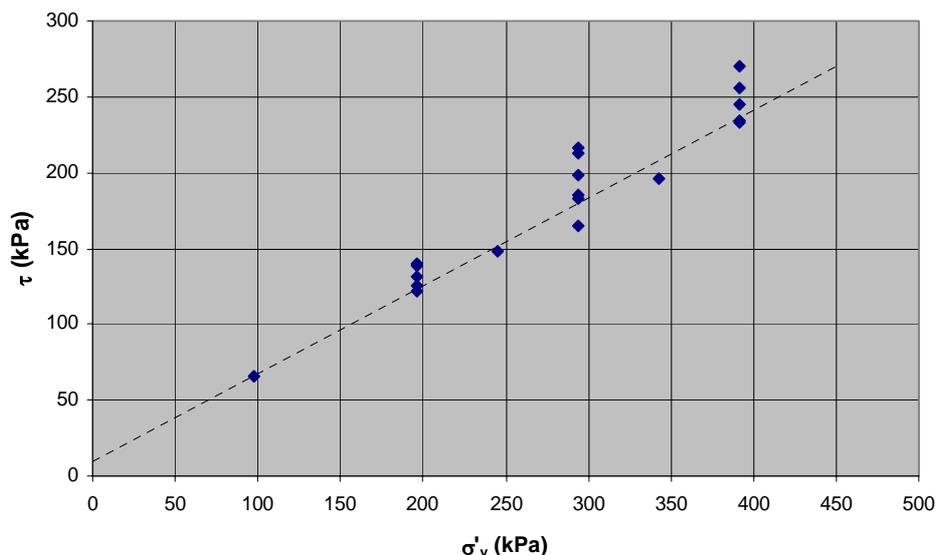


Figura 9: rappresentazione dei dati delle prove di taglio diretto (punti) e del criterio di resistenza adottato (retta tratteggiata $\phi'=30^\circ$ $c'=10$ kPa) sul piano $\sigma - \tau$

4.3.3 MODULO DI DEFORMAZIONE

Si riporta infine (Tabella 10) la stima del modulo di Young, a partire dalle prove condotte.

Tabella 10: Quadro sinottico dei valori del modulo di Young stimati dalle differenti prove per le unità geomeccaniche in esame

Unità geomeccanica	Prova SPT	Prova edometrica
Unità B	19 ÷ 32 MPa	-
Unità C	27 ÷ 33 MPa	20 ÷ 25 MPa (*)
Unità D / Unità E	31 ÷ 39 MPa	-

(*) valori relativi all'intervallo di tensione verticale efficace agenti sullo strato in sito

Le stime del modulo di Young evidenziano una maggiore compressibilità dell'unità B, già individuata come meno addensata e dalle peggiori caratteristiche di resistenza meccanica. Per questo orizzonte si propone un valore del modulo di 25 MPa, all'incirca medio tra quelli forniti dalle prove penetrometriche.

Per l'unità C, oltre alle prove SPT, si hanno anche le prove edometriche; alla luce di queste, e data la presenza consistente di frazioni fini, considerato che le opere più "delicate" andranno realizzate nelle aree dove al substrato si trova questo materiale, si propende cautelativamente per un valore di calcolo di 20 MPa. Tale valore rende conto anche del fatto che il materiale, seppure dalle buone caratteristiche meccaniche complessive, si trova immerso, in questa situazione le tensioni verticali efficaci agenti risultano relativamente basse e così il relativo modulo, si vedano la Figura 7 e la Figura 8.

Per l'unità geomeccanica D / E, infine, si può assegnare un valore di 35 MPa, considerando che comunque dalla Tabella 10 sono stati esclusi i valori di E desunti dalle prove penetrometriche che hanno intercettato livelli cementati. Con ciò ci si mantiene in linea con l'ipotesi cautelativa di non tener conto dell'effetto di locali aggregazioni del deposito.



4.4 PARAMETRI DI PROGETTO

Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche delle unità litologiche presenti, sulla base dei dati riportati e della bibliografia esistente su tali tipi di terreni possono essere utilizzati i seguenti parametri meccanici.

Unità A - Materiale delle banchine (non investigato)

Peso unità di volume	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
Coesione efficace	$c' = 0 \text{ kPa}$
Angolo di attrito efficace	$\varphi' = 38^\circ$
Modulo di Young	$E = 35 \text{ MPa}$

Unità B - Sabbie Limose grigie sciolte

Peso unità di volume	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
Coesione efficace	$c' = 0 \text{ kPa}$
Angolo di attrito efficace	$\varphi' = 28^\circ$
Modulo di Young	$E = 25 \text{ MPa}$

Unità C - Sabbie con Limo Argillose

Peso unità di volume	$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$
Coesione efficace	$c' = 10 \text{ kPa}$
Angolo di attrito efficace	$\varphi' = 30^\circ$
Modulo di Young	$E = 20 \text{ MPa}$

Unità D / E - Sabbie Limose avana

Peso unità di volume	$\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$
Coesione efficace	$c' = 0 \text{ kPa}$
Angolo di attrito efficace	$\varphi' = 34^\circ$
Modulo di Young	$E = 35 \text{ MPa}$

A partire dai valori sopra riportati e con riferimento alla campagna di indagine nel suo complesso (sondaggi e ricostruzione geologica), è possibile costruire un modello concettuale geotecnico dei terreni e delle sezioni stratigrafiche tipo, il tutto funzionale alla progettazione dell'opera in oggetto nelle sue parti strutturali e funzionali.



5 VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE NUOVE BANCHINE

5.1 GENERALITÀ

Le verifiche di stabilità con i metodi dell'equilibrio limite rispondono a requisiti di semplicità e rapidità e sono correntemente impiegate, malgrado le loro limitazioni, nella pratica professionale. Ciascun metodo, tramite una serie di ipotesi semplificative, descrive il sistema statico delle forze agenti sulla potenziale massa instabile; l'imposizione dell'equilibrio della massa stessa fornisce un'equazione finale che permette di determinare il coefficiente di sicurezza come rapporto tra forze o momenti resistenti e mobilitanti.

Alcuni di questi metodi sono risolvibili tramite procedura iterativa, vale a dire creando una routine di calcolo "per tentativi" che facilita l'implementazione su macchina. Le analisi di stabilità che si basano su tali procedure si conducono esaminando un certo numero di possibili superfici di scivolamento per ricercare quella che rappresenta il rapporto minimo tra la resistenza a rottura disponibile e quella effettivamente mobilitata; il valore di questo rapporto costituisce il coefficiente di sicurezza del pendio. Scelta quindi una superficie di rottura si suddivide in conci la parte instabile, si studia dapprima l'equilibrio della singola striscia e poi si passa alla stabilità globale.

Esistono diverse formulazioni ascrivibili a diversi autori per il calcolo e la soluzione di problemi relativi alla stabilità dei pendii tramite metodi dell'equilibrio limite, tutti questi metodi si basano su ipotesi comuni, che sono:

- il coefficiente di sicurezza è definito come il rapporto tra la resistenza al taglio lungo un'ipotetica superficie di scorrimento e lo sforzo di taglio mobilitato lungo la stessa superficie;
- la rottura avviene contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento, per il raggiungimento della resistenza limite;
- il coefficiente di sicurezza è costante in tutti i punti della superficie di scorrimento;
- la resistenza al taglio è espressa dal criterio di Mohr Coulomb.

Nell'utilizzare tali metodi di calcolo si fa sempre riferimento a problemi piani nei quali,

quindi, la superficie di scorrimento è rappresentata da una curva e si trascura ogni effetto dovuto alle sezioni adiacenti. Tali schematizzazioni sono giustificabili se le proprietà meccaniche dei terreni sono omogenee ed isotrope e quando l'estensione lungo la massima pendenza del pendio è predominante sulla dimensione trasversale.

Una volta suddivisa in conci la massa di terreno compresa tra la superficie di scorrimento e la superficie del suolo, si calcolano le forze che agiscono su ciascuna striscia, imponendo le condizioni di equilibrio. L'equilibrio dell'intera massa è dato poi dalla composizione delle forze che agiscono su ciascuna striscia.

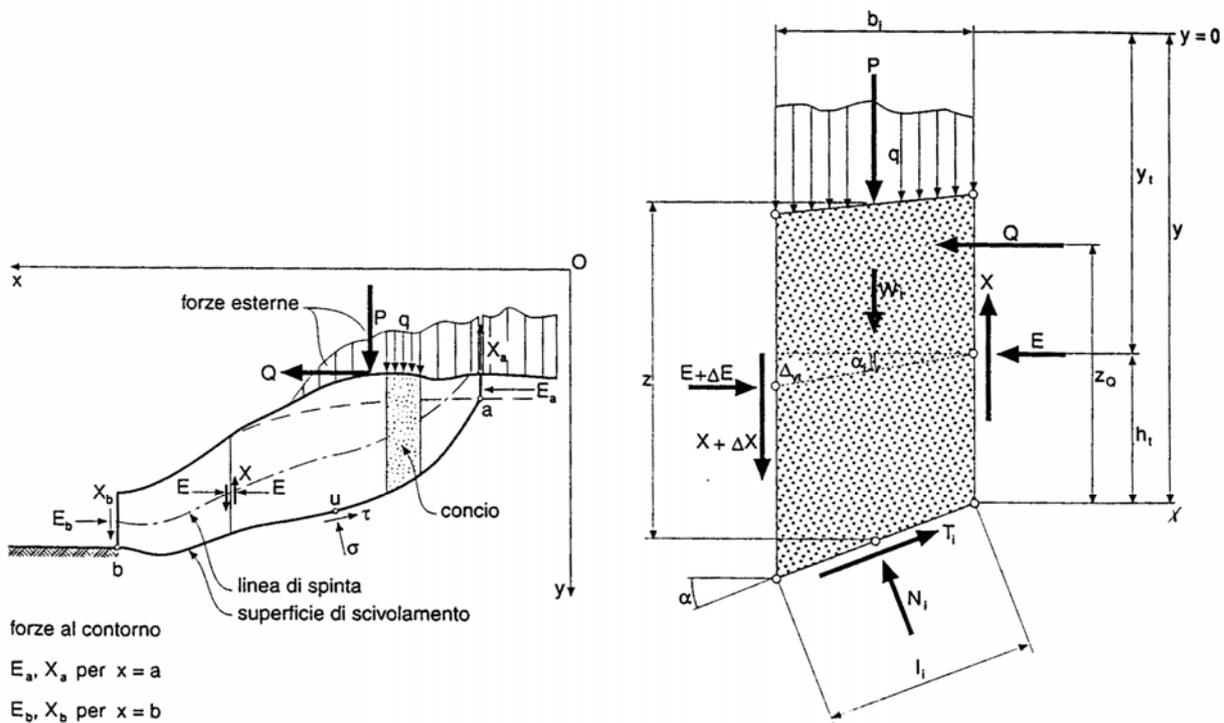


Figura 10: schema statico utilizzato nel metodo delle strisce

Le forze agenti su ciascun concio sono, con riferimento alla figura precedente: il peso W , l'azione tangenziale alla base T , l'azione normale efficace alla base N , la spinta dell'acqua sulla base U , gli sforzi tangenziali X e quelli normali E sulle superfici laterali (forze d'interfaccia).

Le condizioni di equilibrio di ciascun concio sono date dalle tre equazioni della statica, pertanto, ammettendo di suddividere il volume di terreno in esame in n conci, si hanno a



disposizione $3n$ equazioni, mentre le incognite del problema risultano essere $5n-2$ così composte:

- n valori per l'azione delle forze normali efficaci alla base;
- $n-1$ valori per ciascuna delle forze d'interfaccia (X ed E);
- $n-1$ valori per il punto di applicazione delle forze d'interfaccia in direzione orizzontale;
- n valori per il punto di applicazione degli sforzi normali efficaci alla base;
- 1 valore del coefficiente di sicurezza.

Come abbiamo già accennato dal bilancio fra le equazioni disponibili e il numero delle incognite risulta che si hanno $2n-2$ incognite sovrabbondanti e quindi il problema risulta staticamente indeterminato. Per renderlo determinato e trovare la soluzione del sistema di equazioni che descrivono l'equilibrio della massa di terreno potenzialmente instabile, è necessario introdurre alcune ipotesi semplificative che consentono di ridurre il numero delle incognite del problema.

La prima tra tutte, che risulta comune a tutti i metodi, è quella di considerare centrata, la forza agente alla base della striscia, il che è accettabile nel caso in cui i conci siano di larghezza limitata. Le altre ipotesi necessarie per risolvere il sistema di equazioni sono caratteristiche di ciascun metodo; peraltro studi comparativi effettuati per indagare la risposta dei diversi metodi di calcolo, indicano che le differenze in termini di coefficiente di sicurezza mediamente non differiscono tra loro più del 5%.

Il metodo utilizzato in questo ambito è quello di Bishop semplificato e adotta come prima semplificazione l'ipotesi di una superficie di rottura circolare; inoltre considera la risultante delle forze perpendicolari alla superficie laterale del concio equilibrate ($X_i + X_{i+1} = 0$); annullando anche le forze agenti parallelamente alle facce laterali del concio è possibile ottenere un numero d'incognite uguali al numero d'equazioni ($2n$ equazioni in $2n$ incognite). Risolvendo il relativo sistema si ottiene un coefficiente di sicurezza dato dal rapporto tra la risultante dei momenti resistenti e la risultante dei momenti mobilitanti, nella forma:

$$FS = \frac{\sum M_{stab}}{\sum M_{destab}} ;$$

$$FS = \frac{\left[\frac{\sum c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \varphi_i'}{m_\alpha} \right]}{\sum W_i \sin \alpha} ;$$

$$m_\alpha = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \varphi}{F} \right) .$$

L'espressione di FS è non lineare e va risolta tramite processo iterativo. Si assume, quindi, un valore di primo tentativo per FS che viene utilizzato per ricavare un relativo valore di primo di m_α ; questo a sua volta viene inserito nella formulazione di FS ed il valore così calcolato si utilizza per aggiornare il valore di m_α che a sua volta si sostituisce nuovamente nella relazione che da FS. Si procede in tal modo fino a che la differenza fra i valori di FS ricavati in due successive iterazioni è sufficientemente piccola; la convergenza è solitamente rapida ed univoca.

5.2 AZIONI SISMICHE

Le verifiche di stabilità vengono effettuate in condizioni sismiche adottando il metodo pseudostatico e determinando i parametri, come segue, in ottemperanza alle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 18/01/2008).

Nel metodo pseudostatico le forze agenti sulla massa potenzialmente instabile sono costituite, oltre che dal peso proprio del volume dei terreni interessati, come già visto, dalle forze di inerzia dovute all'azione sismica:

$$F_H = \pm k_H W \quad ; \quad F_V = \pm 0,5 F_H$$

essendo F_H ed F_V rispettivamente le risultanti verticale ed orizzontale delle forze d'inerzia applicate al baricentro della massa potenzialmente instabile, e W il peso della massa stessa.

Per la determinazione del coefficiente di intensità sismica si utilizza la formula seguente:

$$k_H = \beta \cdot S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

- S_s è un fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione, dipende dalla natura dei terreni e dal fattore amplificativo dello spettro



dell'accelerazione orizzontale F_0 come già definito al punto 2.4.1; nel caso in esame, dato un terreno di categoria C, si ottiene $S_s = 1.05$;

- a_g è l'accelerazione orizzontale massima sul suolo, dipende dalla zonazione sismica, pari a 0.164 g, come già illustrato al punto 2.4.1;
- β è un fattore riduttivo, funzione di a_g e variabile tra 0.2 e 0.3, nello specifico 0.24.

Inoltre per strutture importanti erette sopra o in vicinanza di pendii con inclinazione $> 15^\circ$ e dislivello superiore a circa 30 m dovrà essere incrementata l'azione sismica di progetto moltiplicandola per un coefficiente di amplificazione topografica S_T . In assenza di studi specifici la normativa raccomanda per S_T i valori seguenti:

$S_T \geq 1,2$ per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati

$S_T \geq 1,4$ per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in cresta molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media $> 30^\circ$, $S_T \geq 1,2$ per siti dello stesso tipo ma pendenza media inferiore.

Non ricadendo in nessuna delle condizioni morfologiche indicate, per le verifiche condotte in questa sede si adatterà $S_T = 1$.

A valle di queste considerazioni si ha che il coefficiente di intensità sismica orizzontale k_h è pari a 0.04 , quello verticale k_v sarà quindi ± 0.02 .

5.3 RISULTATI

Sono state prese in considerazione, per effettuare le verifiche di stabilità, numero nove sezioni di progetto, relative alle differenti tipologie costruttive reperibili in progetto, alle quali sono state assegnate le relative stratigrafie di calcolo, come emerse a valle della campagna di indagine. Per la sezione tipo "O" , data l'estensione, sono state effettuate le verifiche relative sia alla stratigrafia tipo "1" che "2".

