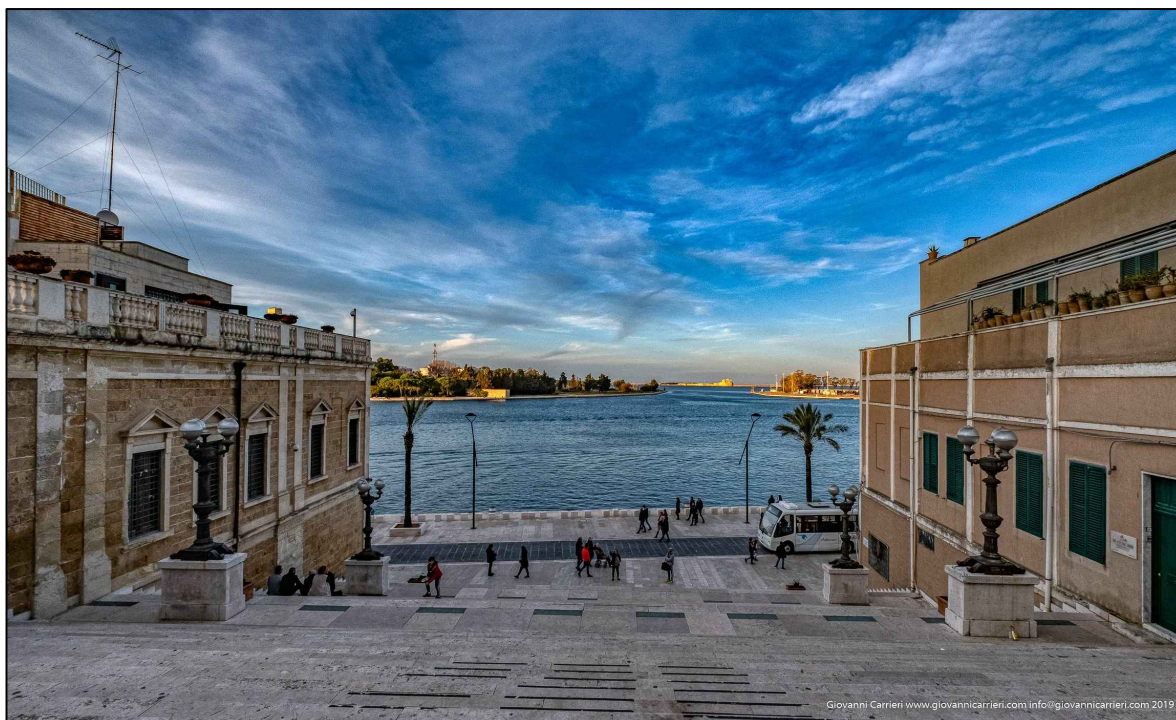


## Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale



Giovanni Carrieri www.giovannicarrieri.com info@giovannicarrieri.com 2019

### CONVENZIONE SOGESID SPA - ADSP del Mare Adriatico Meridionale Supporto tecnico-specialistico finalizzato alla redazione ed approvazione del Piano Regolatore Portuale del Porto di Brindisi

**Titolo elaborato:**

**STUDIO SULLA TRACIMAZIONE DELLA DIGA DI PUNTA RISO**

**Cod. Elaborato:**

**21 21 PR 05b 0 MAR**

**Redatto da:**



**Il Direttore Tecnico e Responsabile della convenzione**  
**Ing. Enrico BRUGIOTTI**

**Il Project Manager**  
**Ing. Francesco Maria Lopez Y Royo**

**GRUPPO DI LAVORO SOGESID**

Ing. Marco Deri  
Ing. Fabio Tamburrino  
Ing. Giovanni Borzi  
Ing. Francesco Voltasio  
Ing. Graziano Talò  
Ing. Fabio De Giorgio

**RELAZIONI SPECIALISTICHE**

Pianificazione e aspetti trasportistici e marittimi



Modimar srl



Modimar Project srl

Arch. Pierfrancesco Capolei

**Valutazione Ambientale Strategica**

Ing. Angelo Micolucci

**Committente:**

Autorità di Sistema Portuale del  
Mare Adriatico Meridionale

**Il Direttore del Dipartimento Tecnico dell'AdSP**

Ing. Francesco Di Leverano

**Data:**

Marzo 2023

**GRUPPO DI LAVORO AdSP del Mare Adriatico Meridionale**

Ing. Francesco Di Leverano  
Ing. Marinella Conte

Ing. Cristian Casilli  
Geom. Davide Boasso

Rev.	Data	Descrizione	Verificato	Approvato
0	03/2023	Recepimento osservazioni CSLPP		

**SOMMARIO**

<b>1.</b>	<b>Premesse.....</b>	<b>2</b>
1.1	Introduzione.....	2
1.2	Obiettivi.....	2
<b>2.</b>	<b>Calcolo della tracimazione (overtopping) .....</b>	<b>3</b>
2.1	Dati di base .....	3
2.2	Metodologia.....	3
2.2.1	Scelta e geometria delle sezioni trasversali di calcolo .....	4
2.2.2	Analisi delle forzanti meteomarine .....	1
2.2.3	Propagazione degli stati di mare ERA5 calibrati .....	1
2.2.4	Distribuzione direzionale degli eventi ERA5 propagati.....	2
2.2.5	Distribuzione degli eventi in relazione al periodo medio del moto ondoso.....	3
2.2.6	Statistica degli eventi estremi (metodo dei massimi annuali).....	4
2.2.7	Scelta della direzione degli stati di mare .....	6
2.2.8	Scelta dei tempi di ritorno, altezze e periodi d'onda degli stati di mare.....	6
2.2.9	Scelta degli stati di mare .....	7
2.2.10	Calcolo della tracimazione con modello NNO – Sezioni tipo (A, B, C) .....	8
2.2.11	Parametri di input per il modello di calcolo.....	8
2.2.12	Parametri geometrici delle sezioni .....	1
2.2.13	Parametri moto ondoso al piede dell'opera di ciascuna sezione e livello del mare	1
2.2.14	Calcolo della portata di tracimazione .....	2
2.2.15	Calcolo della tracimazione con formule EuroTop – Cassone (Sez. D).....	4
2.2.16	Calcolo portate di tracimazione (livello medio marino) .....	8
2.2.17	Calcolo portate di tracimazione (sovrizzo di marea = +0.50 m) .....	9
<b>3.</b>	<b>Verifica limiti portate medie di tracimazione .....</b>	<b>10</b>
3.1.1	Verifica portate (livello medio marino).....	10
3.1.2	Verifica portate (sovrizzo di marea = +0.50 m).....	10
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>13</b>

## 1. PREMESSE

### 1.1 Introduzione

La presente relazione è finalizzata alla verifica della tracimazione in corrispondenza della diga di Punta Riso.

Tale verifica si rende necessaria in quanto a tergo della diga di sopraflutto del porto di Brindisi (diga di Punta Riso) nel nuovo PRP è stata prevista la localizzazione di nuove infrastrutture portuale.

In particolare, nello specchio acqueo a tergo del tratto iniziale della diga, compreso tra il radicamento a terra e l'isola di S. Andrea (primo tratto diga di Punta Riso - sezione tipo A nel seguito), sono localizzate le infrastrutture dedicate alla nautica da diporto, mentre a tergo del tratto di diga successivo alla isola di S. Andrea è stata prevista la realizzazione di un nuovo terminal per navi da crociera (secondo tratto diga di Punta Riso - sezione tipo B nel seguito).

Per completezza di trattazione lo studio è stato esteso a tutta la diga di Punta Riso così da fornire un quadro di riferimento complessivo ed esaustivo del fenomeno.

### 1.2 Obiettivi

Per effettuare la verifica sono stati ripresi i risultati ottenuti nell'ambito dello studio meteomarino (rif. Elaborato 21\_21\_P\_R\_003\_0\_MAR\_Studio\_meteomarino), dal quale si è evinto che i possibili fenomeni di tracimazione della diga di Punta Riso sono dovuti a stati di mare provenienti dal settore di traversia di Nord-Ovest/Nord-Est.

Per l'analisi è stato necessario stabilire a priori le forzanti meteomarine rappresentative di stati di mare estremi associati a prefissati tempi di ritorno per i quali si è fatto riferimento al suddetto studio meteomarino.

## 2. CALCOLO DELLA TRACIMAZIONE (OVERTOPPING)

### 2.1 Dati di base

I dati di base utilizzati per lo svolgimento dello studio sono i seguenti:

- **Studio Meteomarino**

Lo studio di riferimento (rif. Elaborato 21\_21\_P\_R\_003\_0\_MAR\_Studio\_meteomarino) riporta l'analisi del moto ondoso sulla base delle registrazioni della boa ondometrica RON di Monopoli e di due punti di ricostruzione del moto ondoso ERA5, opportunamente calibrati tramite confronto con le misure ondometriche. È inoltre contenuta l'analisi delle misure di livello del mare registrate dalla stazione mareografica del Porto di Brindisi gestita dall' Autorità di Bacino Regione Puglia nell'ambito del Progetto SIMOP. L'analisi dei risultati dello studio meteomarino ha permesso di definire le forzanti meteomarine in prossimità del Molo sopraflutto di Punta Riso da utilizzare in seguito per la modellazione numerica.

- **Elaborati grafici di progetto del Molo sopraflutto**

Per l'individuazione delle caratteristiche geometriche della diga di sopraflutto in corrispondenza delle sezioni scelte per lo studio della tracimazione, necessarie ai fini del calcolo della portata, si è fatto riferimento ai documenti forniti dall'Ufficio del Genio Civile per le Opere Marittime di Bari riportanti le caratteristiche geometriche di cinque sezioni tipo rilevate in corrispondenza di alcuni tratti della diga di Punta Riso.