I limiti da rispettare per il coefficiente di sicurezza scaturito dalla verifica, sono quelli prescritti dalle NTC del 14/01/08 relativamente allo stato limite ultimo; per la condizione di verifica statica $F_s \geq 1.1$, per la condizione sismica $F_s \geq 1.0$.

Come si può dedurre consultando la Tabella 11, tali condizioni risultano rispettate per tutte



le sezioni oggetto di verifica; si rimanda agli allegati per la consultazione delle uscite grafiche del programma di calcolo.

Tabella 11: Quadro sinottico dei risultati delle verifiche di stabilità

Sezione progettuale	Stratigrafia	Fs sismico	Fs statico
Sez. O	Str. 1	1.537	1.724
Sez. O	Str. 2	1.510	1.698
Sez. I	Str. 2	1.713	1.919
Sez. N1	Str. 1	1.758	2.024
Sez. R	Str. 3	1.302	1.476
Sez. C	Str. 3	1.686	2.014
Sez. G	Str. 2	1.568	1.764
Sez. N	Str. 1	1.818	2.118
Sez. P	Str. 1	1.492	1.657
Sez. Q	Str. 2	1.628	1.840



6 CALCOLO DEI CEDIMENTI DELLE NUOVE OPERE

6.1 GENERALITÀ

Al fine di completare lo studio delle fondazioni, dopo aver analizzato la stabilità del complesso fondazione terreno, è necessario procedere ad analizzarne il comportamento sotto i carichi di esercizio e quindi verificare la sua funzionalità attraverso l'analisi dei cedimenti. La valutazione di questi, in realtà, dipende da vari fattori quali:

- i terreni interessati dall'applicazione del carico;
- a tipologia di fondazione;
- le caratteristiche della struttura in elevazione.

L'analisi complessiva di tutti questi fattori è nota con il termine di "interazione terreno – struttura" ed ha assunto un aspetto molto rilevante durante la fase progettuale. Tuttavia, tale analisi può essere effettuata con diversi obiettivi che dipendono dalla natura dell'opera ed in particolare rispetto alla flessibilità delle opere stesse intese come rigidità della fondazione. Nel caso in esame, trattandosi principalmente di banchine a mare costituite sostanzialmente da opere in terra o da prefabbricati in calcestruzzo giuntati siamo nelle condizioni in cui i terreni e le loro caratteristiche di compressibilità rivestono il fattore principale nel comportamento sotto carico.

In tale sezione si tratterà quindi di formulare una previsione delle deformazioni e degli spostamenti che si osservano nel terreno di fondazione durante e successivamente il termine della costruzione delle opere. Cedimenti consistenti del terreno di fondazione non adeguatamente previsti possono essere causa non solo di sensibili variazioni della quota di imposta di progetto e di fessurazioni nel corpo rilevato, ma possono altresì danneggiare le strutture ad esso collegate.

Lo studio delle diverse banchine è stato eseguito facendo riferimento alle formule analitiche per l'analisi dei cedimenti di rilevati a forma trapezia simmetrica ed a condizioni di carico rettangolare a seconda del caso in esame. Per ogni opera analizzata è stato suddiviso il terreno di imposta in n strati e sono state assegnate ad ognuno di questi le caratteristiche geotecniche proprie ed uno spessore di riferimento. Per ciascuno strato si calcola poi l'incremento di pressione verticale indotto dall'area di carico nello strato

stesso ed il relativo cedimento, il calcolo si estende fino alla profondità per la quale l'incremento di tensione verticale si riduce al 15 % della pressione geostatica efficace agente alla profondità z . oltre tale valore di $\Delta\sigma'_v$, infatti, gli effetti della variazione tensionale possono essere considerati trascurabili. Il calcolo dei cedimenti, effettuato in diversi punti distanti dall'opera e nei pressi della stessa, viene riportato in forma tabellare (Tabella 12) facendo riferimento ai punti evidenziati nella Figura 11 e nella Figura 12 mentre in allegato si riportano gli andamenti del cedimento con la distanza.

Per quel che riguarda le impronte di **carico rettangolari** i punti di misura del cedimento sono: al piede (A = B) ed in mezzeria (C) secondo lo schema riportato in Figura 11.

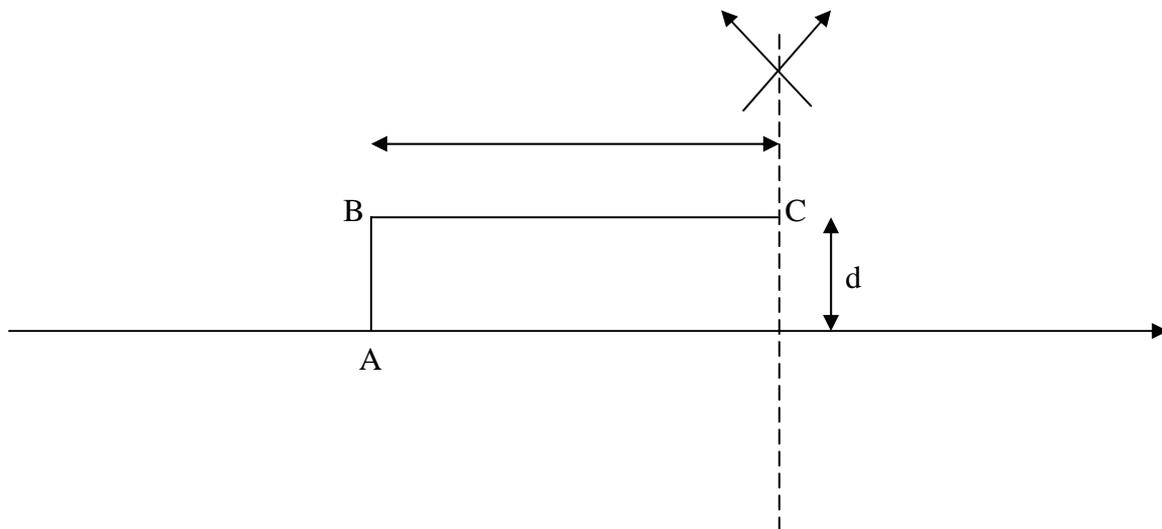


Figura 11: Schema di calcolo per la valutazione dei cedimenti.

Per quel che riguarda le impronte di **carico trapezie** i punti di misura del cedimento sono: al piede (A), sul bordo superiore (B) ed al centro (C), secondo lo schema riportato in Figura 12.

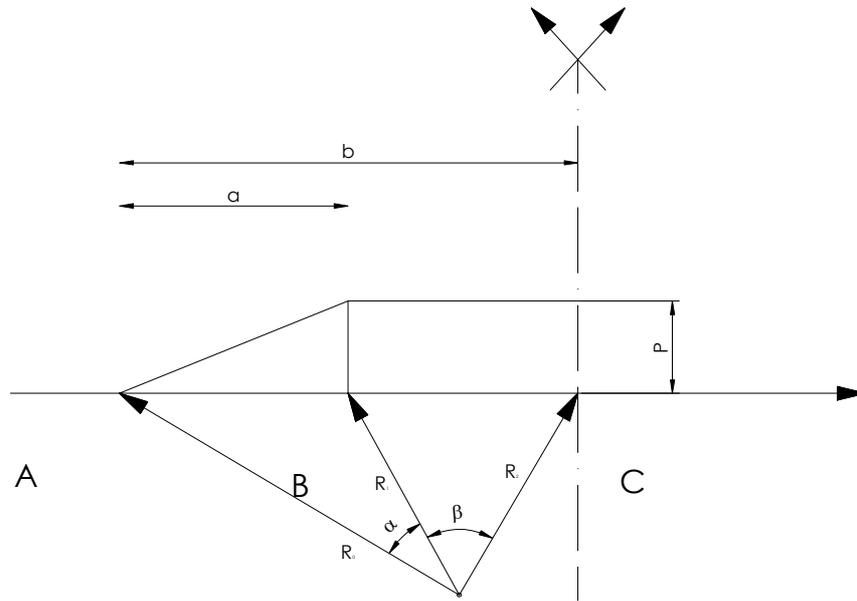


Figura 12: Schema di calcolo per la valutazione dei cedimenti.

Il peso dell'opera è stato calcolato moltiplicando i volumi per i pesi per unità di volume dei materiali effettivamente presenti in quelle aree, considerando inoltre gli effetti dei carichi permanenti e delle strutture eventualmente insistenti.

Il carico P contribuisce all'incremento di pressione verticale secondo la seguente relazione:

$$\sigma_z = \left[\beta + \frac{x\alpha}{a} - \frac{z}{R_2^2}(x-b) \right]$$

ove le grandezze geometriche sono riportate nella Figura 12.

Il calcolo dei cedimenti viene eseguito su gli n strati sommando il cedimento dell'iesimo strato calcolato tramite la relazione che segue:

$$W = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta H_i \Delta \sigma_z}{E_i}$$

ove ΔH e $\Delta \sigma_z$ sono rispettivamente lo strato di terreno caratterizzato dal modulo di deformazione E_i e l'incremento di tensione che interessa lo strato stesso.

I cedimenti calcolati per le diverse sezioni e relativo al punto C sono riportati nella Tabella 12:

Nel caso dell'impronta rettangolare, ove il corpo rilevato ha una forma sostanzialmente rettangolare si fa l'ipotesi di semispazio elastico e carico verticale uniformemente distribuito la σ_z è data dalla formulazione riportata da H.G. Poulos (1974) ed è pari a:

$$\sigma_z = \frac{p}{\pi} [\alpha + \sin \alpha \cdot \cos(\alpha + 2\delta)]$$

con riferimento alla Figura 13.

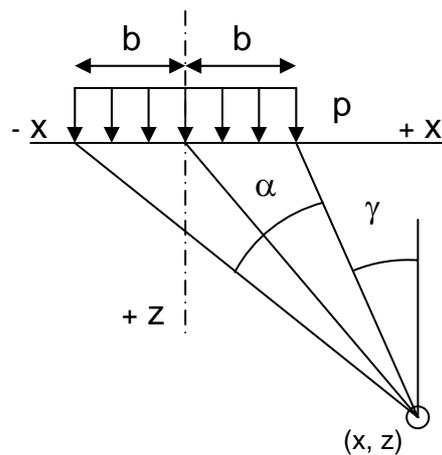


Figura 13: Striscia di carico infinita

6.2 SEZIONI DI CALCOLO

Le sezioni di riferimento sono state scelte in maniera tale che siano rappresentative di tutte le condizioni stratigrafiche e di carico presenti all'interno del progetto, in particolare sono state scelte le seguenti divise per stratigrafia di riferimento:

stratigrafia tipo 1:

sezione O

sezione N1

Stratigrafia tipo 2:

sezione O

sezione I

Stratigrafia tipo 3:

sezione C

sezione R

Nel seguito saranno studiate le caratteristiche delle sezioni e analizzati i rispettivi carichi, i relativi cedimenti indotti sono riportati nel quadro riassuntivo riportato in Tabella 12.

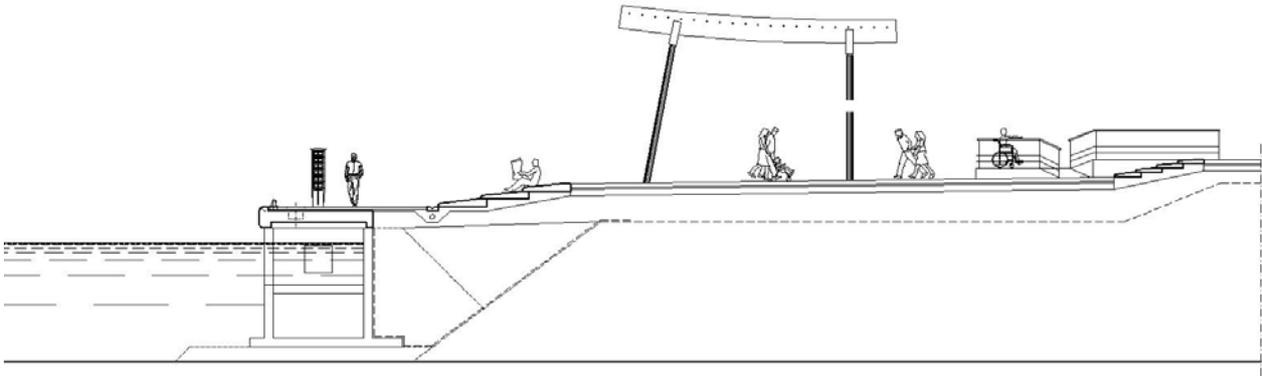


Figura 14: Sezione tipo O

Per quanto riguarda la sezione tipo O (Figura 14), la banchina di riva 'Darsena Pamphili', si tratta di un rinfilo di materiale arido e cassone lato mare per il quale si è adottato lo schema di carico di una striscia indefinita con un carico P dato essenzialmente dal peso del cassone, del materiale di riempimento, dall'acqua interna al cassone e dal sovraccarico di progetto, ottenendo un carico netto sul piano di imposta pari a:

$$P_0 = 270 \text{ kN}$$



Figura 15: Sezione tipo N1

La sezione tipo N è la sezione relativa al molo sottoflutto con larghezza variabile, in questa sede si è fatto riferimento alla massima larghezza disponibile pari a 55 m, per la quale, visto lo sviluppo lineare rispetto all'inclinazione delle scarpate a mare si ipotizza

un'equivalenza con una striscia di carico indefinita ed un valore del carico applicato sul piano di imposta pari a:

$$P_N = 4015 \text{ kN}$$

Agente su di una lunghezza $2b = 55.0 \text{ m}$

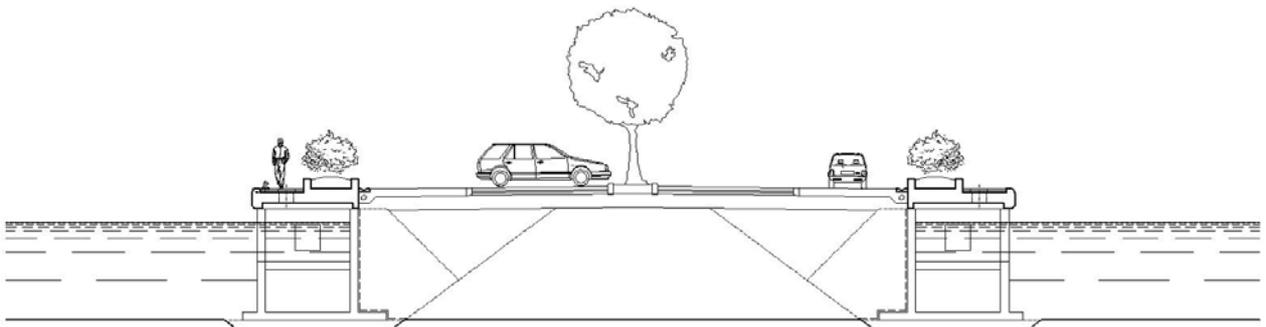


Figura 16: Sezione tipo I

La sezione tipo I relativa al molo di avamposto ha un'impronta di carico del tipo "striscia indefinita" ed agisce per una larghezza pari a circa 27 m per una elevazione pari a circa 4.70 dal fondo marino. considerando i carichi relativi ai terreni, ai cassoni ed ai sovraccarichi stradali agenti (20 kN/mq) si ottiene un valore del carico pari a:

$$P_I = 2824.2 \text{ kN}$$

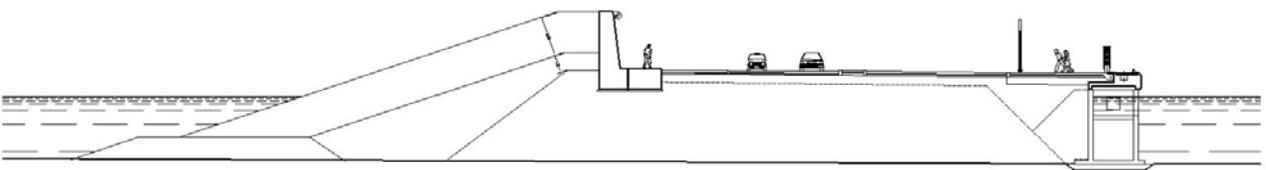


Figura 17: Sezione tipo C

La sezione tipo C relativa al molo sopraflutto ha un'estensione massima di circa 140 m ed una geometria assimilabile ad una striscia di carico trapezia rettangola con parametri:

$$a = 30,0 \text{ m}$$

$$b = 140,0 \text{ m}$$

$P_C = 17230 \text{ kN}$

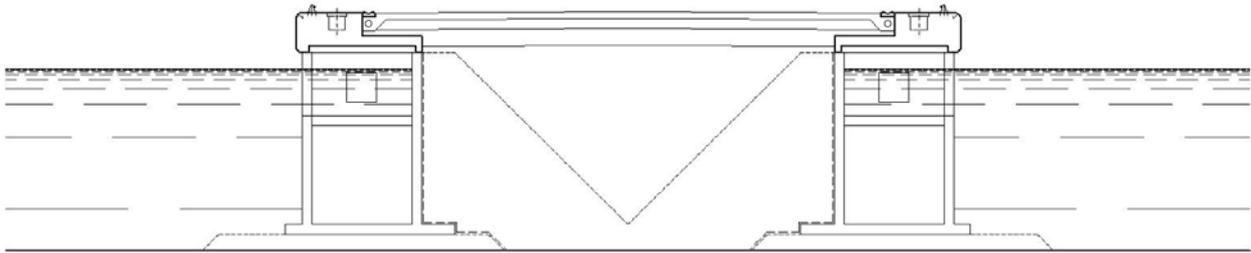


Figura 18: Sezione tipo R

La sezione tipo R relativa allo sporgente di bunkeraggio ha una larghezza pari a 30 m con una sezione stradale utile pari a 22.40 m. si eleva dal fondo marino per circa 7.20 m ed ha una impronta di carico assimilabile ad una striscia indefinita con un carico applicato pari a:

$P_R = 4336 \text{ kN}$

L'analisi dei cedimenti per tali sezioni (considerate le più gravose per tutta l'area di interesse) sono nel seguito riportati, facendo riferimento a quanto accennato per quel che riguarda i punti di misura del cedimento indotto.

Dal punto di vista geotecnico le sezioni stratigrafiche di riferimento sono state determinate facendo riferimento all'area di influenza della singole stratigrafie tipo rimandando, per un'analisi più approfondita, alla relativa sezione della presente relazione di calcolo.

Tabella 12: Cedimenti dei rilevati e delle opere a mare

Sezione/stratigrafia	δA (m)	δB (m)	δC (m)
O / st. 1	0.027	0.027	0.043
N1 / st. 1	0.016	0.016	0.036
O / st. 2	0.036	0.036	0.048
I / st. 2	0.092	0.092	0.134
C / st. 3	0.096	0.333	0.429
R / st. 3	0.167	0.167	0.240



Come riportato nella Tabella 12 il cedimento massimo calcolato è pari a circa 0.4 m valore ottenuto in corrispondenza della sezione tipo C relativa al molo commerciale. È necessario però specificare che, vista la natura dei terreni ed il loro comportamento sostanzialmente drenato, tali cedimenti saranno scontati per la maggior parte durante la fase di costruzione ed il cedimento residuo e l'eventuale decorso di questi nel tempo, sono da considerarsi trascurabili. Ciononostante tale eventuale cedimento è stato tenuto in considerazione al livello progettuale nella definizione delle quote relative ai franchi di sicurezza ed alle condizioni critiche di scavalco.



7 CONCLUSIONI

In considerazione di quanto fin qui riportato è possibile concludere che dal punto di vista geologico l'area risulta idonea alla costruzione ed all'ampliamento delle opere previste dal presente progetto, lo studio sedimentologico non ha rilevato particolari criticità nei confronti dell'imposta delle opere ed i caratteri idrogeologici non ne vengono influenzati.

La caratterizzazione geomeccanica ha evidenziato la presenza di terreni prevalentemente a comportamento drenato costituiti da sabbie, da medie a grossolane, talvolta limose e limi sabbiosi generalmente con buoni stati di addensamento e dalle caratteristiche di deformabilità comprese tra 20 e 35 MPa.

Dal punto di vista geotecnico le opere garantiscono la loro stabilità sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche e l'intervento di ampliamento rispetto alle banchine esistenti non influenza le opere preesistenti. Lo studio dei cedimenti ha evidenziato la possibilità che localmente le subsidenze possono raggiungere dei valori consistenti durante la fase di carico ma si escludono cedimenti dilazionati nel tempo.

Il direttore tecnico

Dott. Ing Quintilio Napoleoni



ALLEGATI



STRATIGRAFIA 1 – SEZIONE TIPO “O”

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati): **2** (-)
 $\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$: **1** (%)
 (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)
 Zw (Profondità della falda): **0,00** (m)

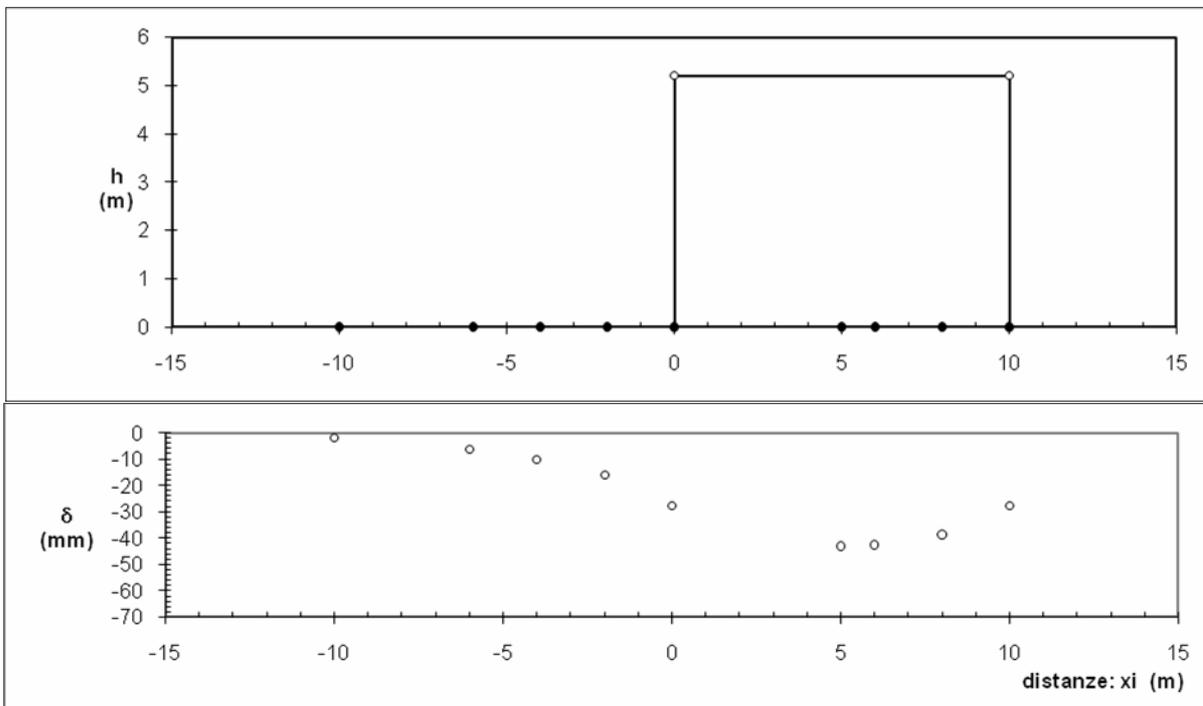
Strato (n)	Ziniziale (m)	Zfinale (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	ν (-)	ϕ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0,00	10,00	10,00	0,5	25,0	0,33	28,0	18,00	sabbia limosa avana chiara (d - e)
2	10,00	20,00	10,00	0,5	20,0	0,33	30,0	19,00	sabbia con limo argillosa (c)

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-10,00	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10

(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI





STRATIGRAFIA 1 – SEZIONE TIPO “N1”

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

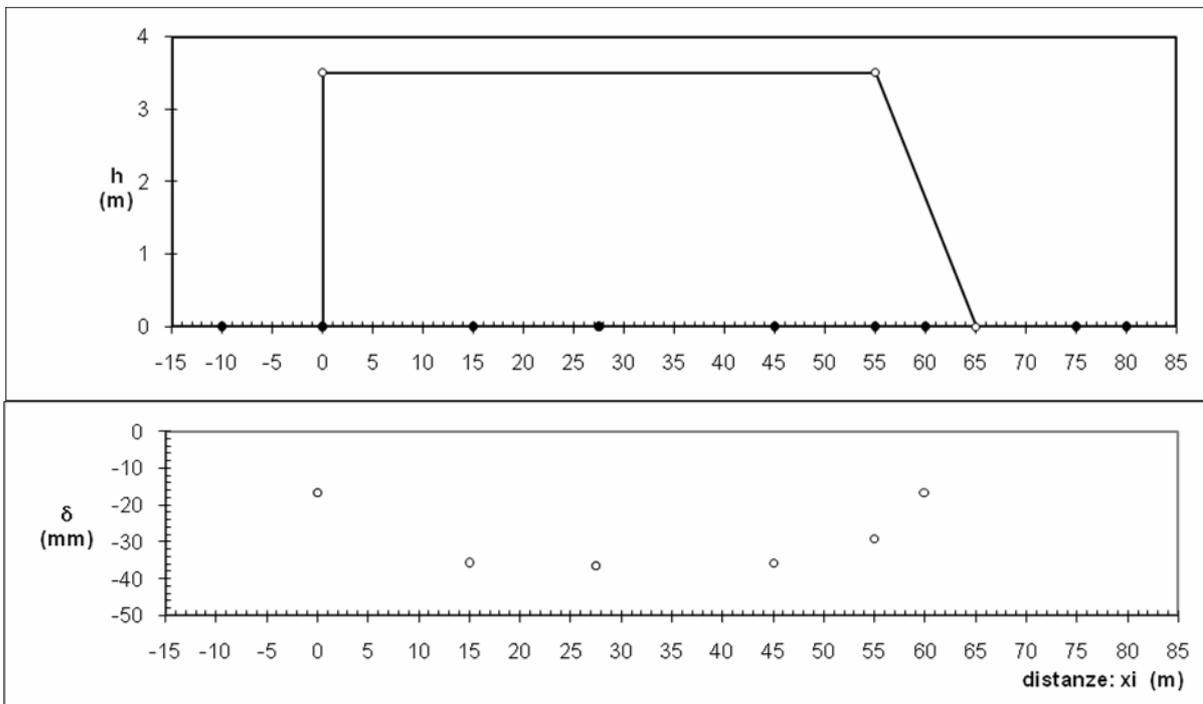
n (numero degli strati): **2** (-)
 $\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$: **2** (%)
 (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)
 Zw (Profondità della falda): **0,00** (m)

Strato (n)	Z iniziale (m)	Z finale (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	ν (-)	ϕ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0,00	10,00	10,00	0,5	25,0	0,33	28,0	18,00	sabbia limosa avana chiara (d - e)
2	10,00	20,00	10,00	0,5	20,0	0,33	30,0	19,00	sabbia con limo argillosa (c)

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
-10,00	-5	0	15	30	40	45	55	60	75	80

RISULTATI DELLE ANALISI





STRATIGRAFIA 2 – SEZIONE TIPO “O”

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati): **5** (-)
 $\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$: **2** (%)
 (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)
 Zw (Profondità della falda): **0,00** (m)

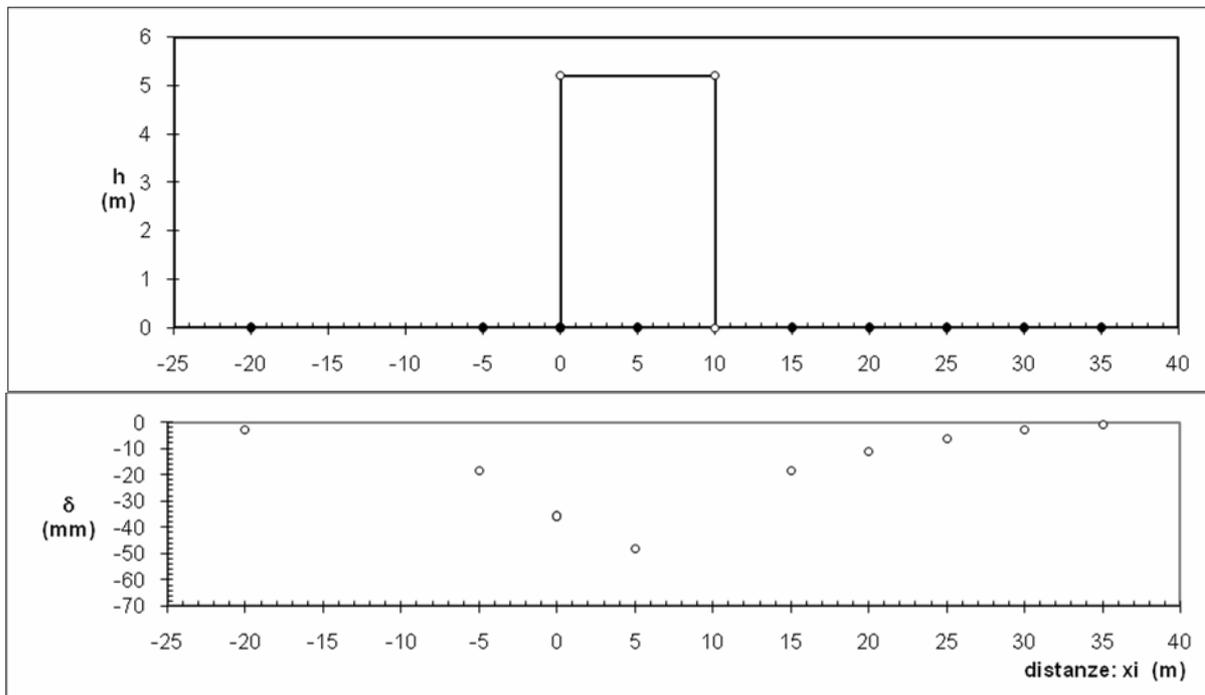
Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	ν (-)	ϕ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0,00	1,00	1,00	0,5	25,0	0,33	28,0	18,00	sabbia limosa grigia (b)
2	1,00	5,00	4,00	0,5	35,0	0,33	34,0	19,00	sabbia limosa avana chiara (d)
3	5,00	7,00	2,00	0,5	30,0	0,33	30,0	19,00	sabbia con limo argillosa (c)
4	7,00	12,00	5,00	0,5	35,0	0,33	34,0	19,00	sabbia limosa avana chiara (d)
5	12,00	30,00	18,00	0,5	30,0	0,33	30,0	19,00	sabbia con limo argillosa (c)

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
-20,00	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35

(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI





STRATIGRAFIA 2 – SEZIONE TIPO “I”

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5): **5** (-)

$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$: **2** (%)
 (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)

Zw (Profondità della falda): **0,00** (m)

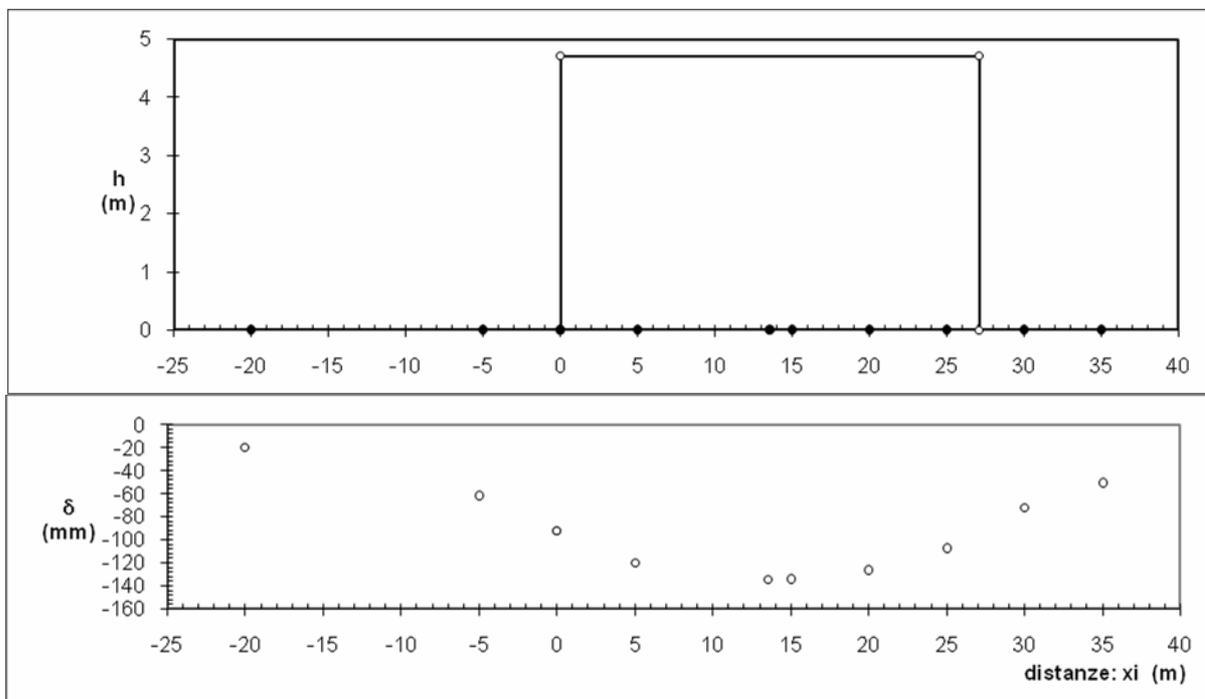
Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	ν (-)	ϕ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0,00	1,00	1,00	0,5	25,0	0,33	28,0	18,00	sabbia limosa grigia (b)
2	1,00	5,00	4,00	0,5	35,0	0,33	34,0	19,00	sabbia limosa avana chiara (d - e)
3	5,00	7,00	2,00	0,5	20,0	0,33	30,0	19,00	sabbia con limo argillosa (c)
4	7,00	12,00	5,00	0,5	35,0	0,33	34,0	19,00	sabbia limosa avana chiara (d - e)
5	12,00	30,00	18,00	0,5	20,0	0,33	30,0	19,00	sabbia con limo argillosa (c)