### 2.2 Metodologia

Per la previsione della portata di tracimazione è stato applicato il modello di rete neurale **NN OVERTOPPING**. Questo modello è stato sviluppato da Deltares sulla base di 8372 combinazioni di input-output ottenute da misure di tracimazione effettuate su modelli in scala in diversi istituti di ricerca. Ulteriori informazioni sono disponibili presso il sito: <http://nn-overtopping.deltares.nl>.

Tuttavia, alcune strutture speciali, come i cassoni, non fanno parte del database di esperimenti del modello NNO. Per una delle sezioni in esame, del tipo a cassone, la tracimazione è stata indagata tramite l'applicazione di una procedura suggerita dal manuale EuroTop 2018 valida per sezioni composte (paragrafo 7.3.4 "Composite vertical walls", pag. 205) le cui caratteristiche geometriche sono equiparabili alla sezione composta caratterizzata dalla presenza di un cassone (Sez. D).

Lo studio è finalizzato alla valutazione delle portate di tracimazione in condizioni limite di esercizio, che si possono verificare con una frequenza di accadimento di circa 10 anni. Sono stati inoltre analizzati i fenomeni di tracimazione associati a stati di mare con tempo di ritorno 2 anni e 50, anni rappresentativi rispettivamente di condizioni che si possono verificare frequentemente e di condizioni estreme per l'opera.

### 2.2.1 Scelta e geometria delle sezioni trasversali di calcolo

Le figure che seguono mostrano, percorrendo la diga di Punta Riso dal radicamento a terra alla testata, la posizione delle sezioni trasversali in corrispondenza delle quali è stata effettuata la verifica all'overlapping.

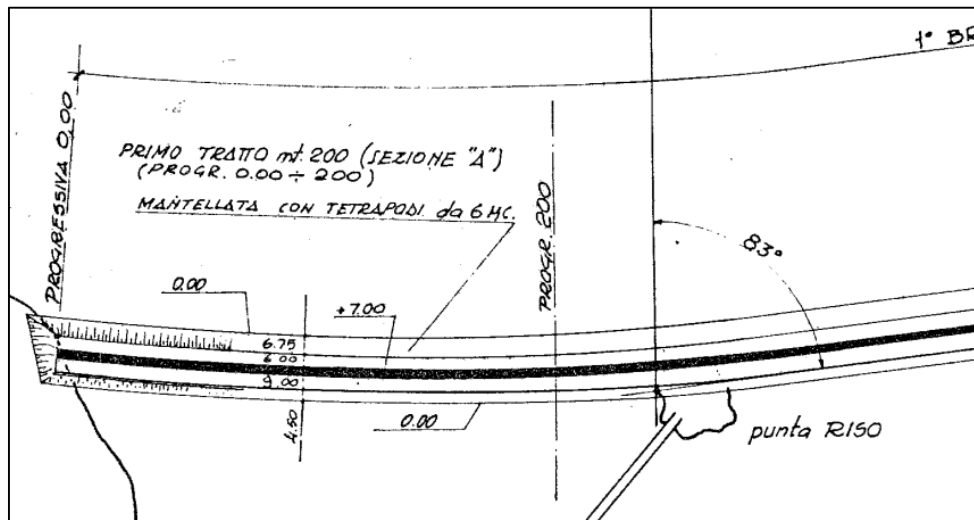


Figura 2-1. Primo tratto diga di Punta Riso - Posizione sezione tipo A (estratto documenti Ufficio Genio Civile di Bari).

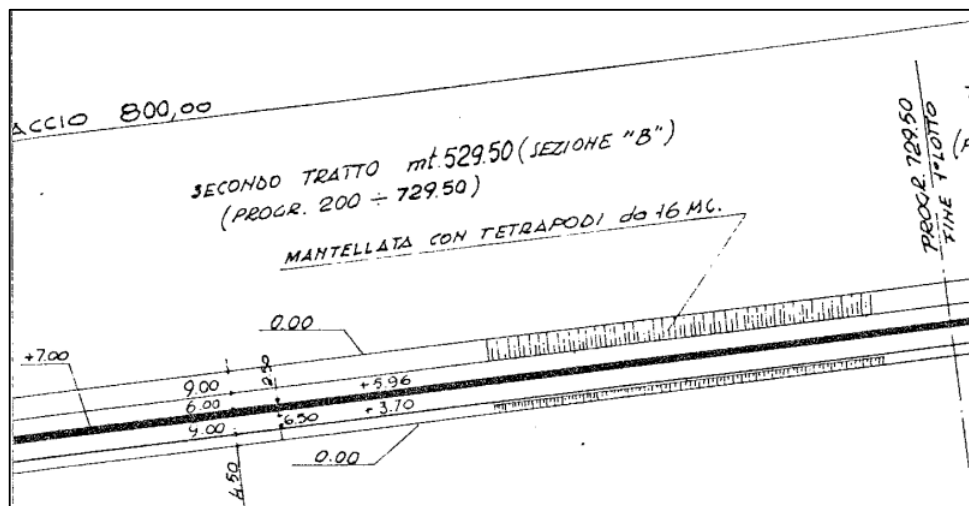


Figura 2-2. Secondo tratto diga di Punta Riso - Posizione sezione tipo B (estratto documenti Ufficio Genio Civile di Bari).

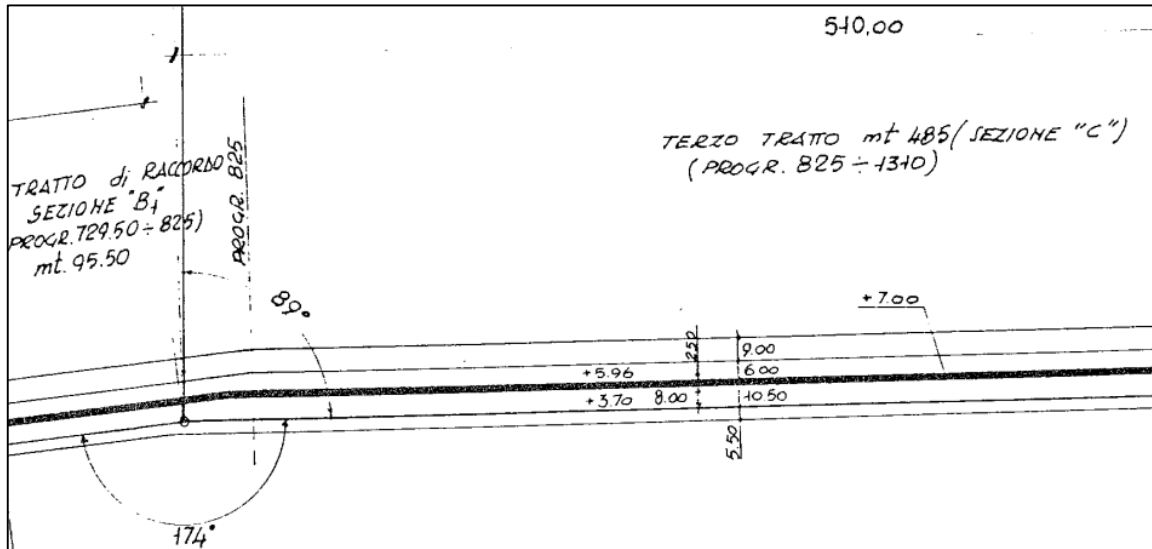


Figura 2-3. Terzo tratto diga di Punta Riso - Posizione sezione tipo B1 e C (estratto documenti Ufficio Genio Civile di Bari).

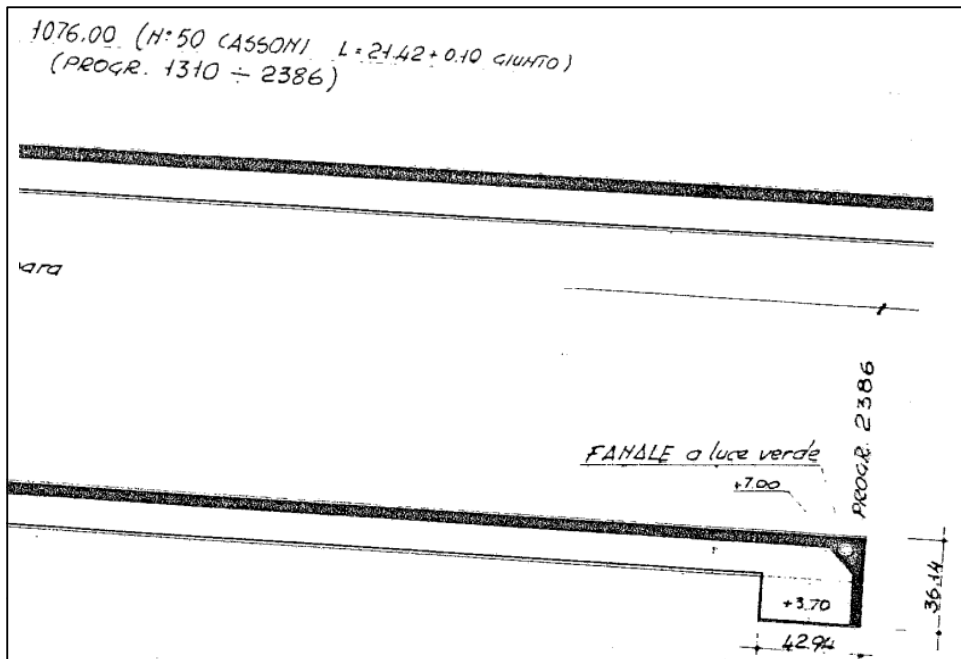
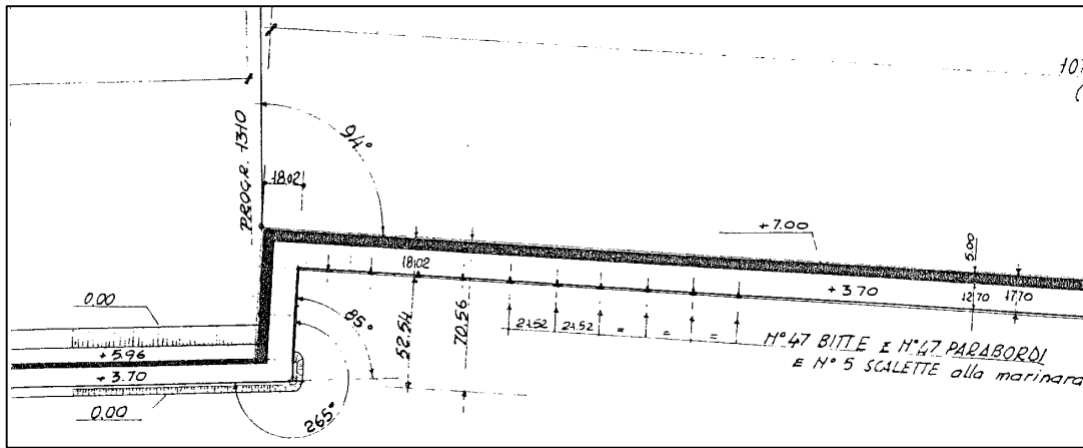