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-20,00	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35

(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI





STRATIGRAFIA 3 – SEZIONE TIPO “C”

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati): 5 (-)

$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$: 2 (%)
 (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)

Zw (Profondità della falda): 0,00 (m)

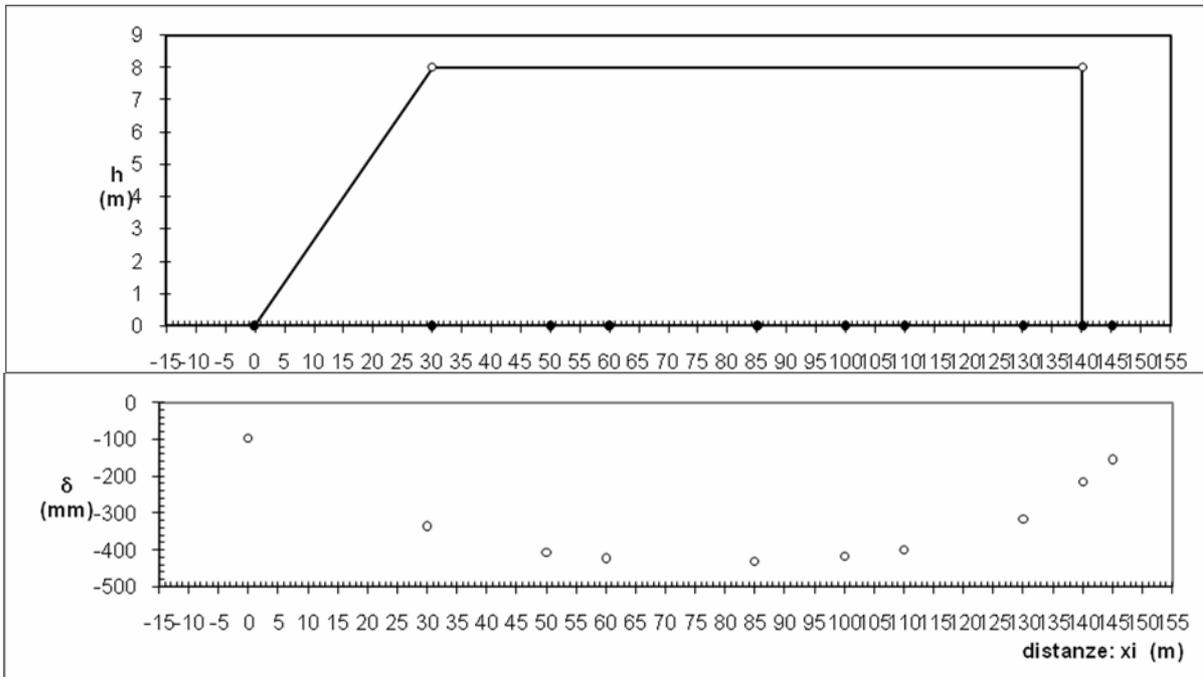
Strato (n)	Ziniziale (m)	Zfinale (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	ν (-)	φ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0,00	8,00	8,00	0,5	25,0	0,33	28,0	18,00	sabbia limosa grigia (b)
2	8,00	9,00	1,00	0,5	35,0	0,33	34,0	19,00	sabbia limosa avana chiara (d)
3	9,00	10,00	1,00	0,5	20,0	0,33	30,0	19,00	sabbia con limo argillosa (c)
4	10,00	11,00	1,00	0,5	35,0	0,33	34,0	19,00	sabbia limosa avana chiara (d)
5	11,00	30,00	19,00	0,5	20,0	0,33	30,0	19,00	sabbia con limo argillosa (c)

ASCISSE DI CALCOLO

x1 (m)	x2 (m)	x3 (m)	x4 (m)	x5 (m)	x6 (m)	x7 (m)	x8 (m)	x9 (m)	x10 (m)	x11 (m)
0,00	10	30	50	60	80	100	110	130	140	145

(manuale)

RISULTATI DELLE ANALISI





STRATIGRAFIA 3 – SEZIONE TIPO “R”

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5): **5** (-)

$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$: **2** (%)
 (Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)

Zw (Profondità della falda): **0,00** (m)

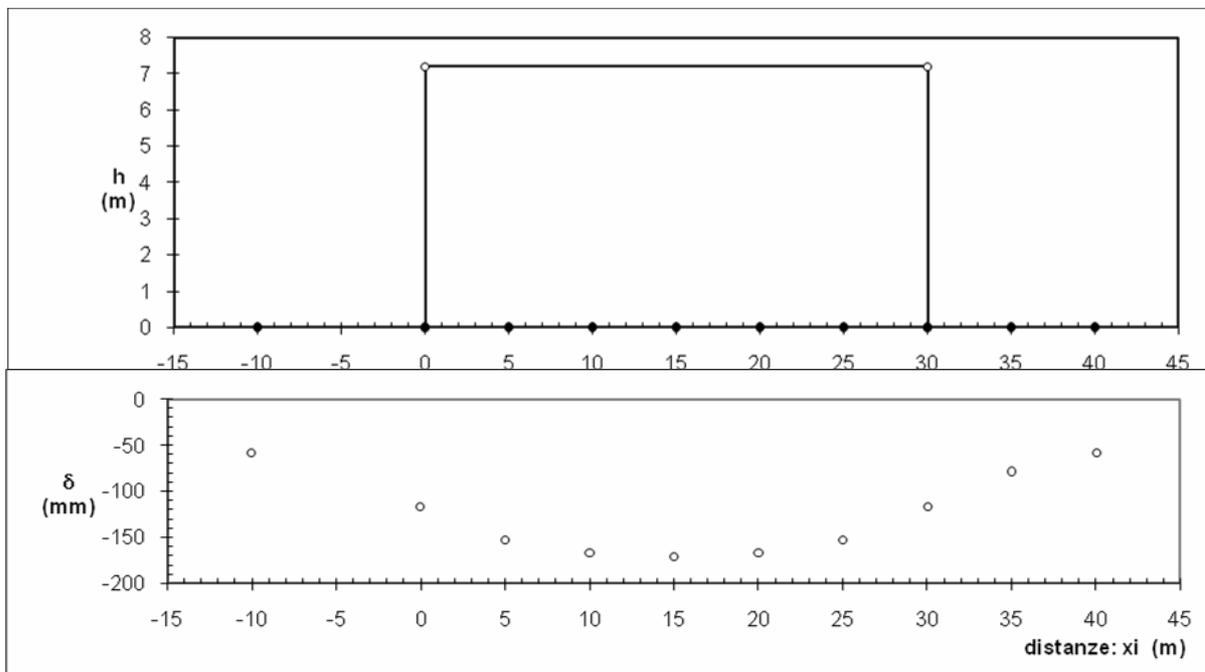
Strato (n)	Z _{iniziale} (m)	Z _{finale} (m)	Spessore (m)	Δz_i (m)	E (Mpa)	ν (-)	ϕ' (°)	γ (kN/m ³)	terreno
1	0,00	8,00	8,00	0,5	25,0	0,33	28,0	18,00	sabbia limosa grigia (b)
2	8,00	9,00	1,00	0,5	35,0	0,33	34,0	19,00	sabbia limosa avana chiara (d)
3	9,00	10,00	1,00	0,5	30,0	0,33	30,0	19,00	sabbia con limo argillosa (c)
4	10,00	11,00	1,00	0,5	35,0	0,33	34,0	19,00	sabbia limosa avana chiara (d)
5	11,00	30,00	19,00	0,5	30,0	0,33	30,0	19,00	sabbia con limo argillosa (c)

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-10,00	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40

(manuale)

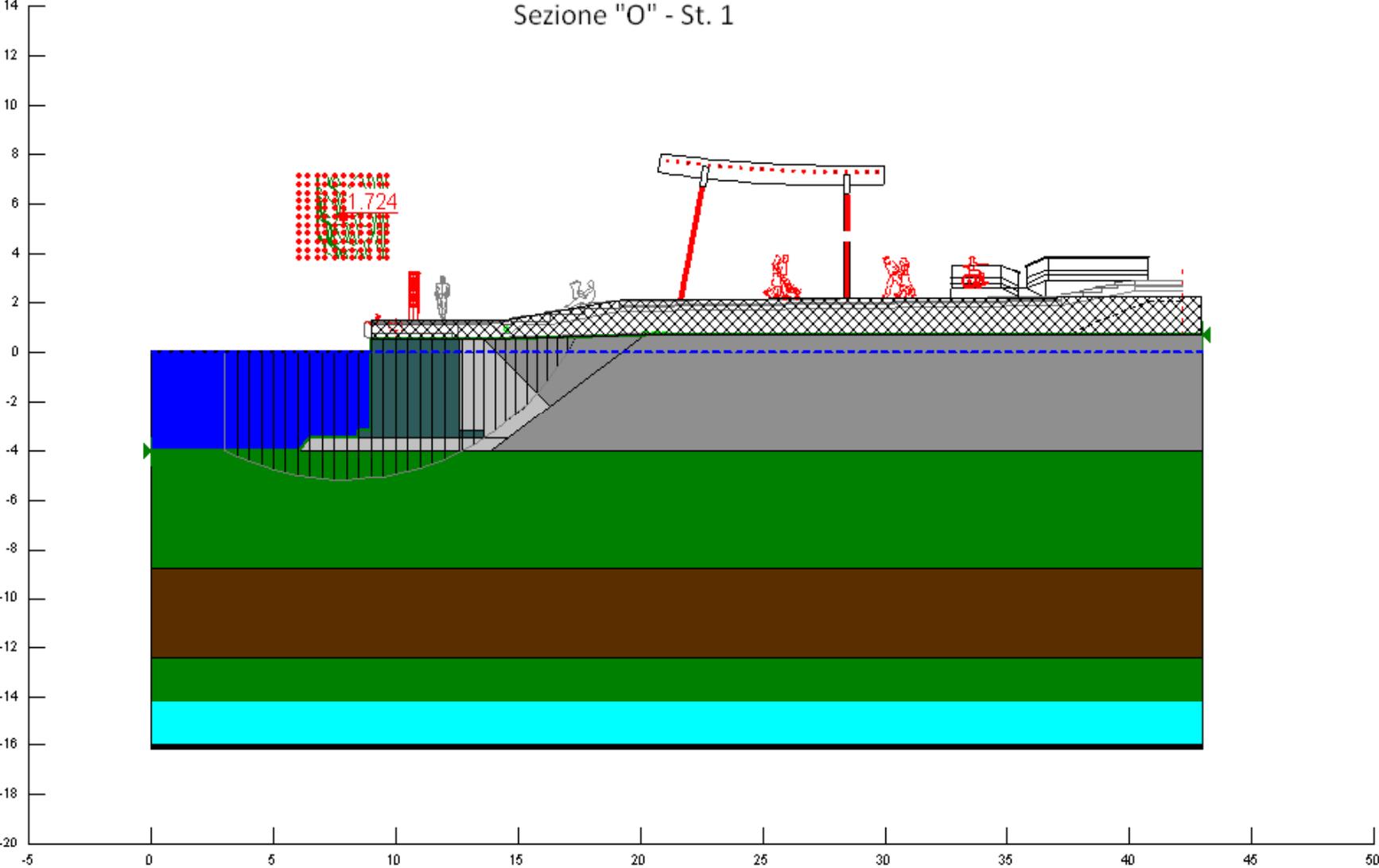
RISULTATI DELLE ANALISI



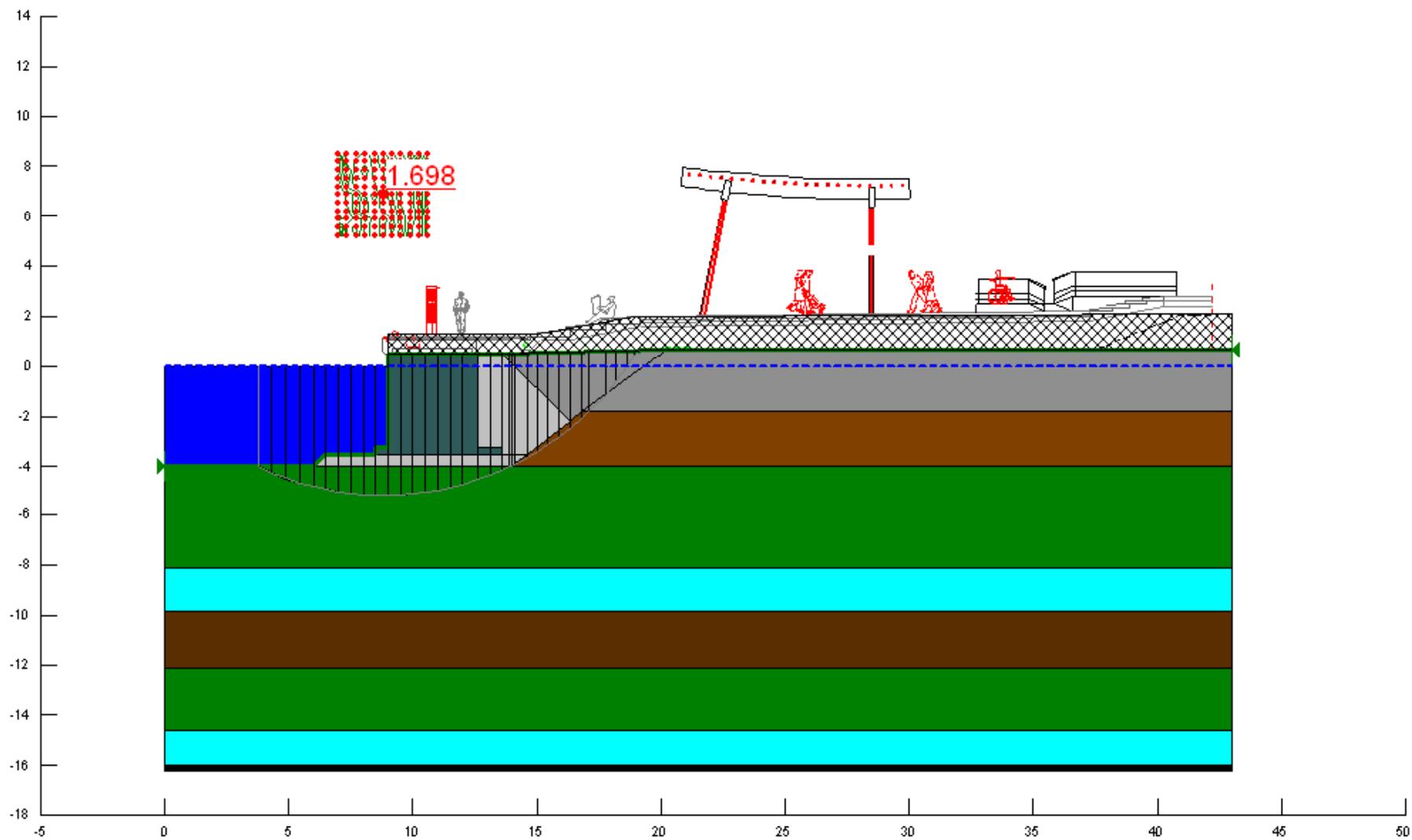
Verifiche di stabilità

Condizioni statiche

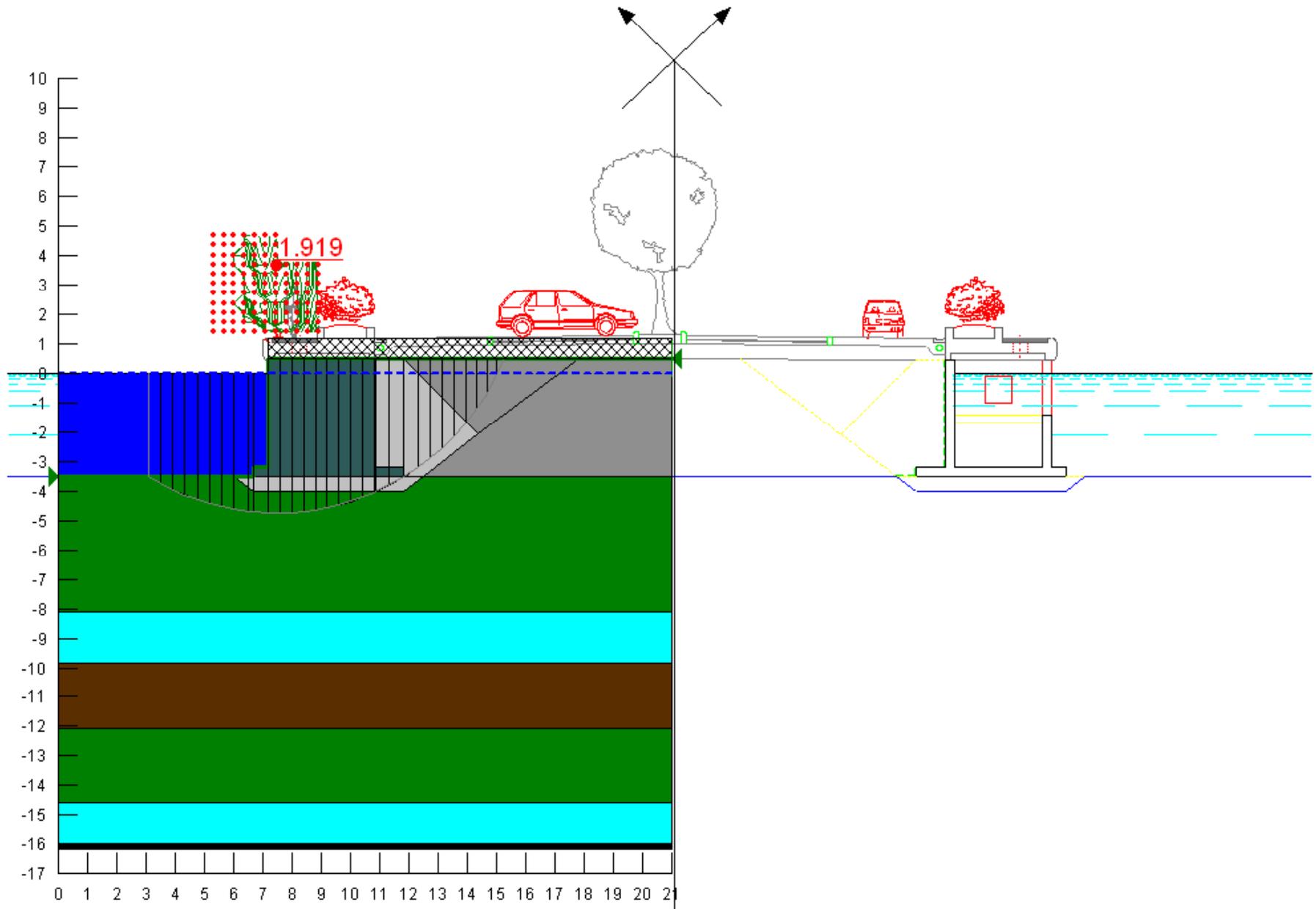
Sezione "O" - St. 1



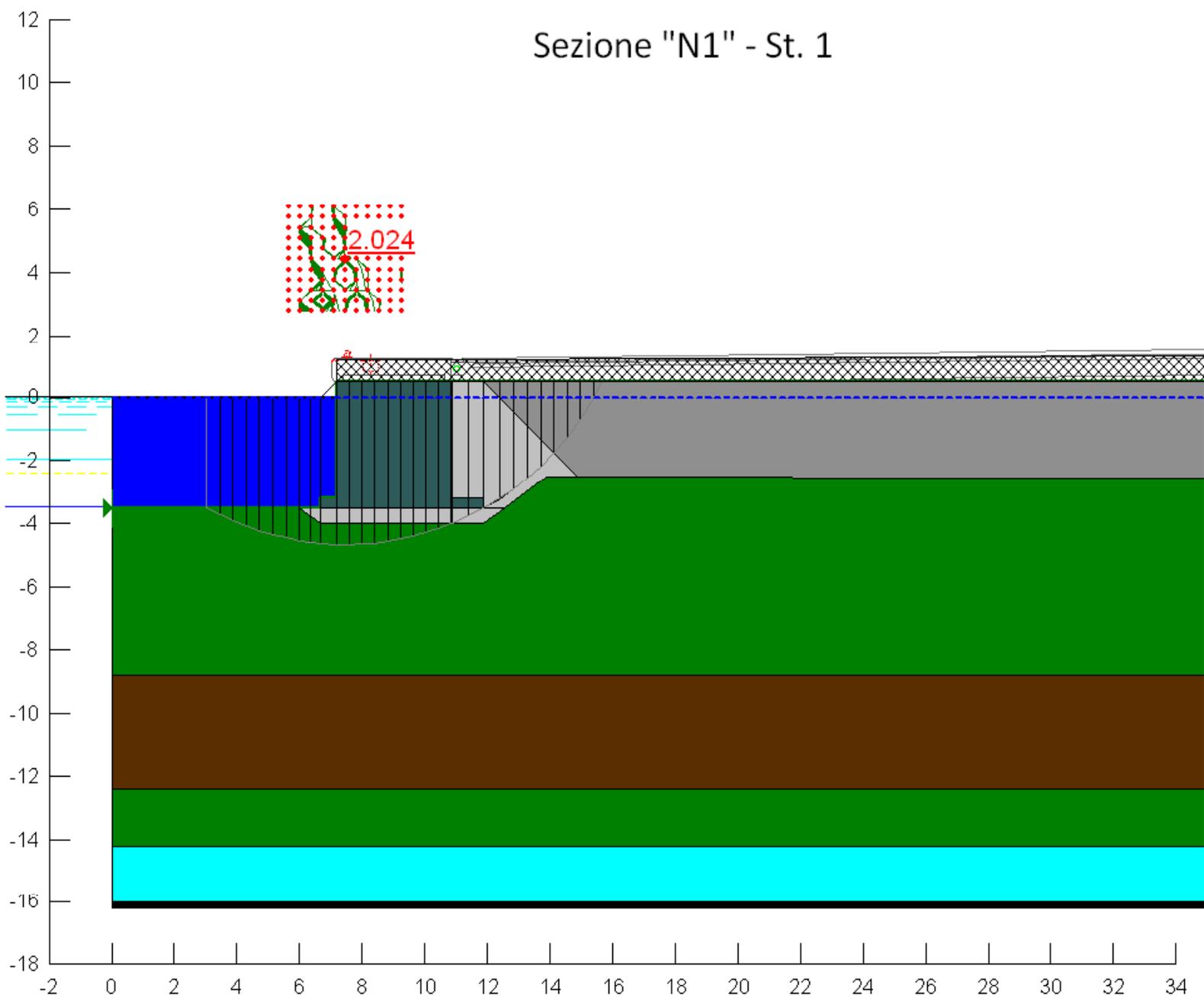
Sezione "O" - St. 2



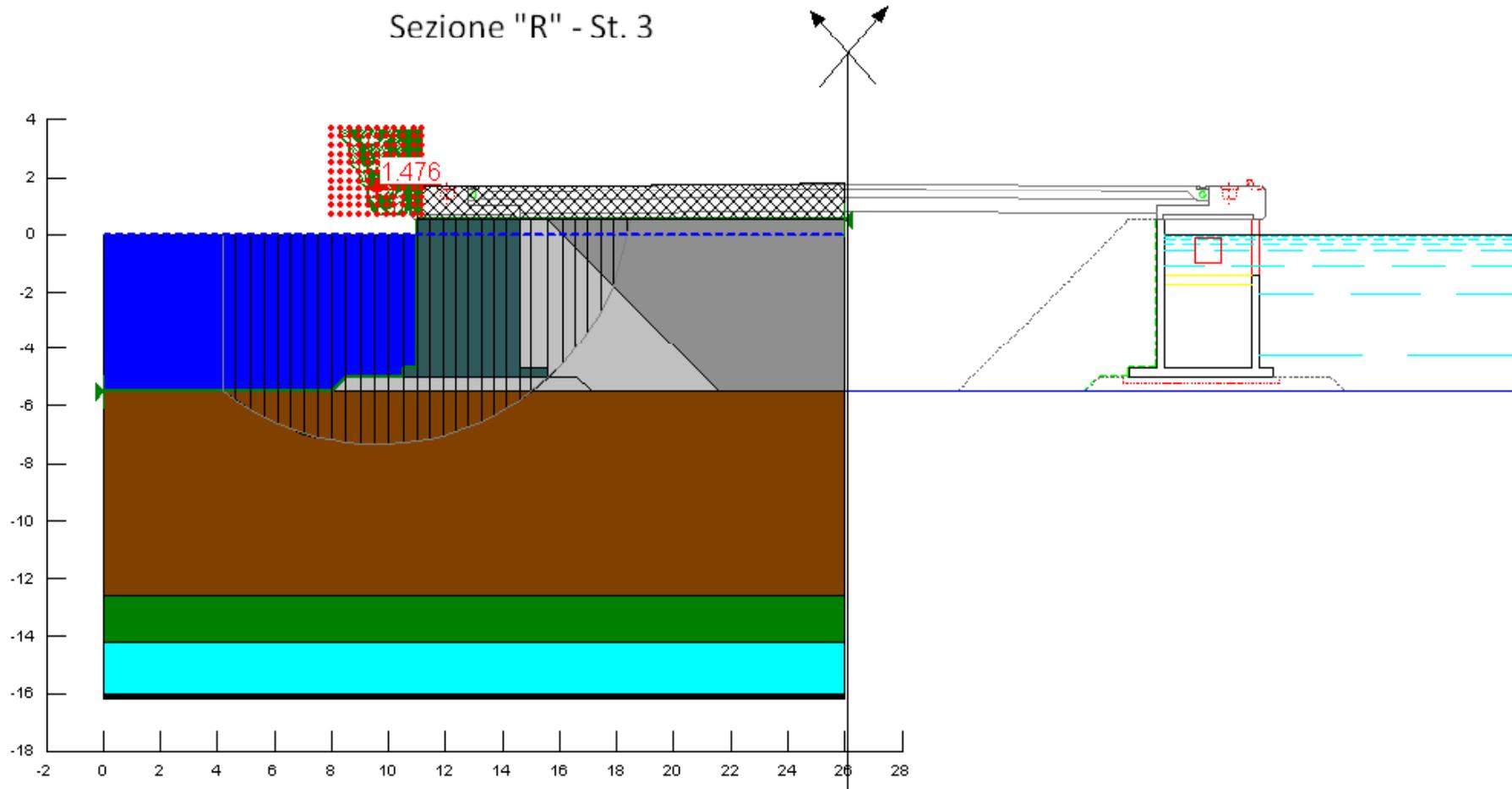
Sezione "I" - St. 2