Figura 2-4. Quarto tratto diga di Punta Riso - Posizione sezioni composte: CASSONI (estratto documenti Ufficio Genio Civile di Bari).

Come anticipato in precedenza, per la definizione della geometria delle sezioni trasversali della diga di Punta Riso, necessaria per il calcolo della portata di traccimazione, si è fatto riferimento ai documenti forniti dall'Ufficio del Genio Civile per le Opere Marittime di Bari. Le figure che seguono riportano gli estratti dei documenti relativi alle configurazioni geometriche delle sezioni da verificare. Dato che le caratteristiche geometriche delle sezioni tipo B e B1 sono identiche sono state considerate, in seguito, solo le informazioni relative alla sezione tipo B.

### SEZIONE TIPO A

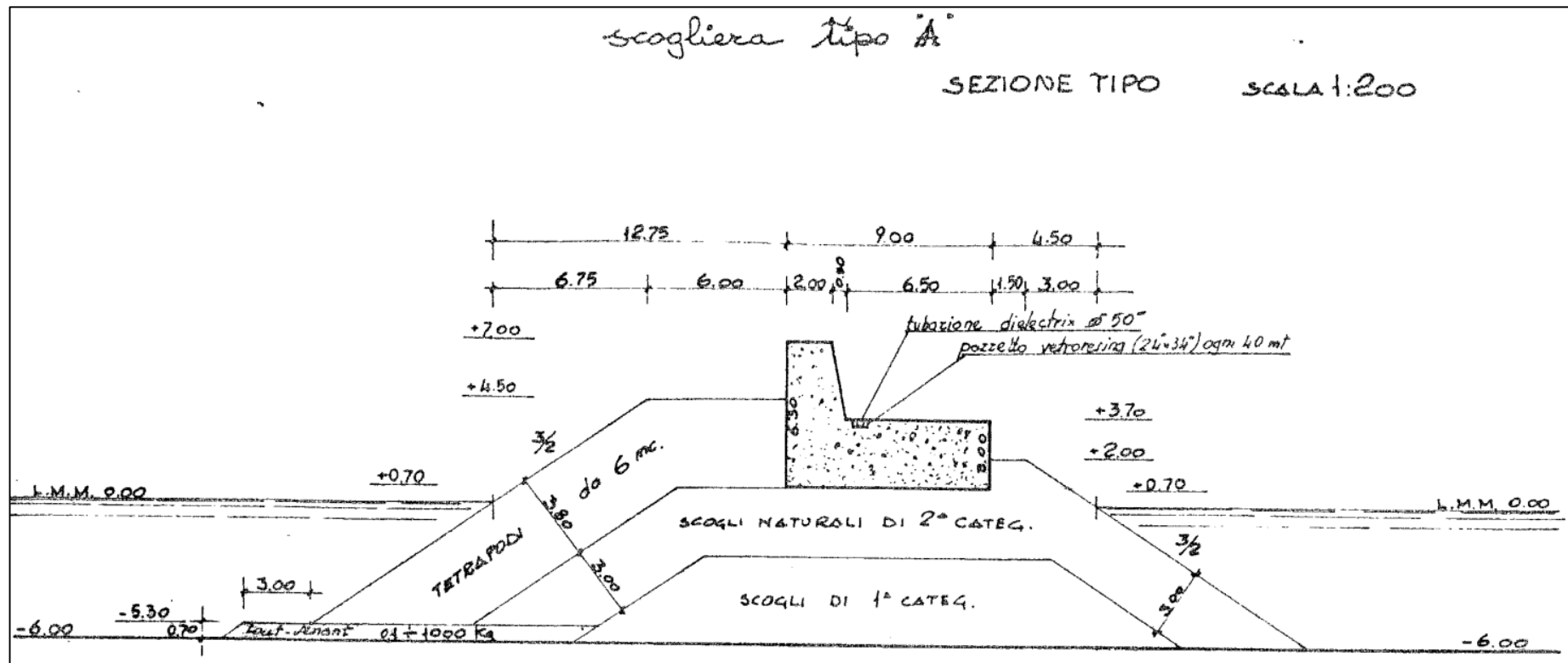


Figura 2-5. Sezione tipo A.

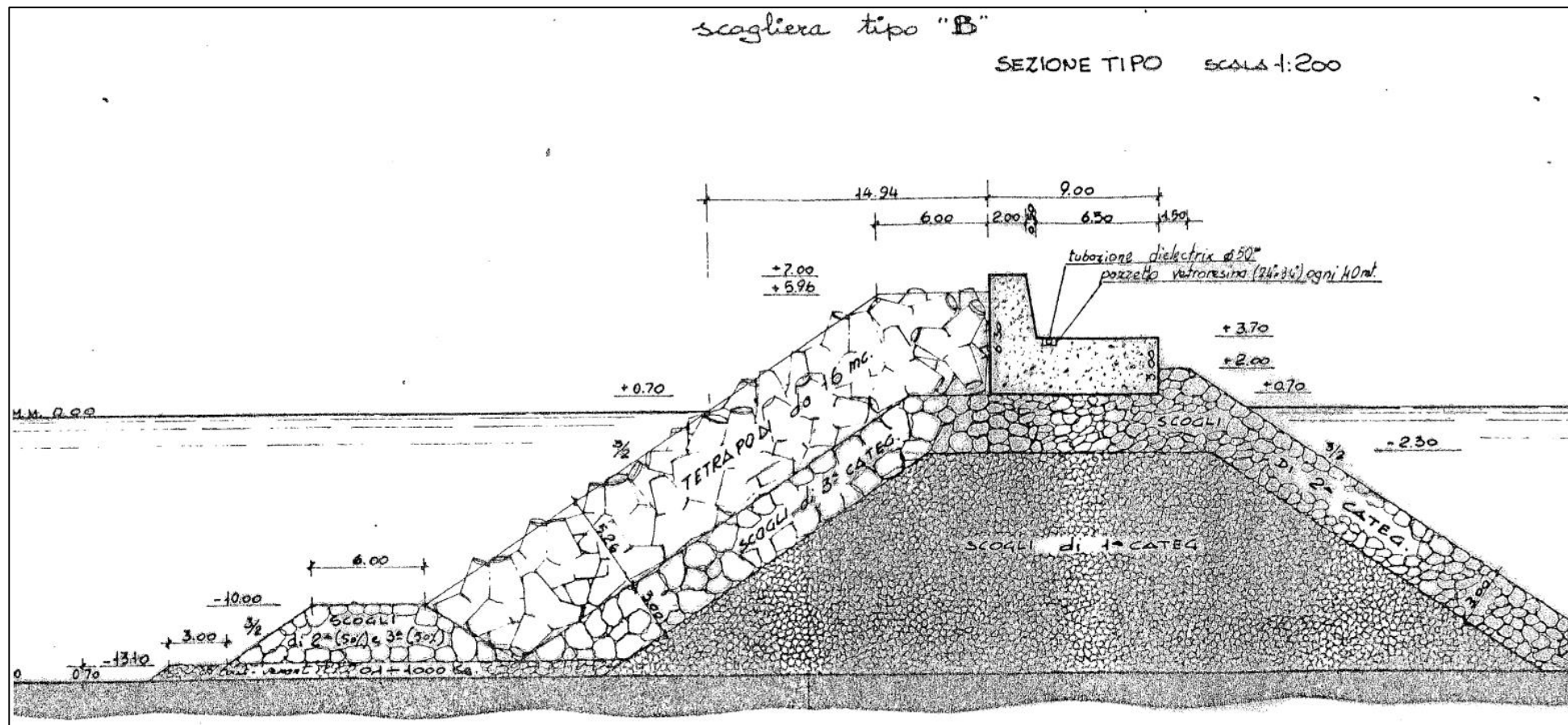
**SEZIONE TIPO B**

Figura 2-6. Sezione tipo B.