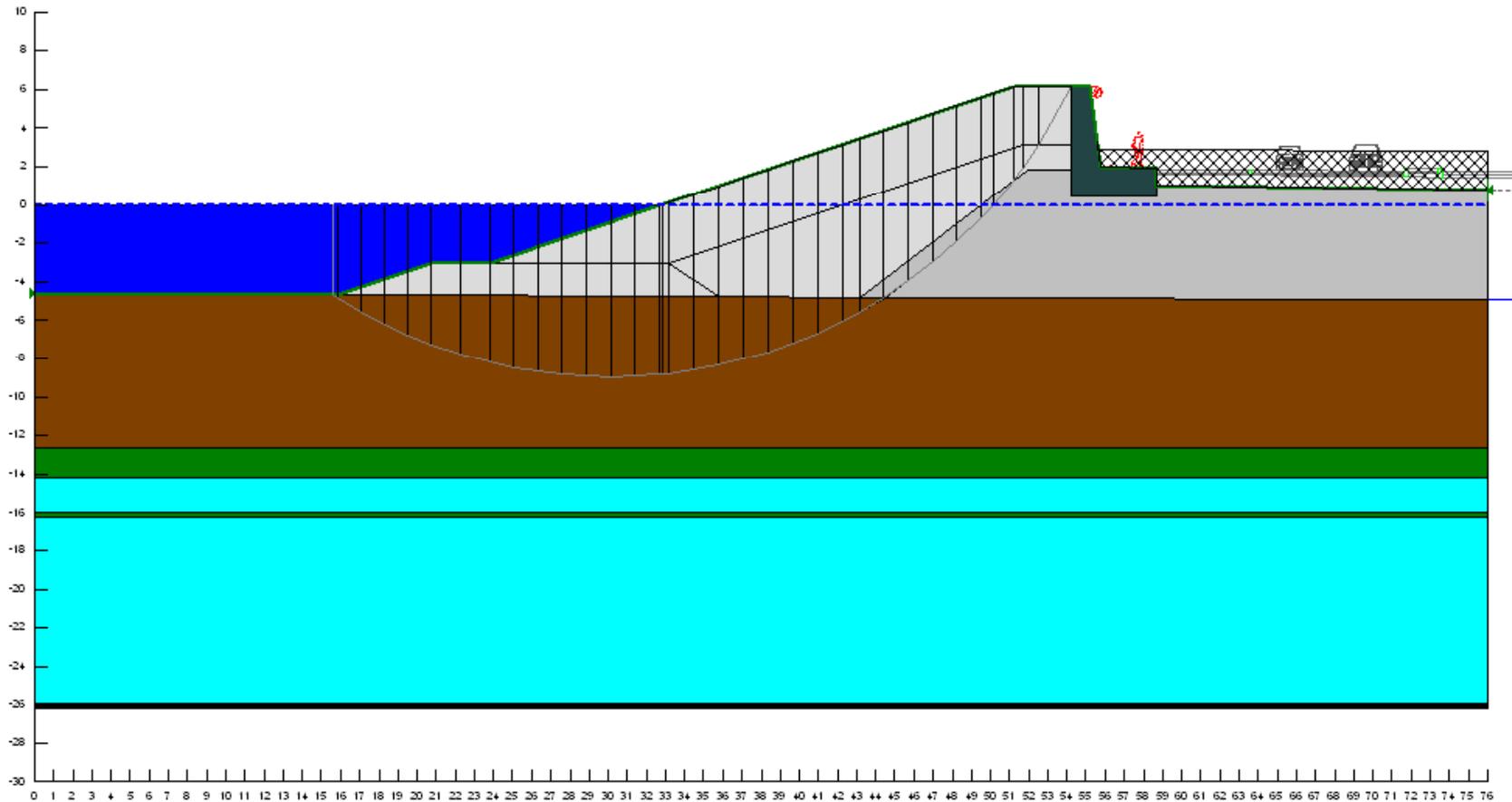
Sezione "N1" - St. 1



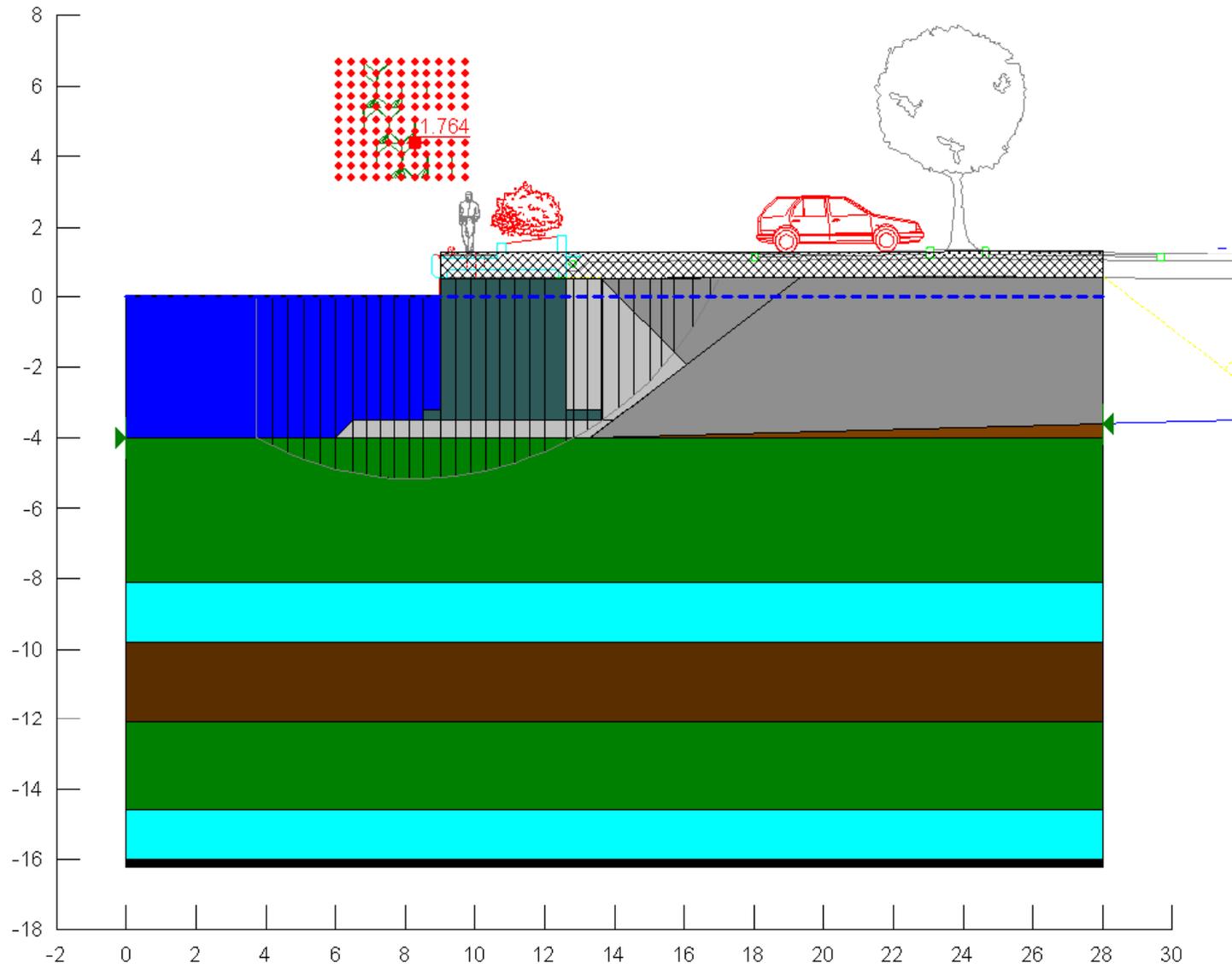
Sezione "R" - St. 3



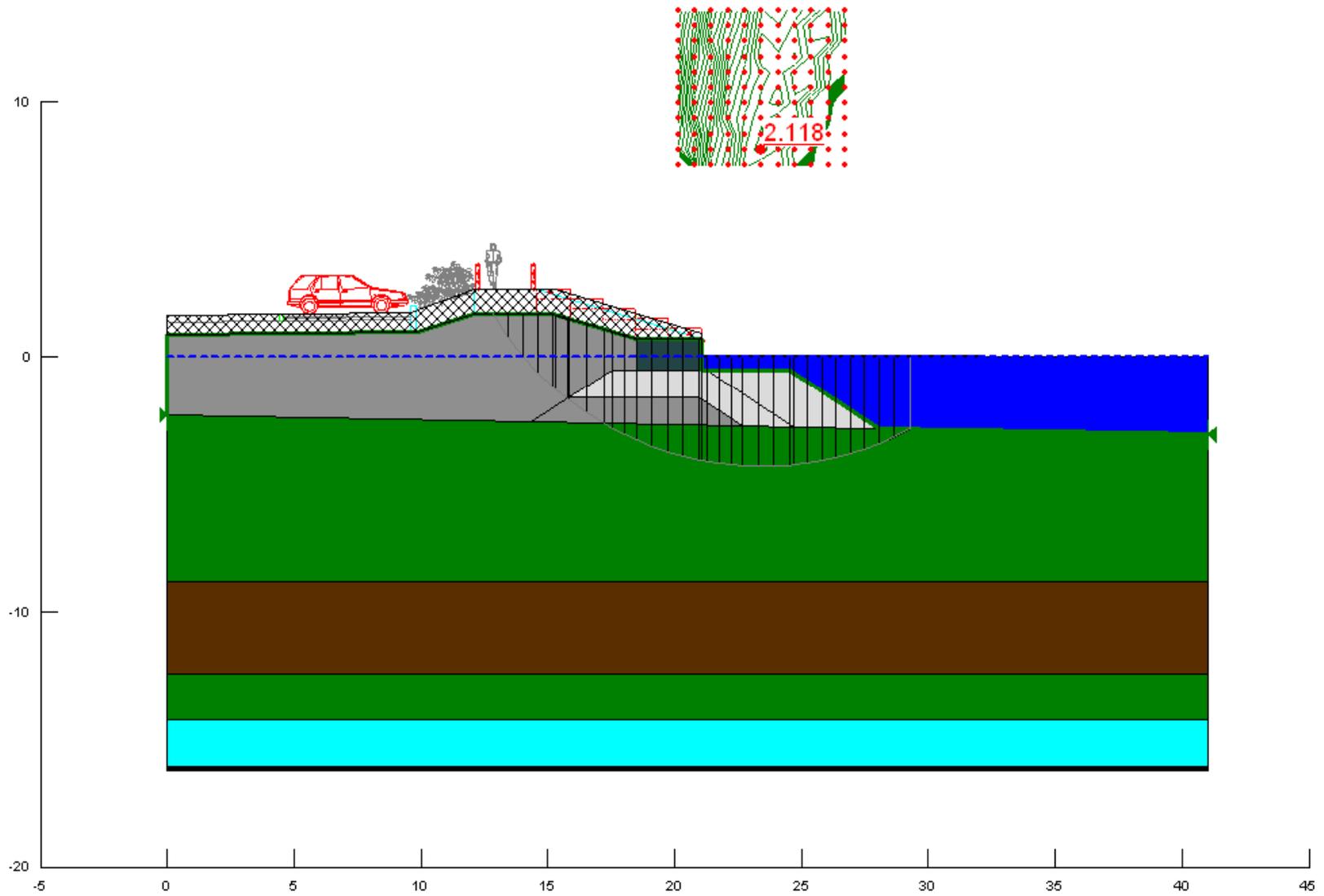
Sezione "C" - St. 3



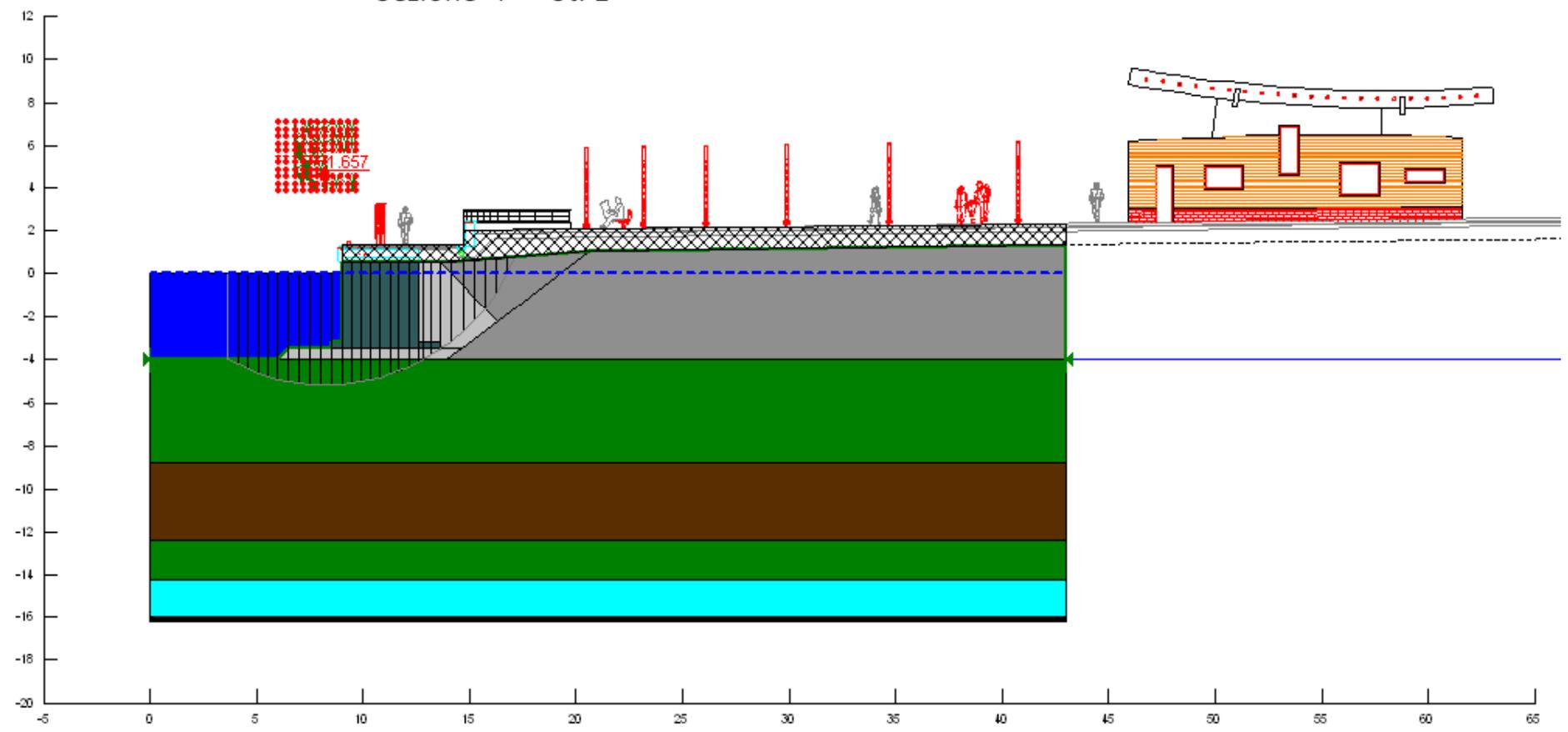
Sezione "G" - St. 2



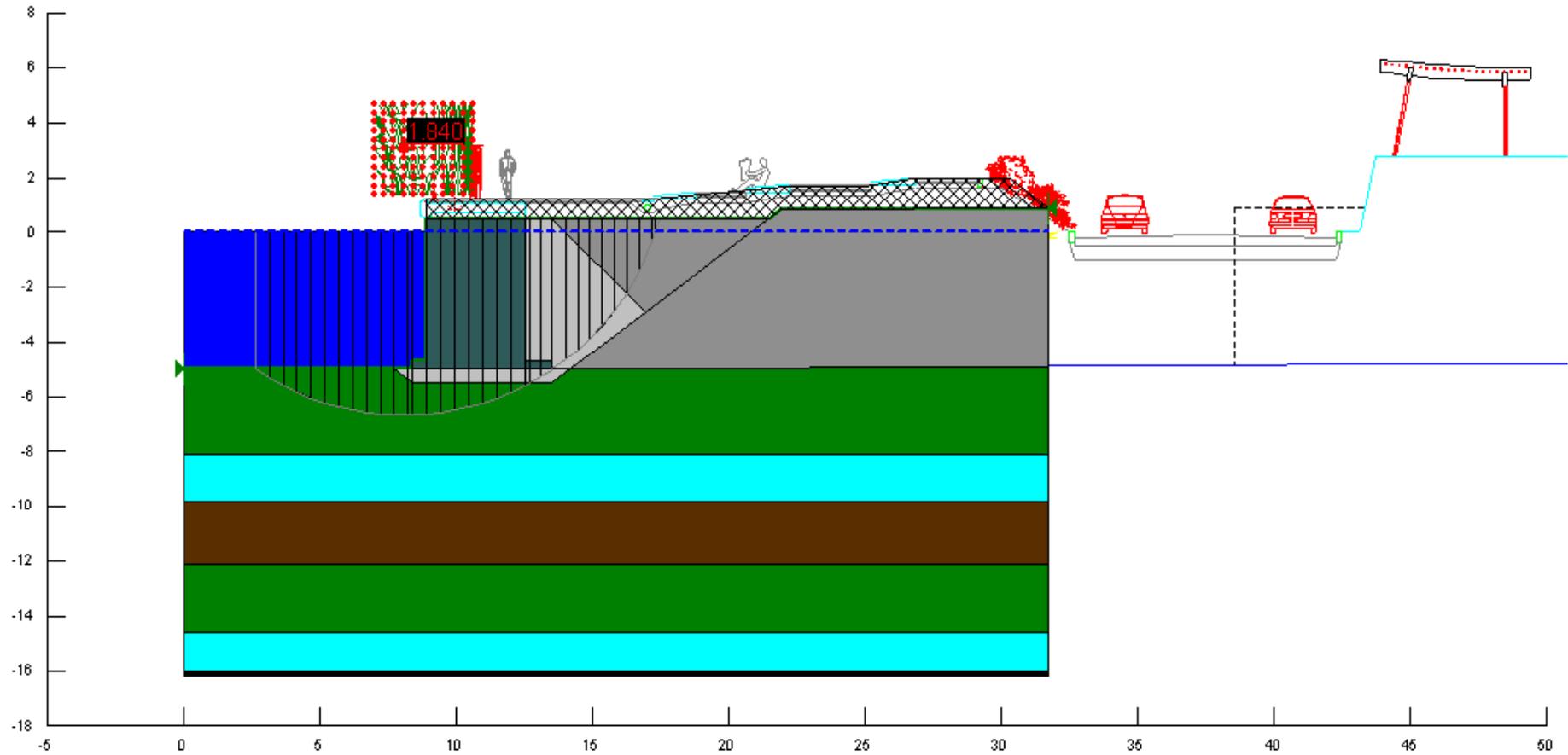
Sezione "N" lato mare - St. 1



Sezione "P" - St. 1