**SEZIONE TIPO B1**

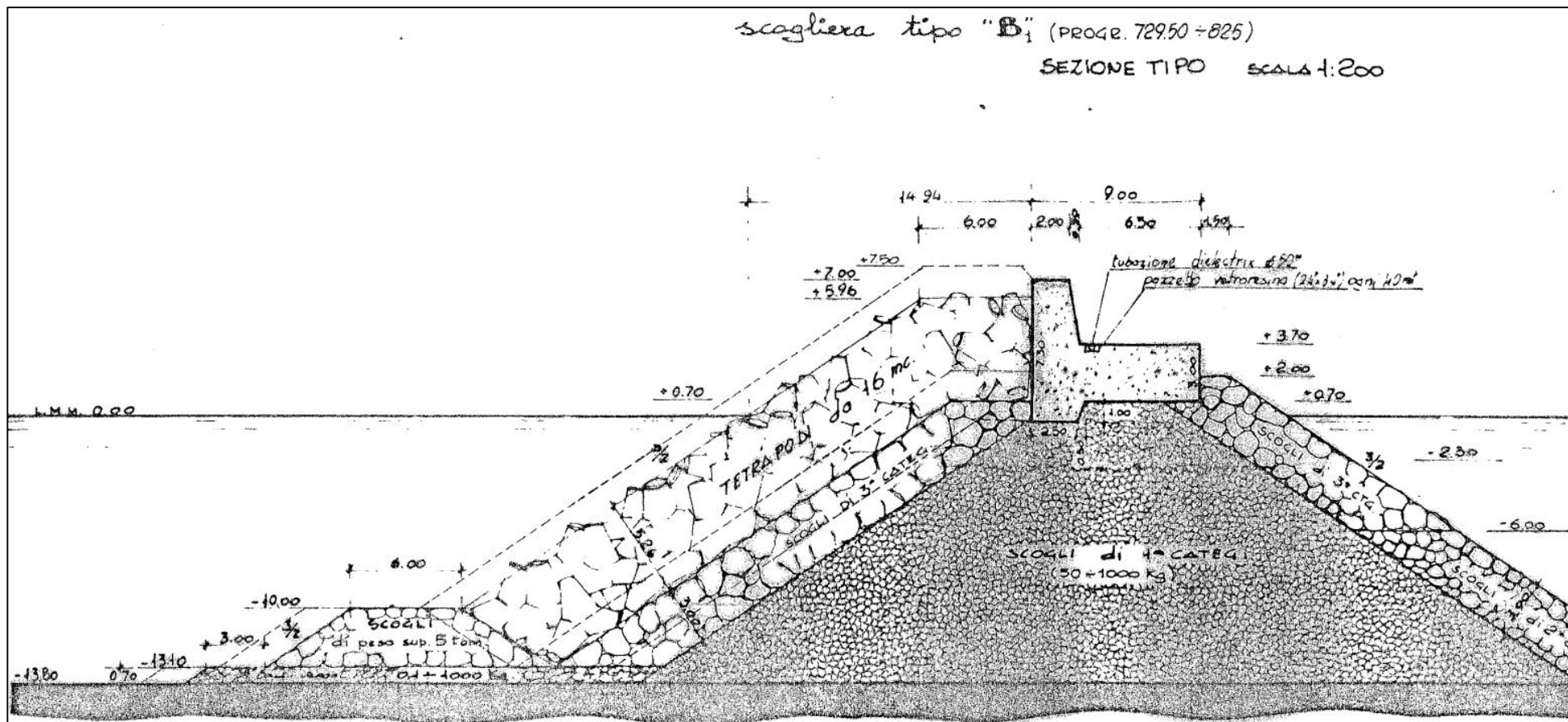


Figura 2-7. Sezione tipo B1

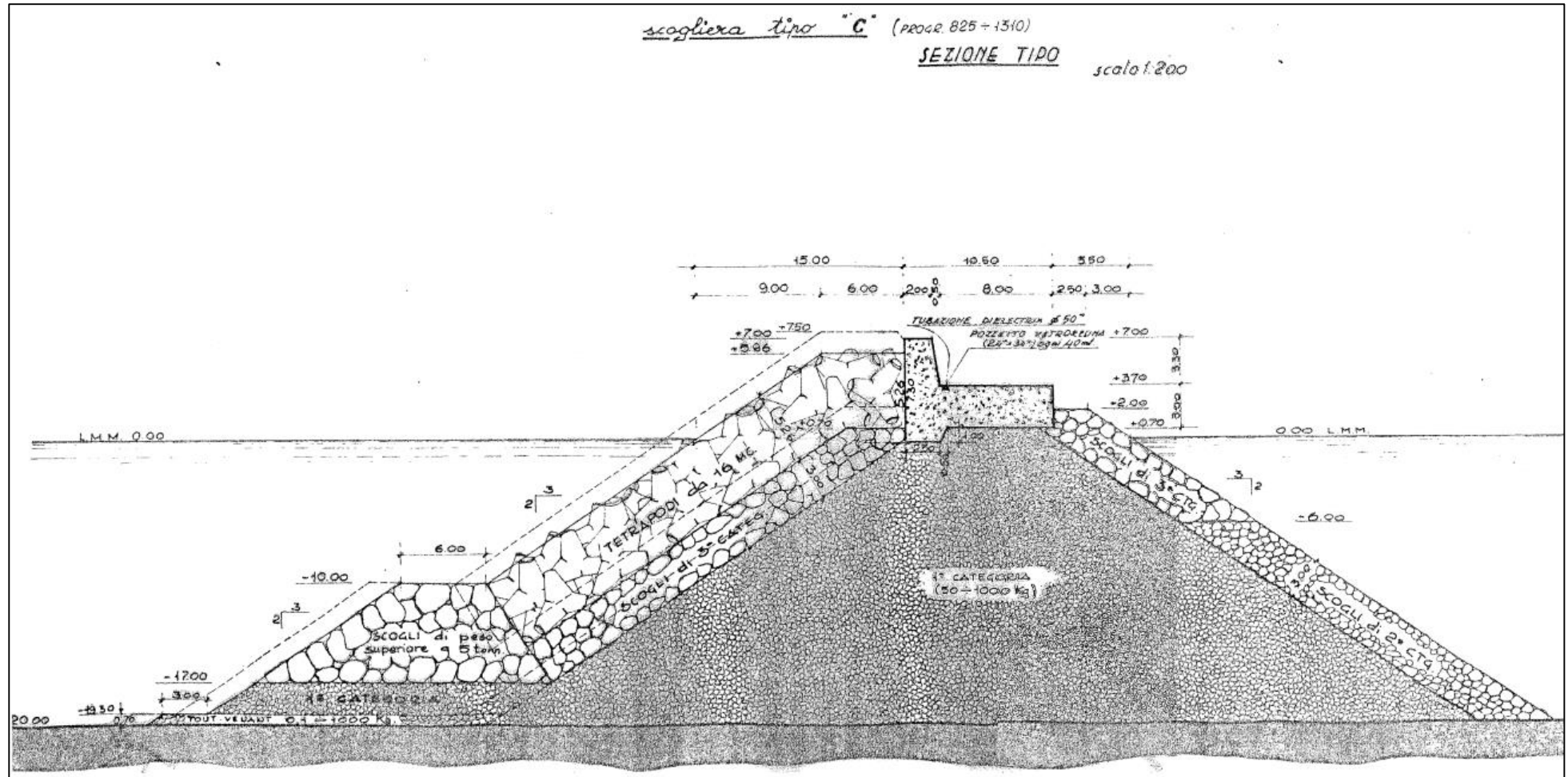
**SEZIONE TIPO C**

Figura 2-8. Sezione tipo C

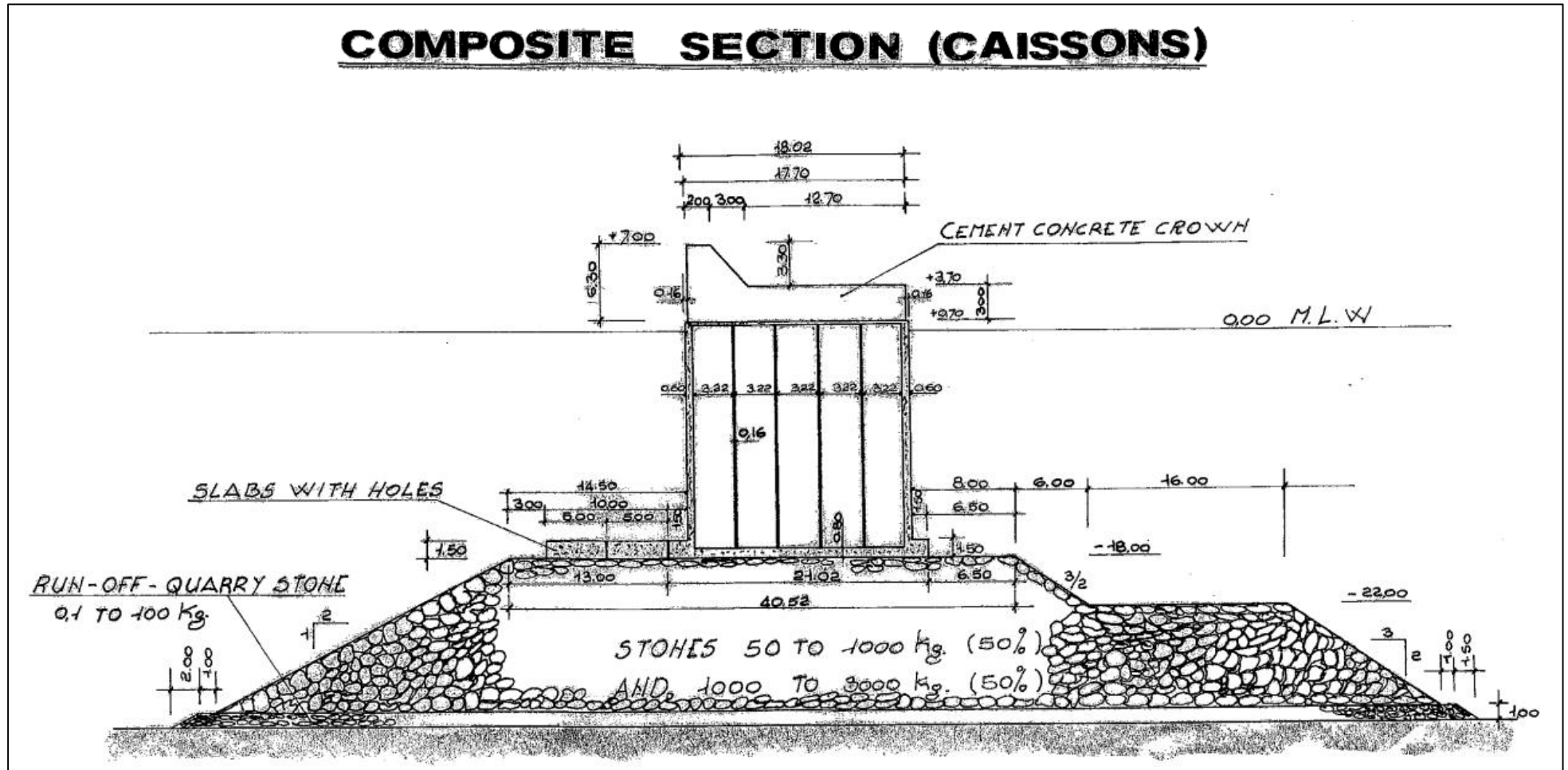
**SEZIONE D COMPOSTA (CASSONI)**

Figura 2-9. Sezione composta (cassoni)

### 2.2.2 Analisi delle forzanti meteomarine

Lo studio meteomarino (rif. Elaborato 21\_21\_P\_R\_003\_0\_MAR\_Studio\_meteomarino) riporta una trattazione completa ed esaustiva dei fattori meteomarini significativi per il paraggio di Brindisi. Nei paragrafi seguenti è presentata una sintesi di parte dei contenuti dello studio, finalizzata alla definizione delle forzanti meteomarine e degli stati di mare estremi per il calcolo della traccimazione.

### 2.2.3 Propagazione degli stati di mare ERA5 calibrati

Per la definizione delle condizioni di moto ondoso si è fatto riferimento a un punto P0, di coordinate 18.004 °E - 40.663 °N (Figura 2-10), situato in prossimità del porto di Brindisi (batimetrica -30 m), a circa 630 m dalla testata della diga di Punta Riso. Le condizioni di moto ondoso relative a tale punto sono state determinate tramite propagazione con modello di inversa spettrale di una serie storica ERA5 opportunamente calibrata (per dettagli sulla calibrazione si rimanda alla relazione completa sullo studio meteomarino).

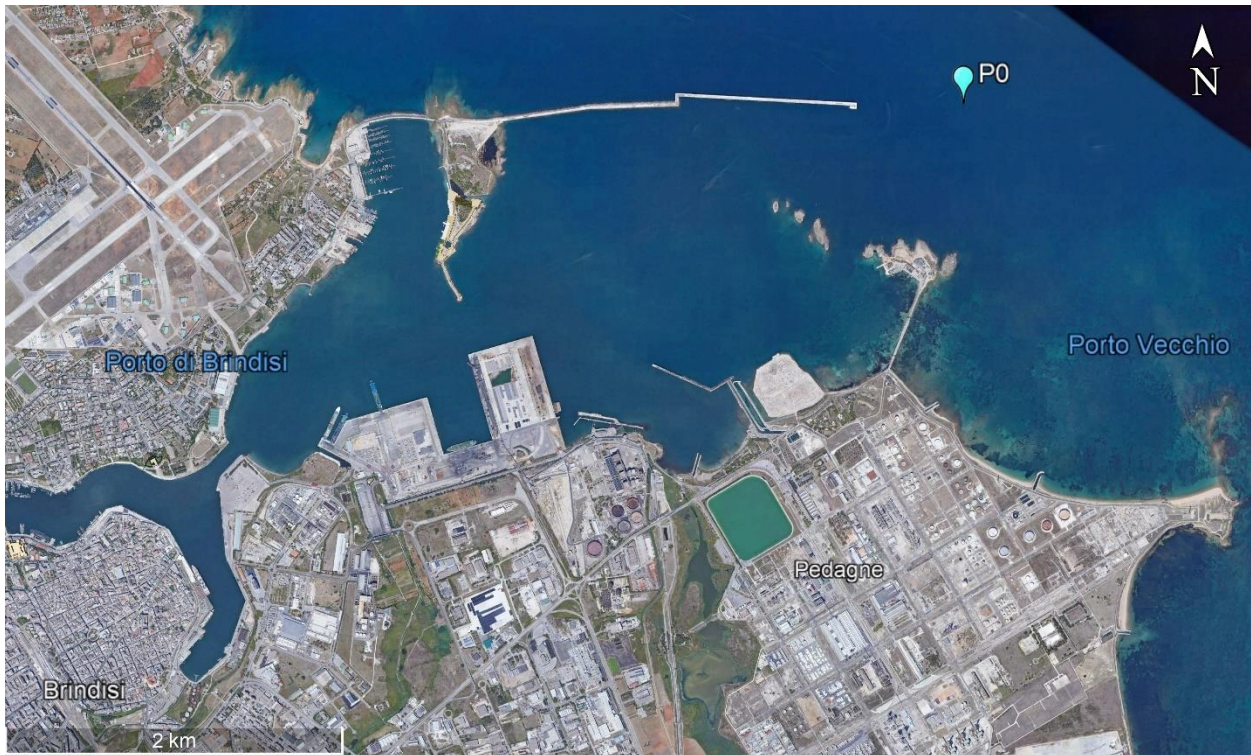
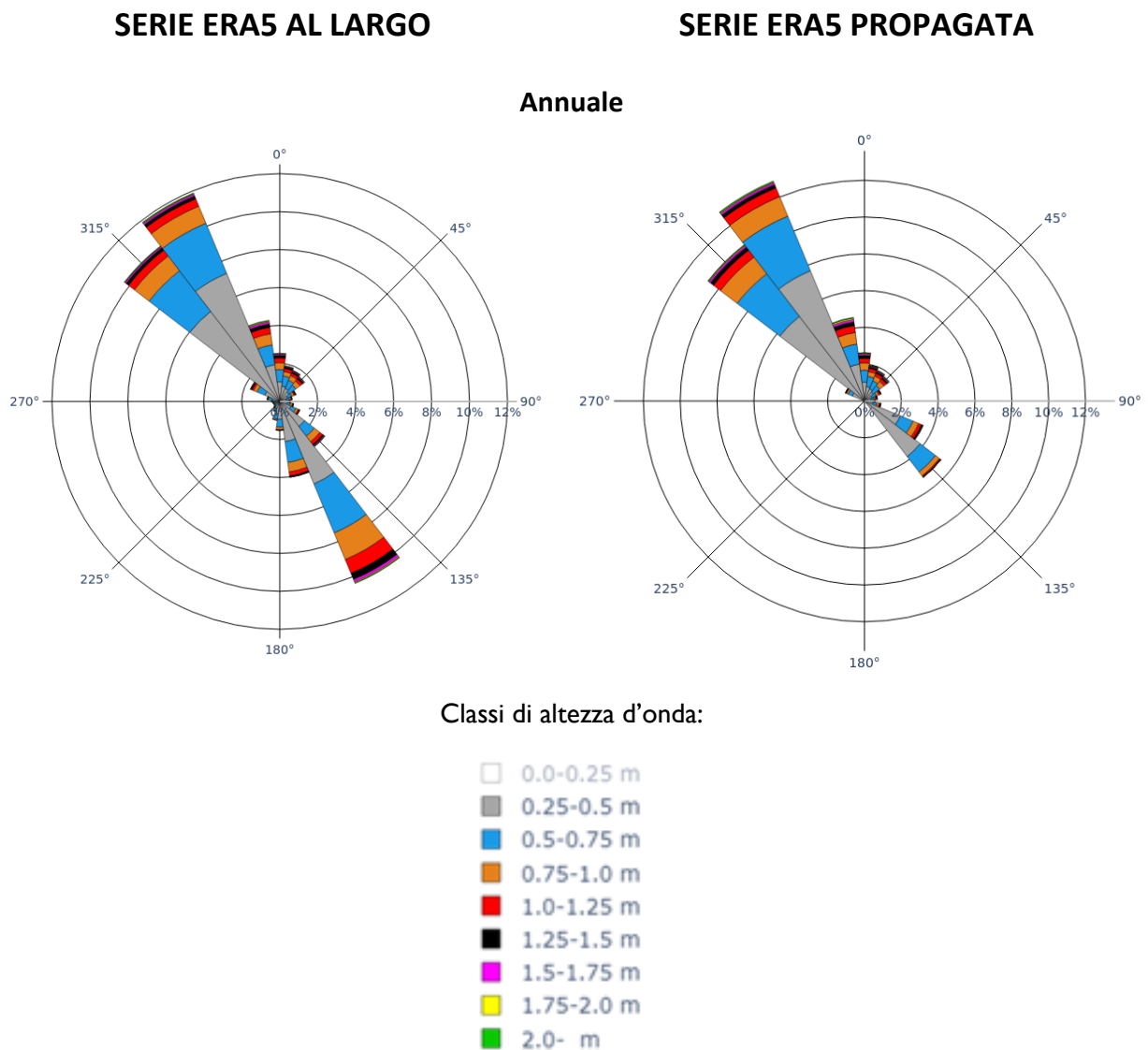


Figura 2-10. Posizione del punto P0 (coordinate 18.004 °E - 40.663 °N).