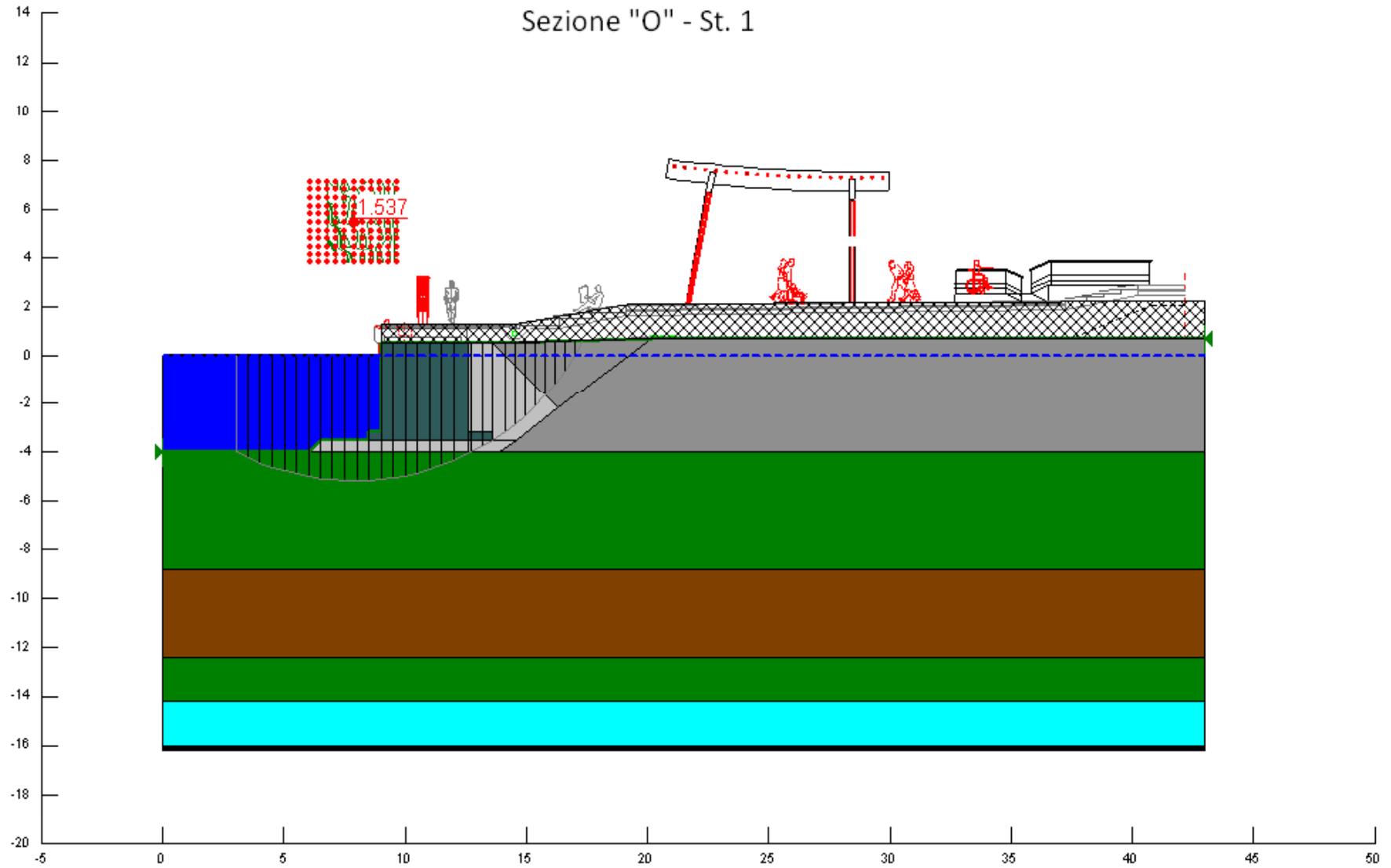
Sezione "Q" - St. 2



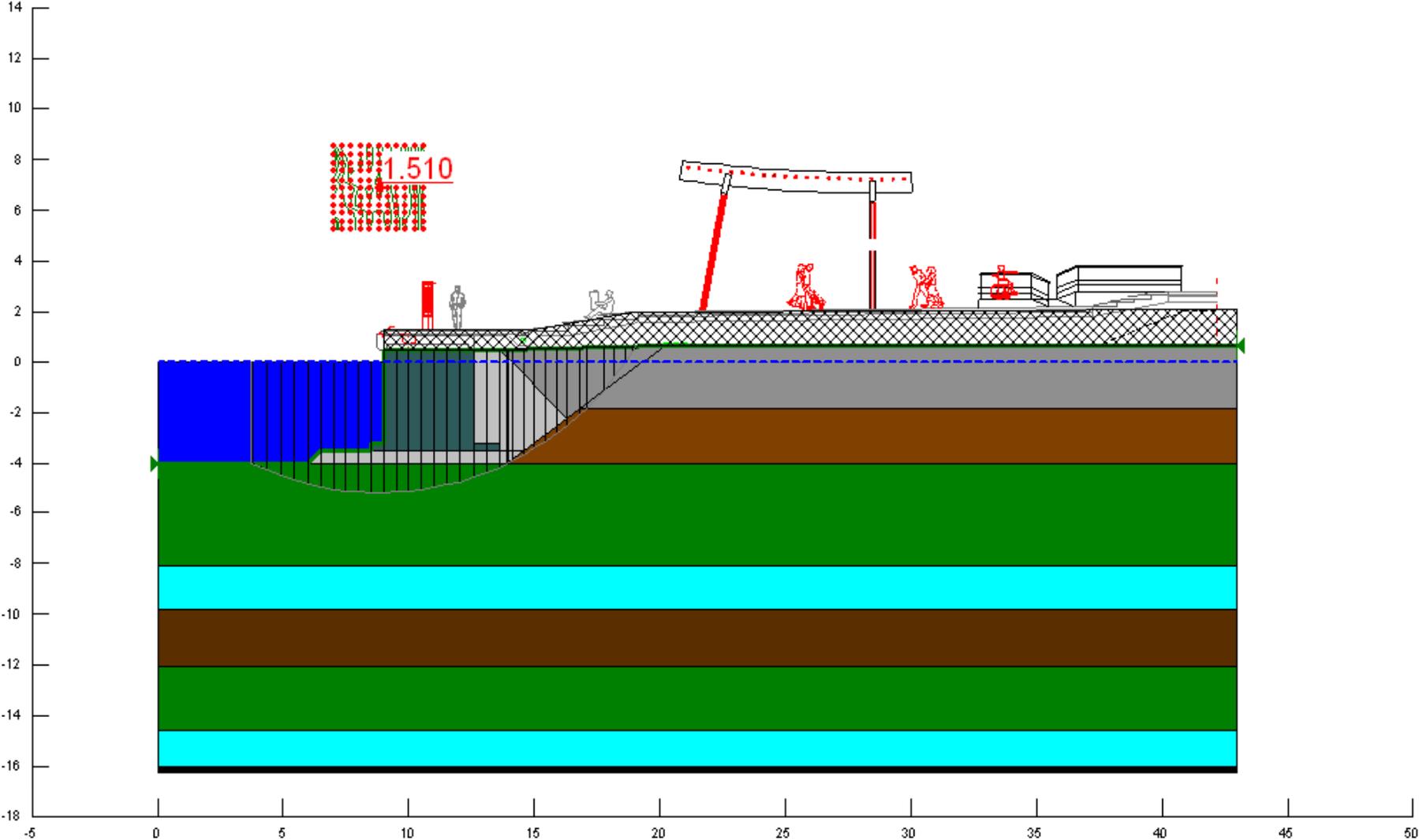
Verifiche di stabilità

Condizioni sismiche

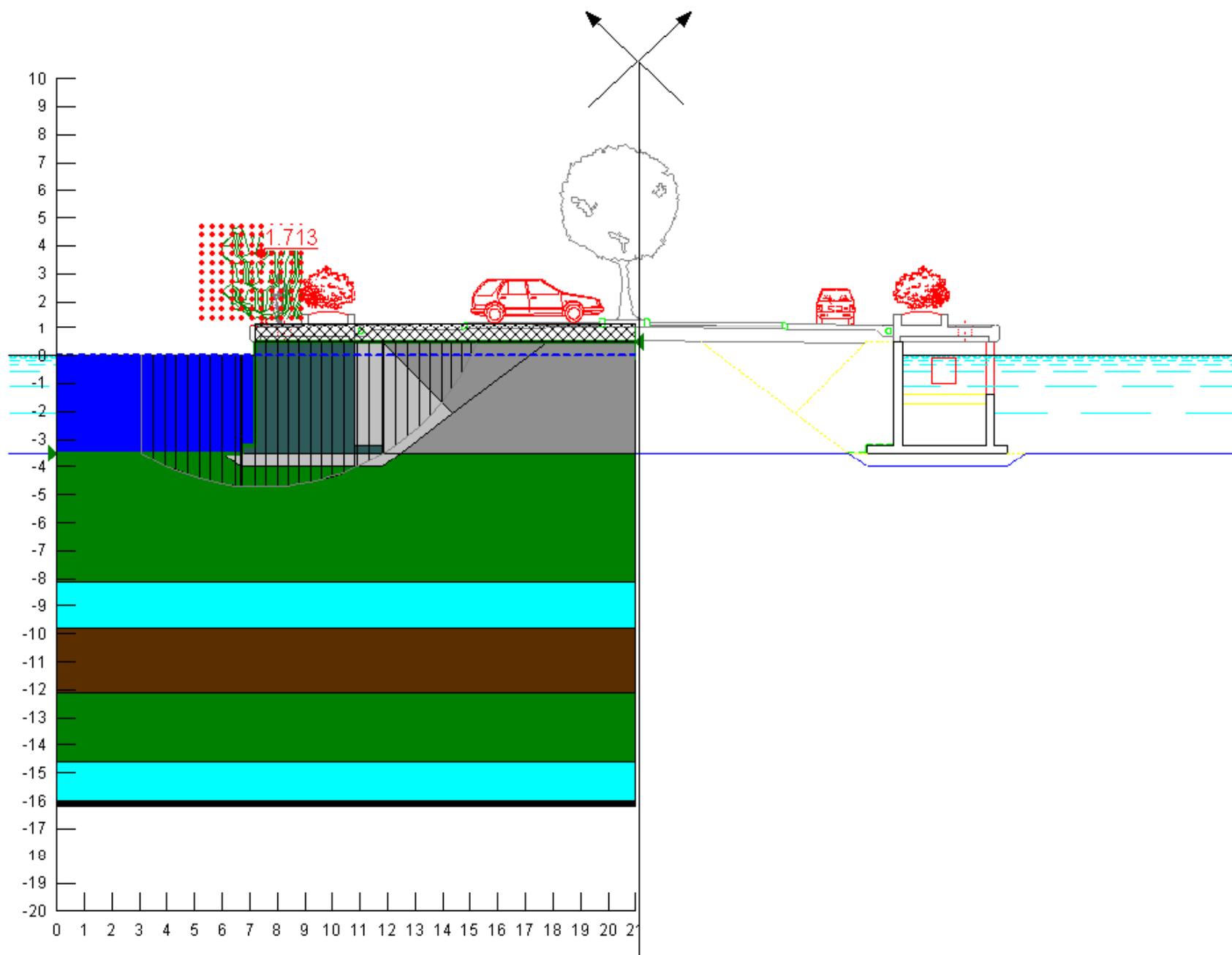
Sezione "O" - St. 1



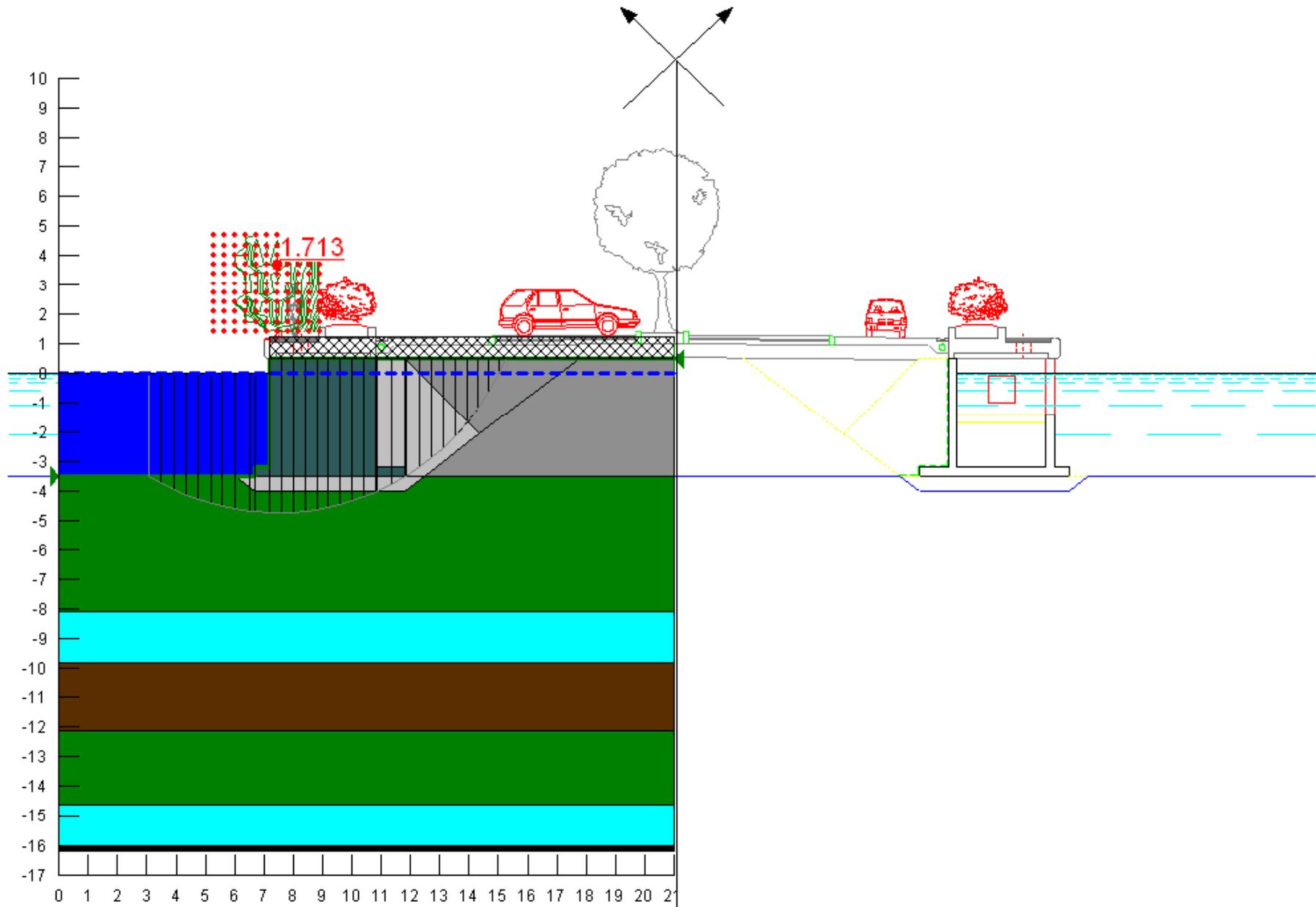
Sezione "O" - St. 2



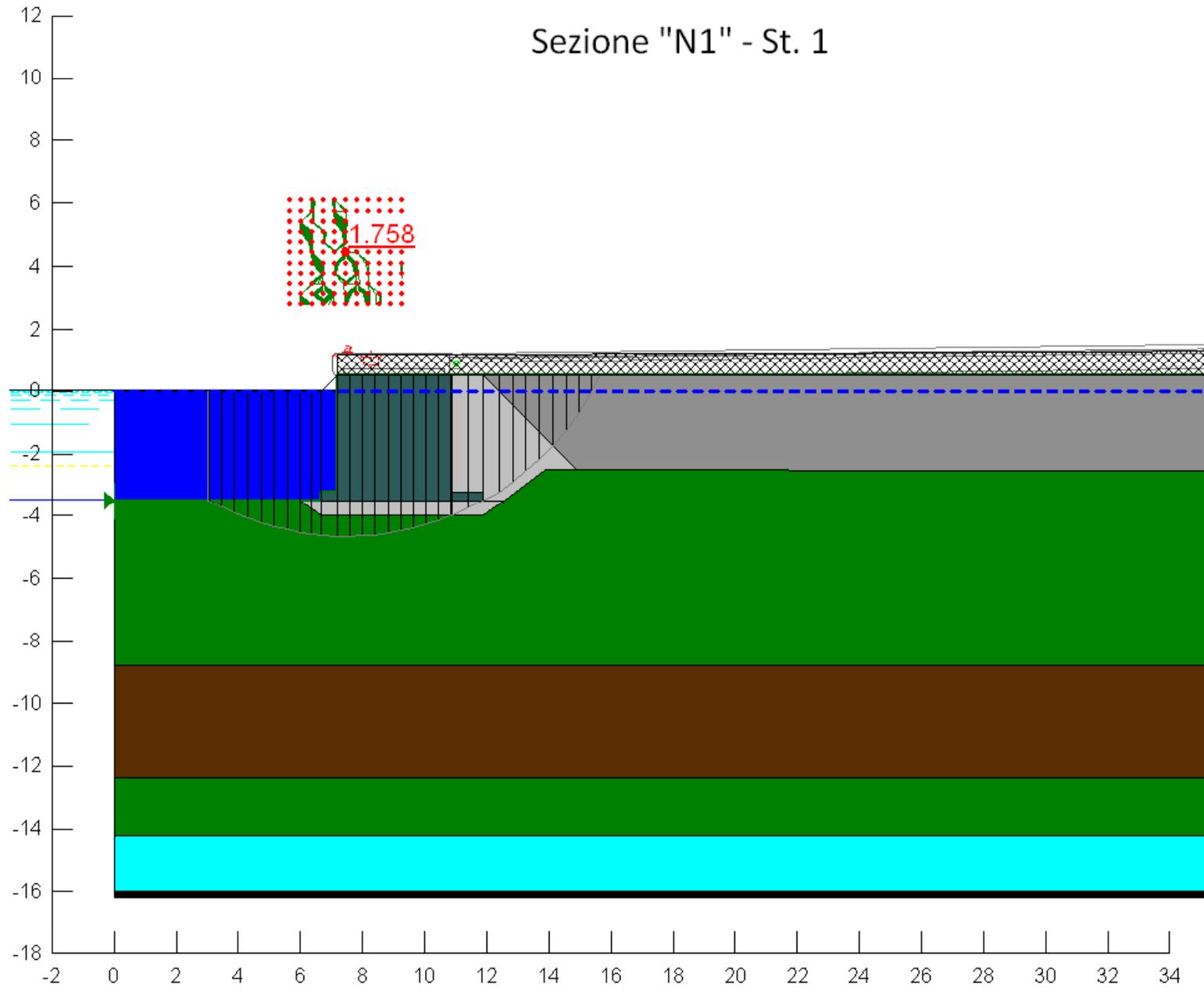
Sezione "I" - St. 2



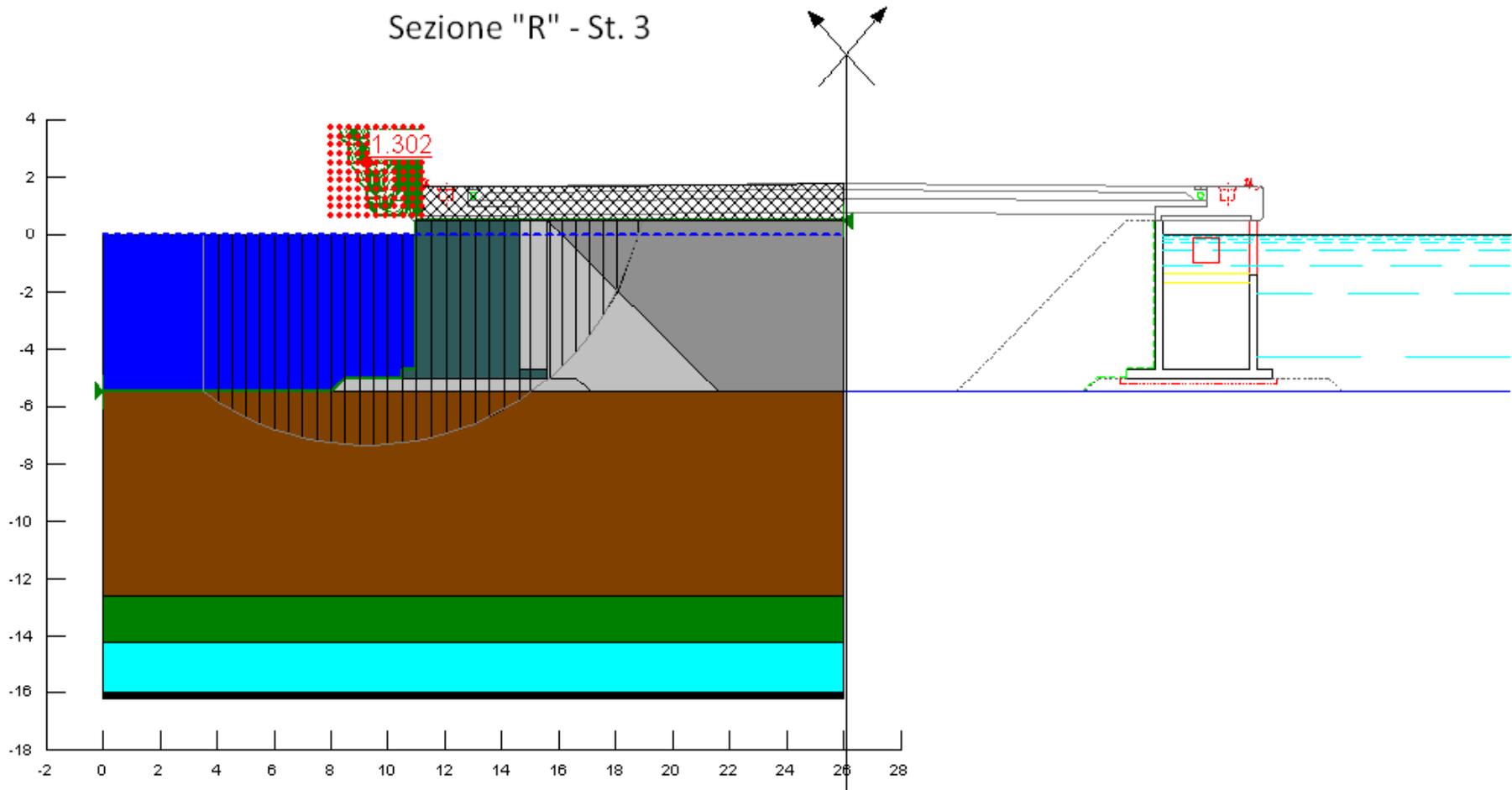
Sezione "I" - St. 2



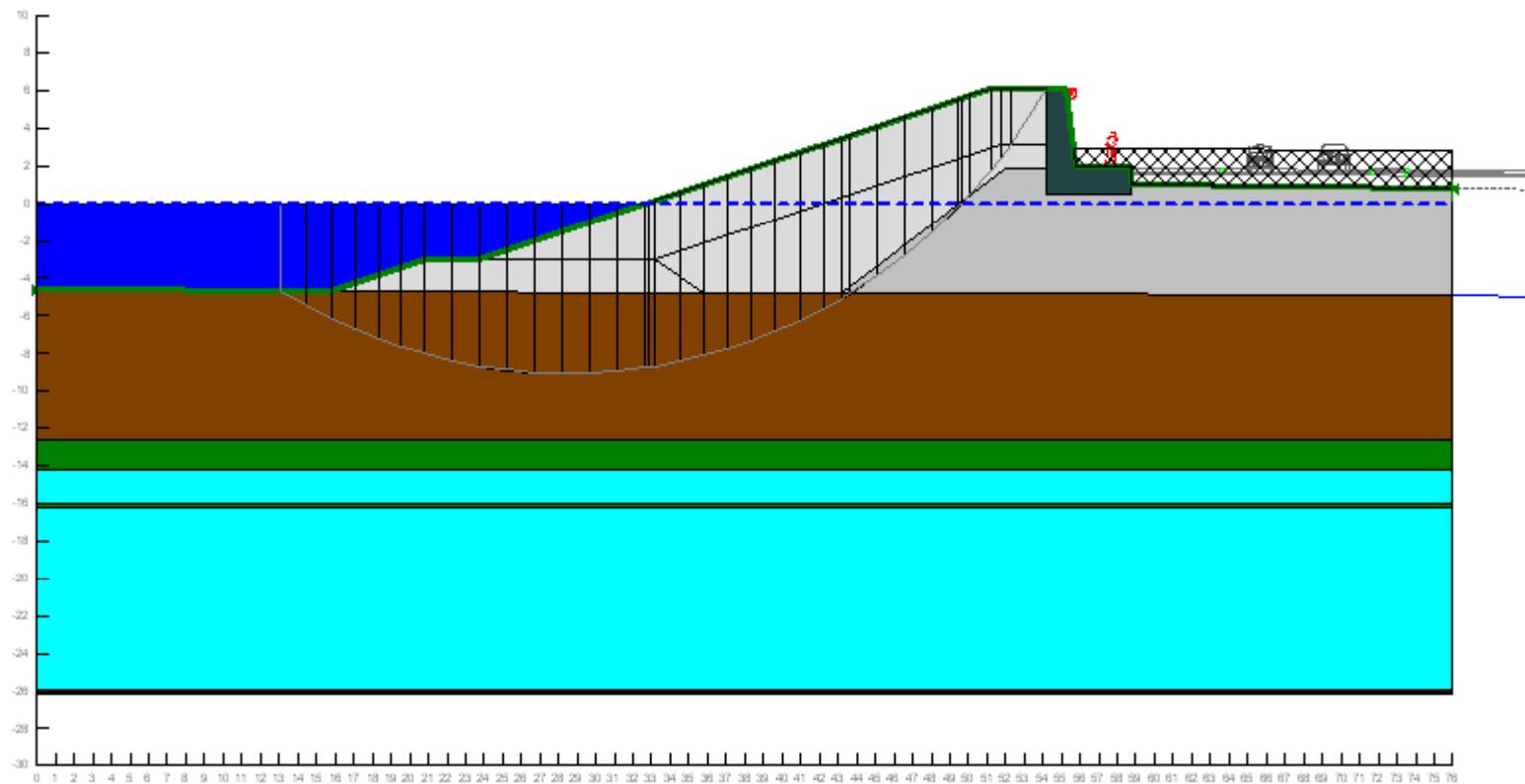
Sezione "N1" - St. 1



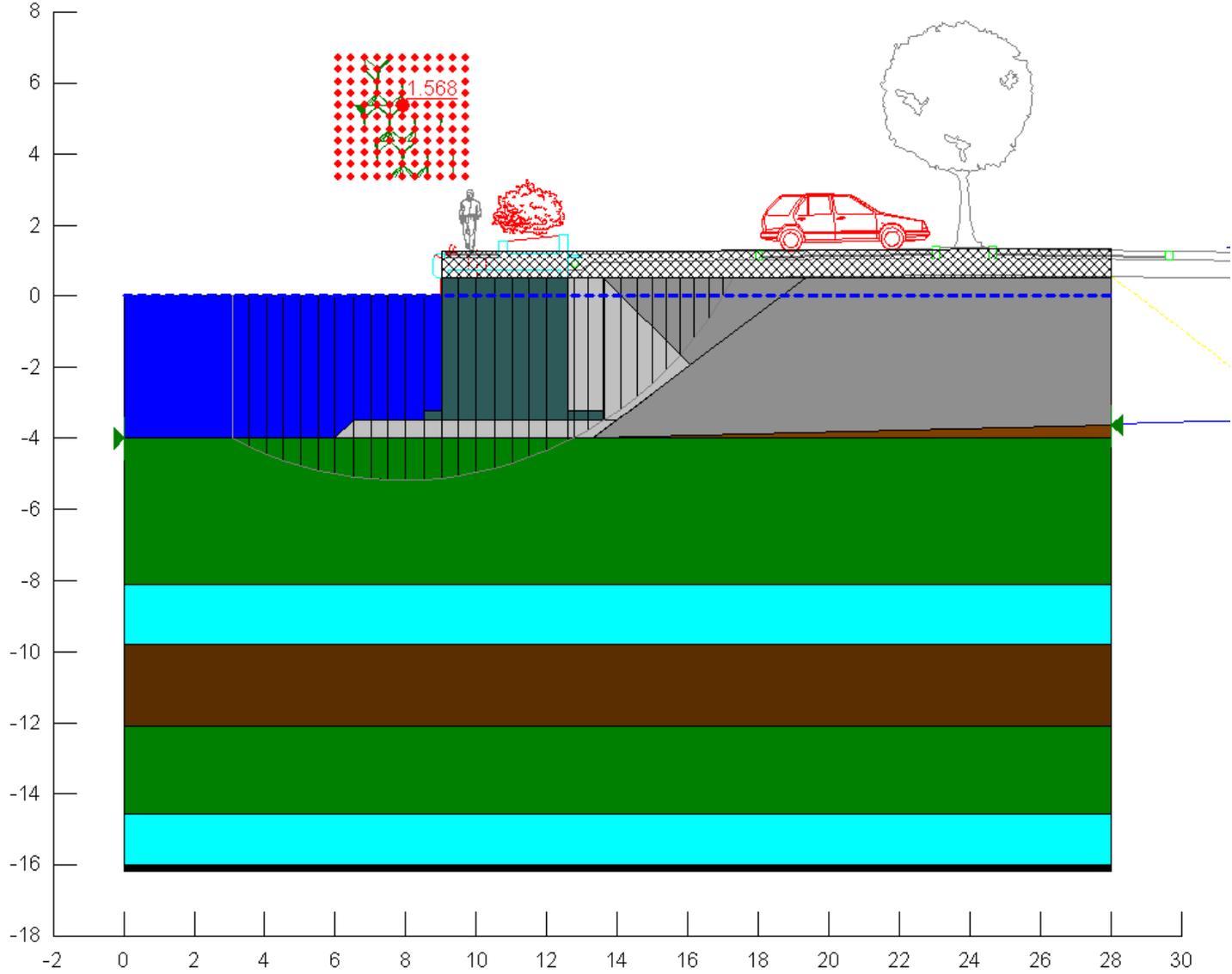
Sezione "R" - St. 3



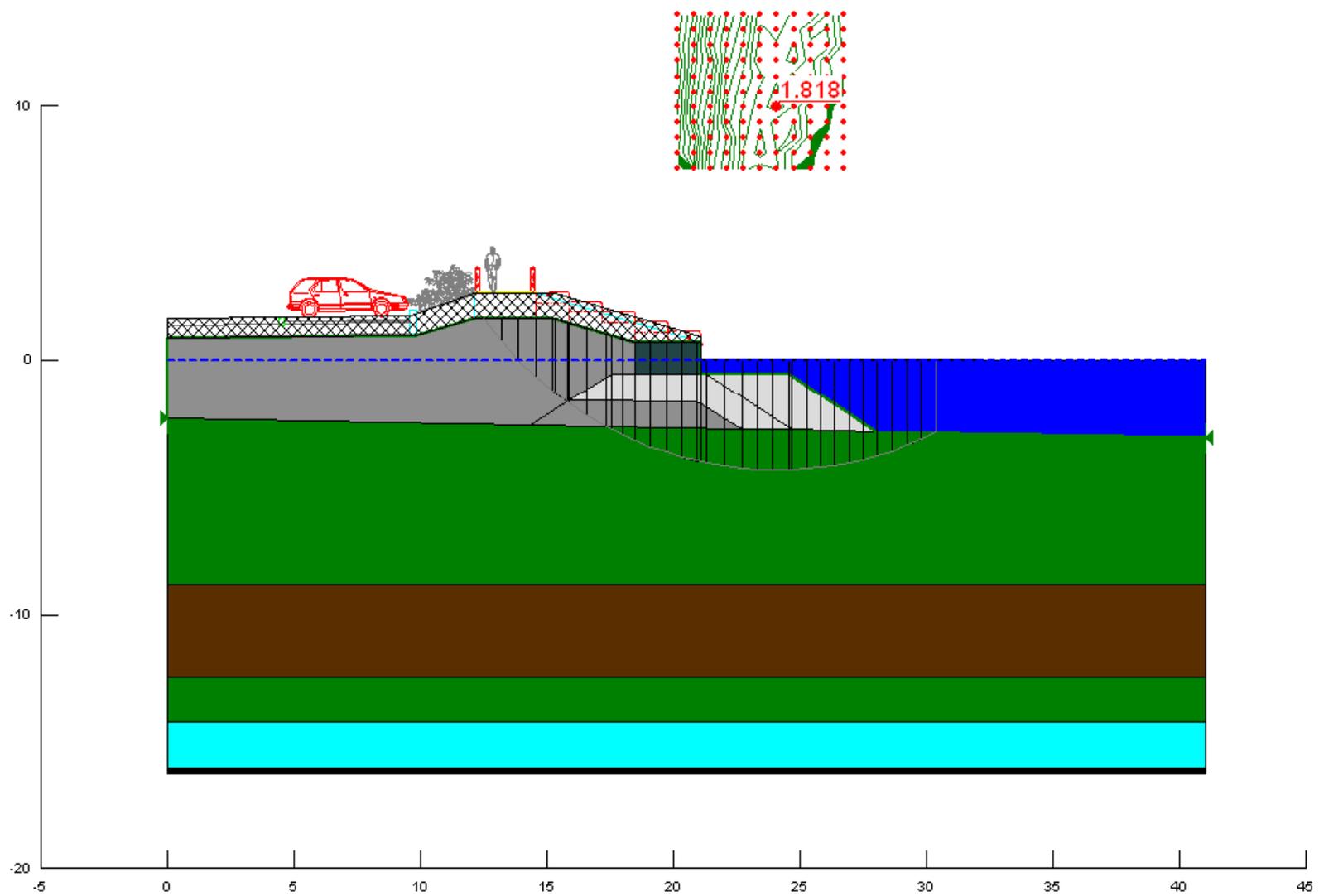
Sezione "C" - St. 3



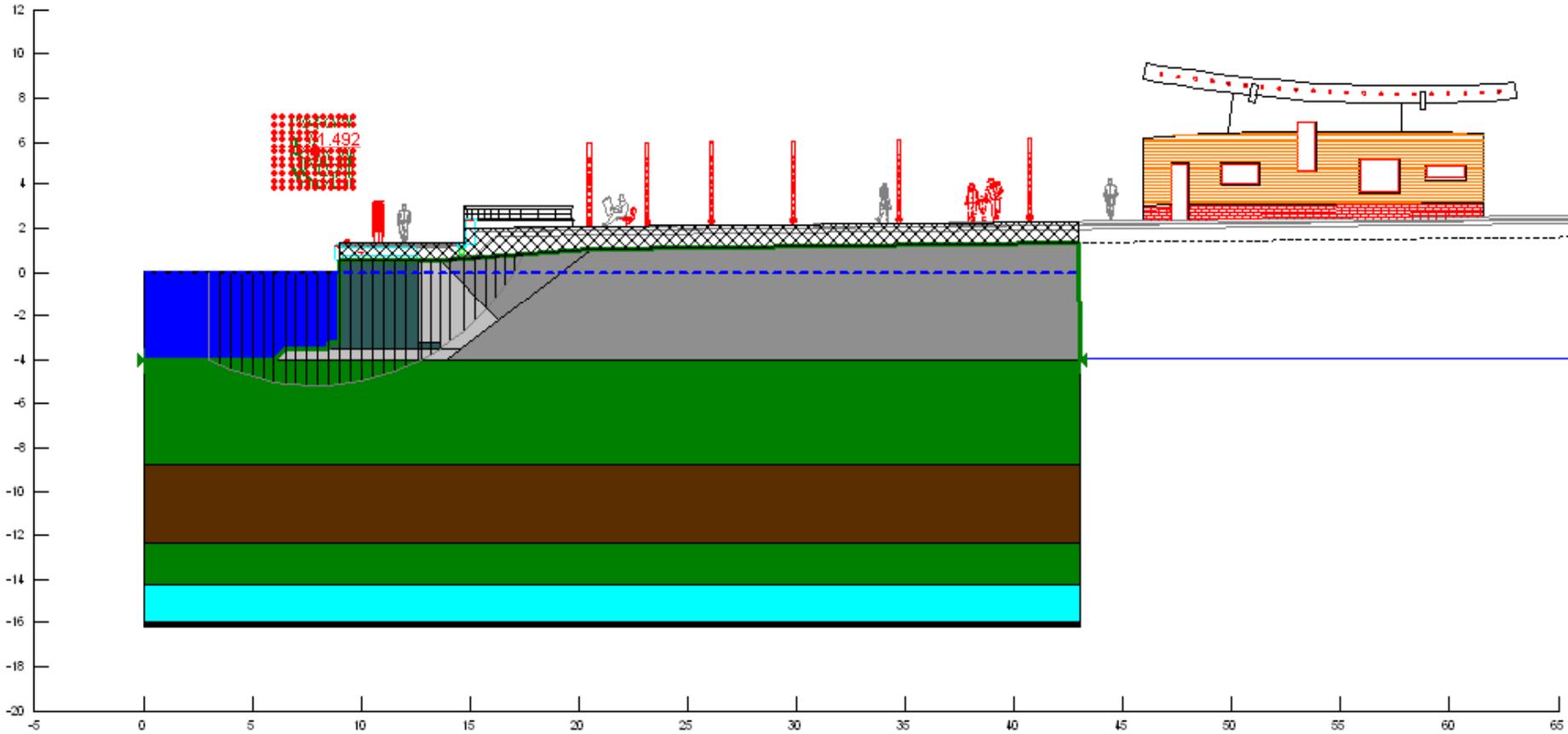
Sezione "G" - St. 2



Sezione "N" lato mare - St. 1



Sezione "P" - St. 1



Sezione "Q" - St. 2