## 2.2.4 Distribuzione direzionale degli eventi ERA5 propagati

L'applicazione del modello di rifrazione inversa spettrale ha consentito di propagare nel punto P0 tutti gli stati di mare della serie storica 1979-2021 al largo di Brindisi e di valutare pertanto le caratteristiche del clima di moto ondoso in prossimità del porto.

Confrontando la rosa delle onde annuale del punto ERA5 al largo con quelle relative al punto di propagazione P0 (Figura 2-11), risulta evidente che il settore di maestrale non presenta significative variazioni sia in termini di frequenza che intensità degli stati di mare, mentre il settore di scirocco subisce una leggera rotazione verso Est (stabilizzandosi sui 135°N), imputabile all'effetto schermo della costa e alla rifrazione.



**Figura 2-11. Confronto rose annuali di distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso tra la serie storica ERA5 calibrata al largo di Brindisi e la stessa serie propagata nel punto P0 in prossimità del porto - Periodo di riferimento 1979-2021.**

### 2.2.5 Distribuzione degli eventi in relazione al periodo medio del moto ondoso

Al fine di individuare la legge di dipendenza tra il periodo medio delle onde  $T_m$  e l'altezza d'onda significativa  $H_s$  si è fatto riferimento alla seguente relazione (Mathiesen et al., 1994), utilizzata anche nell'Atlante delle Onde Italiane edito da ISPRA:

$$T_m = a \cdot (H_s)^b$$

I parametri  $a$  e  $b$  possono essere ricavati dall'analisi di correlazione tra i valori della serie.

Per individuare la legge di dipendenza si è fatto riferimento agli eventi di moto ondoso con altezza d'onda significativa  $H_s \geq 1$  m appartenenti al settore omnidirezionale 0-360 °N.

In Figura 2-12 è riportata la funzione di correlazione tra  $T_m$  e  $H_s$  trovata con il metodo dei minimi quadrati per i dati della serie storica propagata, considerando tutte le direzioni. Sui lati superiore e destro del grafico, inoltre, vengono riportati gli istogrammi di frequenza assoluta relativi alle altezze e ai periodi d'onda.

L'analisi condotta ha permesso di determinare i parametri della legge di adattamento riportati nella seguente Tabella 2-1.

Tabella 2-1. Parametri legge di dipendenza tra il periodo medio delle onde  $T_m$  e l'altezza d'onda significativa  $H_s$  per il settore omnidirezionale.

$T_m = a \cdot (H_s)^b$	Parametro (a)	Parametro (b)
omnidirezionale 0-360 °N	5.029	0.323

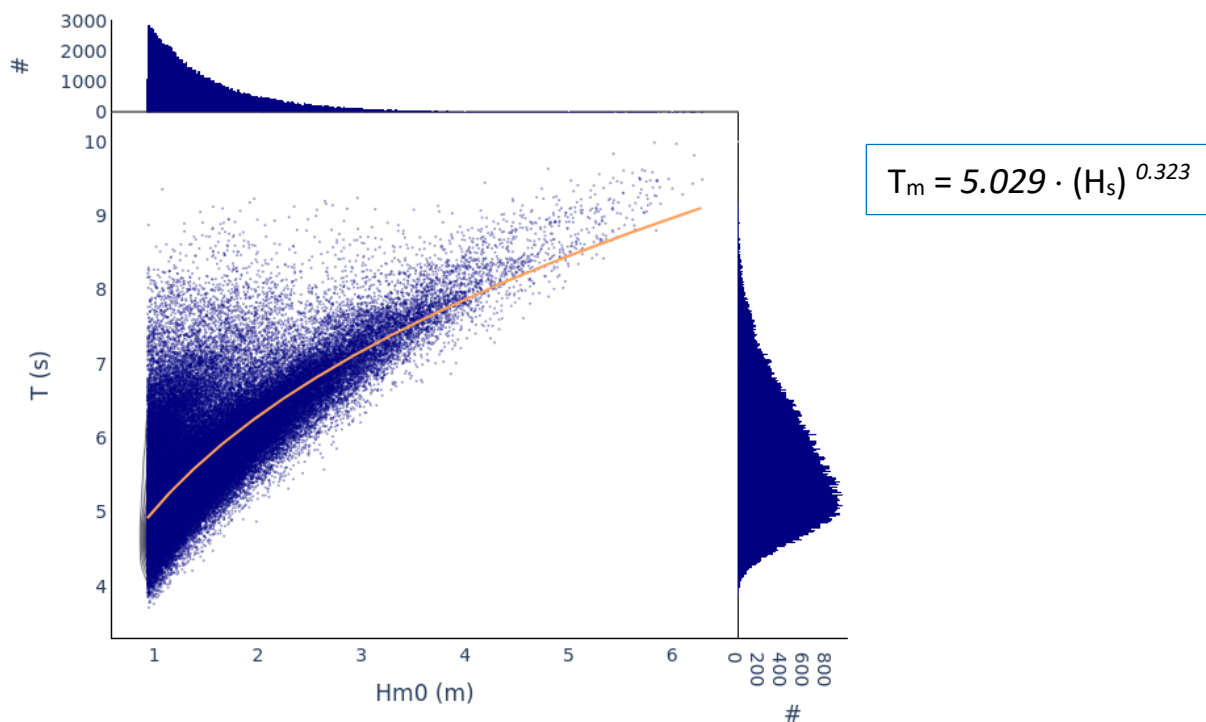


Figura 2-12. Correlazione altezza – periodo per i dati della serie ERA5 propagata. Analisi omnidirezionale 0-360 °N.

## 2.2.6 Statistica degli eventi estremi (metodo dei massimi annuali)

L'analisi statistica dei valori estremi estratti dalla serie storica dei dati ERA5, relativi al punto P0, ha permesso di individuare i settori di provenienza degli stati di mare più intensi. Come è possibile osservare sia dallo scatter diagram di Figura 2-13 che dall'elenco riportato in Tabella 2-2

Tabella 2-2, infatti, la maggior parte degli eventi estremi proviene dai settori maestrale e tramontana (315-22 °N) e, con minor numerosità, da grecale (45 °N). L'evento estremo proveniente da levante (90°N) può essere scartato dall'analisi in quanto la direzione di provenienza dell'eventuale onda incidente (praticamente parallela alla diga) è trascurabile ai fini della tracimazione.

In particolare, in riferimento ai primi 10 eventi riportati in Tabella 2-2, in termini di intensità dell'evento, gli stati di mare più critici e intensi che superano i 6 m di altezza d'onda provengono da maestrale-tramontana (319-344 °N). Non vanno sottovalutati, anche se di intensità relativamente minore (5.64 e 5.48 m), gli eventi provenienti da grecale (39-45°N) che sono caratterizzati da una direzione di provenienza speculare a quella del settore maestrale-tramontana e, pertanto, pericolosa in termini di tracimazione ondosa.

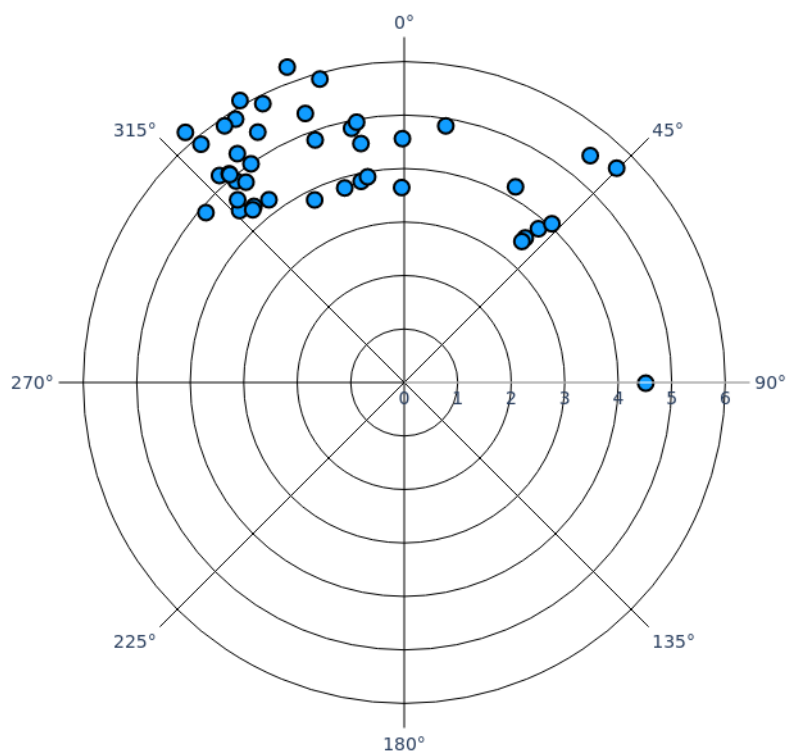


Figura 2-13. Massimi annuali di altezza d'onda significativa nel punto P0 (periodo 1979-2021) - Omnidirezionale.

Tabella 2-2. Elenco degli eventi estremi di moto ondoso ricostruiti nel punto P0 tra il 1979 e il 2021.

i	Data	H <sub>s</sub> [m]	Dir [°N]	Tm [s]	Velocità vento [m/s]	Dir [°N]
<b>1</b>	<b>2012-01-07 00:00:00</b>	<b>6.29</b>	<b>340</b>	<b>9.5</b>	<b>17.55</b>	<b>349</b>
<b>2</b>	<b>2004-01-15 20:00:00</b>	<b>6.21</b>	<b>319</b>	<b>9.8</b>	<b>17.42</b>	<b>315</b>
<b>3</b>	<b>1982-03-12 07:00:00</b>	<b>6.1</b>	<b>330</b>	<b>9.3</b>	<b>17.62</b>	<b>344</b>
<b>4</b>	<b>2020-02-06 00:00:00</b>	<b>5.89</b>	<b>344</b>	<b>9.2</b>	<b>18.22</b>	<b>-6</b>
<b>5</b>	<b>2009-10-13 06:00:00</b>	<b>5.86</b>	<b>325</b>	<b>9.5</b>	<b>16.36</b>	<b>327</b>
<b>6</b>	<b>1999-06-22 17:00:00</b>	<b>5.86</b>	<b>320</b>	<b>9.5</b>	<b>16.87</b>	<b>321</b>
<b>7</b>	<b>1980-01-01 07:00:00</b>	<b>5.85</b>	<b>327</b>	<b>9.5</b>	<b>16.69</b>	<b>331</b>
<b>8</b>	<b>1983-01-31 18:00:00</b>	<b>5.85</b>	<b>333</b>	<b>8.8</b>	<b>18.77</b>	<b>346</b>
<b>9</b>	<b>2019-02-23 12:00:00</b>	<b>5.64</b>	<b>45</b>	<b>8.8</b>	<b>16.74</b>	<b>58</b>
<b>10</b>	<b>1983-12-01 21:00:00</b>	<b>5.48</b>	<b>39</b>	<b>8.8</b>	<b>16.13</b>	<b>40</b>
11	2018-01-18 02:00:00	5.42	330	8.8	17.92	334
12	1981-01-16 15:00:00	5.36	340	8.7	16.95	344
13	2013-03-21 20:00:00	5.3	324	8.9	16.31	328
14	1986-12-20 03:00:00	5.19	318	9.0	15.74	316
15	1995-03-28 21:00:00	5.09	320	8.3	15.88	320
16	2021-03-15 15:00:00	5.07	320	8.6	16.79	318
17	2007-02-13 22:00:00	4.99	325	8.8	16.09	330
18	2016-12-28 19:00:00	4.95	350	8.5	15.36	7
19	1990-02-13 16:00:00	4.91	320	8.9	15.93	321
20	1993-03-28 10:00:00	4.88	311	9.3	14.82	294
21	2008-02-16 20:00:00	4.86	9	8.3	14.77	21
22	1994-01-29 18:00:00	4.85	348	8.7	15.54	4
23	2001-11-24 15:00:00	4.83	340	8.7	14.57	341
24	2014-05-14 17:00:00	4.77	322	8.7	15.33	319
25	1999-11-23 23:00:00	4.62	318	8.4	15.66	316
26	1991-12-07 23:00:00	4.56	0	8.2	14.87	5
27	1997-02-28 07:00:00	4.54	350	8.4	14.7	8
28	2005-12-11 14:00:00	4.51	90	8.0	14.73	104
29	1989-03-02 14:00:00	4.45	316	8.6	14.89	311
30	1995-11-18 22:00:00	4.33	320	7.6	16.16	332
31	2001-06-04 12:00:00	4.29	319	8.6	13.41	319
32	2016-04-26 01:00:00	4.25	323	8.1	15.0	325
33	2011-03-08 00:00:00	4.21	30	7.8	14.27	36
34	2015-01-01 00:00:00	4.05	43	7.8	14.58	36
35	2008-12-21 17:00:00	3.91	350	7.3	15.13	-2
36	1985-02-24 22:00:00	3.85	348	7.7	14.0	14
37	1998-03-25 23:00:00	3.82	41	7.6	14.81	34
38	1986-01-17 01:00:00	3.8	343	7.2	14.81	347
39	1988-02-01 06:00:00	3.8	334	7.6	14.09	339
40	2005-02-03 02:00:00	3.65	-1	7.2	14.22	2
41	1990-12-06 12:00:00	3.53	40	7.4	13.73	28
42	2003-01-11 21:00:00	3.43	40	7.4	12.51	26



### 2.2.7 Scelta della direzione degli stati di mare

Per motivi di carattere cautelativo i calcoli relativi alla tracimazione sono stati effettuati con riferimento a direzioni di provenienza del moto ondoso che ci si attende rappresentino un pericolo maggiore in termini di tracimazione.

La direzione di provenienza degli stati di mare estremi è compresa nel settore da 315°N a 45°N. Dal momento che la diga si sviluppa in direzione Ovest-Est (Figura 2-14), si è ritenuto opportuno effettuare le verifiche di tracimazione con riferimento alla sola direzione di provenienza 0°N.

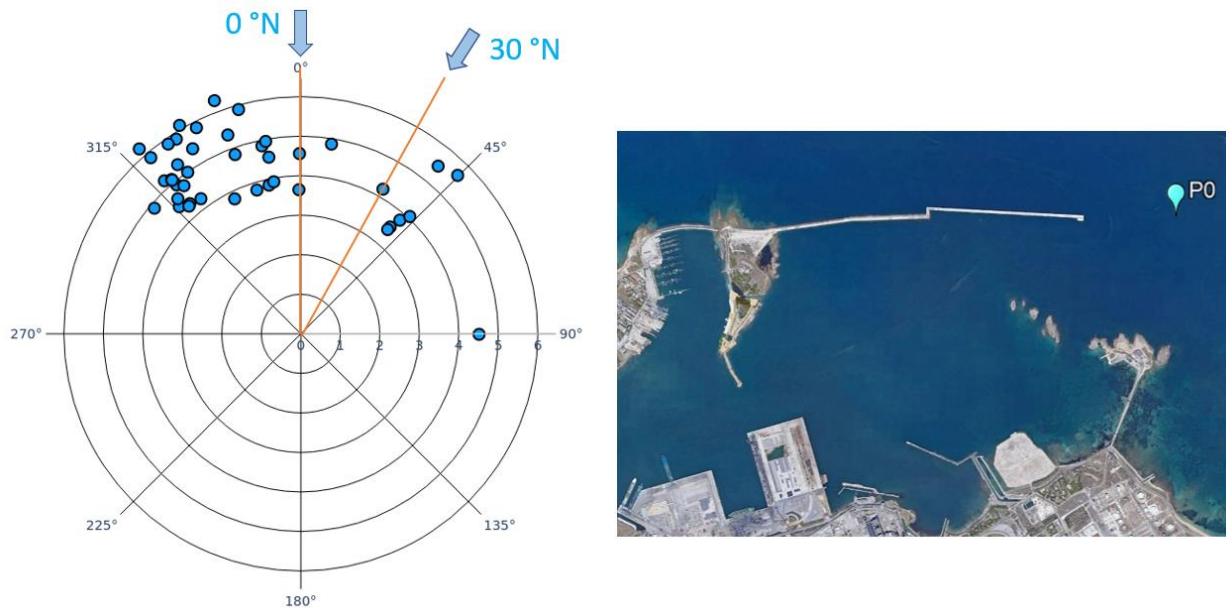


Figura 2-14. Scelta delle direzioni di provenienza delle onde estreme.

### 2.2.8 Scelta dei tempi di ritorno, altezze e periodi d'onda degli stati di mare

Come anticipato nella premessa, lo studio è finalizzato alla valutazione delle portate e dei volumi di tracimazione in condizioni limite di esercizio, che si possono verificare con una frequenza di accadimento di circa 10 anni. Sono stati inoltre analizzati i fenomeni di tracimazione associati a stati di mare con tempo di ritorno di 2 anni e 50 anni rappresentativi rispettivamente di condizioni che si possono verificare in media una volta l'anno e di condizioni estreme per l'opera.

Utilizzando i risultati delle elaborazioni effettuate nell'ambito dello studio meteomarinario, sono state determinate le altezze d'onda corrispondenti ai tempi di ritorno scelti per le simulazioni. Si riporta ad esempio (Figura 2-15) il diagramma altezza d'onda – tempi di ritorno. Per ciascuno stato di mare estremo è stato inoltre calcolato il periodo medio secondo la legge di correlazione H-T riportata nel paragrafo 2.2.5.

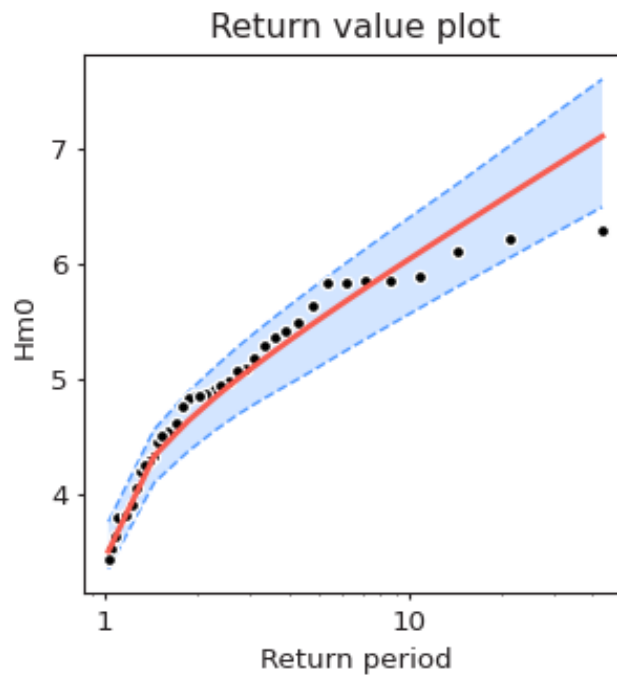


Figura 2-15. Curva altezza d'onda – tempi di ritorno (estratto dallo studio meteomarin).

### 2.2.9 Scelta degli stati di mare

Gli stati di mare scelti per la verifica con il modello NNO e con le formule dell'EuroTop sono riportati nella Tabella 2-3.

Tabella 2-3. Stati di mare scelti per la verifica della traccimazione.

ID	Tempo di ritorno	Hs	Tm	Dir
	[anni]	[m]	[s]	[°N]
1	2	4.73	8.3	0
2	10	6.04	9.0	0
3	50	7.21	9.5	0

## 2.2.10 Calcolo della tracimazione con modello NNO – Sezioni tipo (A, B, C)

### 2.2.11 Parametri di input per il modello di calcolo

Per il calcolo della tracimazione è necessario fornire al modello NNO due gruppi di parametri: il primo riguarda le caratteristiche spettrali del moto ondoso incidente al piede dell'opera (altezza, periodo e direzione). L'altezza d'onda al piede dell'opera è stata ricavata a partire dalle condizioni al punto P0, attraverso la seguente relazione valida nell'ambito della teoria lineare:

$$H_{m0,t} = H_s K_s = H_s \sqrt{\frac{c_{g0}}{c_{g,t}}}$$

Dove  $K_s$  è il coefficiente di shoaling definito dalla radice quadrata del rapporto tra la celerità di gruppo al largo ( $c_{g0}$ ) e al piede dell'opera ( $c_{g,t}$ ). In caso di onda frangente al piede dell'opera, si è fatto coincidere  $H_{m0,t}$  con l'altezza limite di frangimento (è stato adottato un indice di frangimento  $\gamma = 0.6$ ).

Per il calcolo del periodo d'onda medio al piede dell'opera si è fatto riferimento alla relazione presente nel manuale Eurotop 2018:

$$T_{m-1,0,t} \approx \frac{T_p}{1.1} = \frac{1.2}{1.1} T_m$$

Dove  $T_p$  è il periodo di picco e  $T_m$  è il periodo medio spettrale dell'onda al largo.

Il secondo gruppo di parametri è atto a descrivere la conformazione geometrica della sezione trasversale dell'opera da impostare sulla base della schematizzazione illustrata in Figura 2-16. I valori impiegati nei calcoli, relativamente alle sezioni studiate, sono riportati nella seguente sezione 2.2.12.

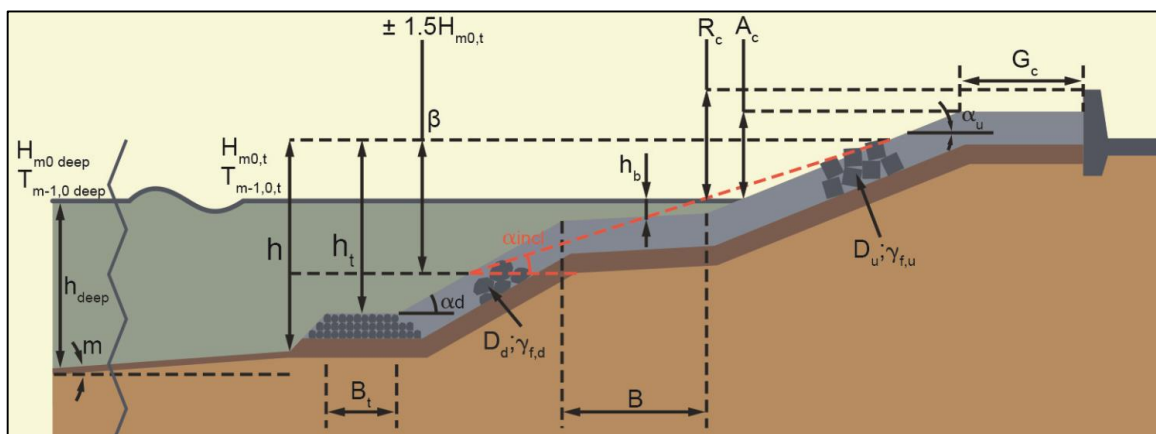


Figura 2-16. Parametri di input del modello NNO.

Tabella 2-4. Descrizione parametri di input del modello NNO.

PARAMETRO	UNITÀ DI MISURA	DESCRIZIONE
$H_{m0,t}$	[m]	Altezza d'onda significativa spettrale al piede dell'opera
$T_{m-1,0,t}$	[s]	Periodo medio spettrale al piede dell'opera
$\beta$	[°]	Direzione dell'onda rispetto alla "normale" all'asse longitudinale della diga
$h$	[m]	Tirante idrico del fondale al margine dell'opera
$h_t$	[m]	Tirante idrico sulla berma della scogliera al piede dell'opera
$B_t$	[m]	Larghezza della berma della scogliera al piede dell'opera
$\gamma_f$	[-]	Permeabilità della diga
$B$	[m]	Larghezza dell'eventuale berma lungo la mantellata
$h_b$	[m]	Tirante idrico sopra l'eventuale berma lungo la mantellata
$\tan \alpha_b$	[-]	Pendenza della berma lungo la mantellata
$\cotan \alpha_d$	[-]	Pendenza della mantellata nel tratto inferiore all'eventuale berma
$\cotan \alpha_u$	[-]	Pendenza della mantellata nel tratto superiore all'eventuale berma
$R_c$	[m]	Altezza di sommità dell'opera
$A_c$	[m]	Altezza della berma di sommità della mantellata
$G_c$	[m]	Larghezza della berma di sommità della mantellata
$D$	[m]	Dimensione dei massi di mantellata

## 2.2.12 Parametri geometrici delle sezioni

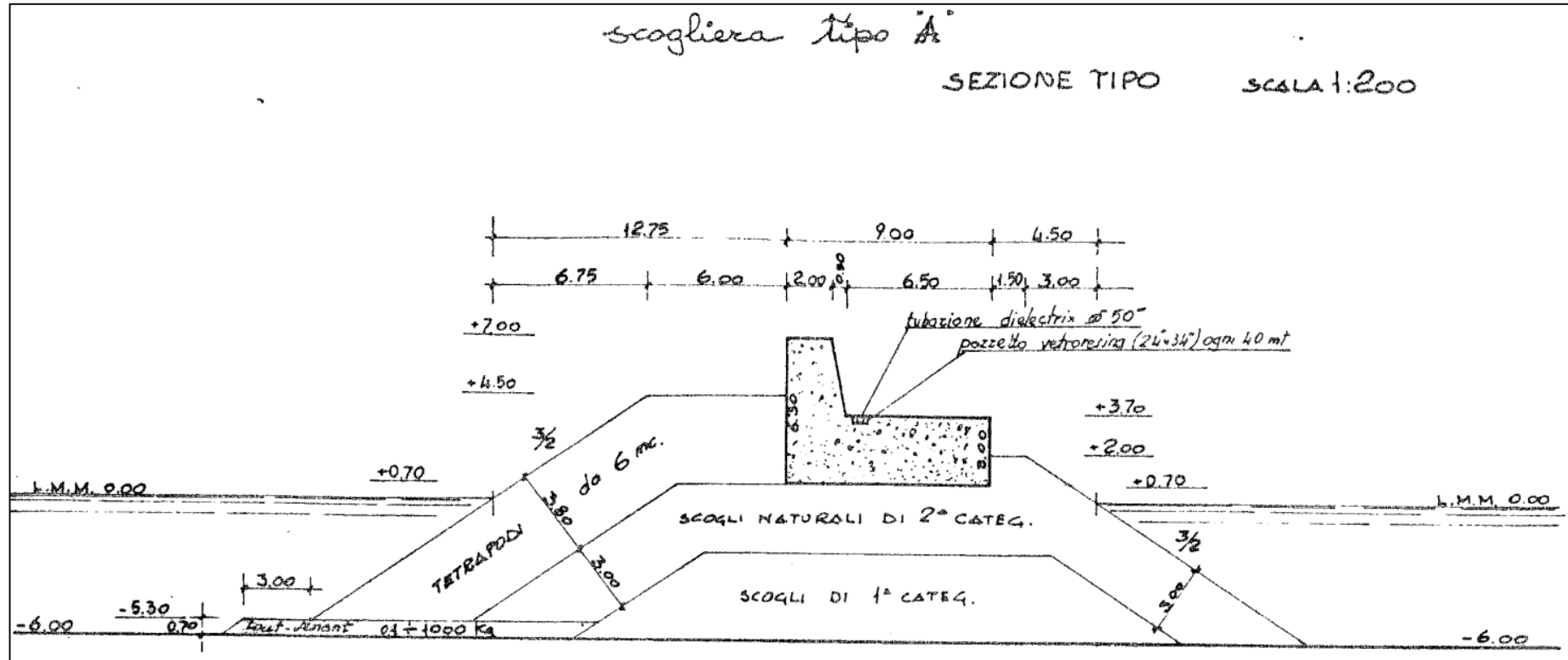
**SEZIONE TIPO A**

Tabella 2-5. Parametri geometrici della sezione di calcolo A inseriti nel codice NNO

h [m]	h <sub>t</sub> [m]	B <sub>t</sub> [m]	h <sub>b</sub> [m]	B [m]	cotan α <sub>d</sub> [-]	cotan α <sub>u</sub> [-]	tan α <sub>b</sub> [-]	γf [-]	D [-]	A <sub>c</sub> [m]	R <sub>c</sub> [m]	G <sub>c</sub> [m]
6.00	5.30	3.00	-	-	1.5	1.5	-	0.38	1.8	4.50	7.00	6.00

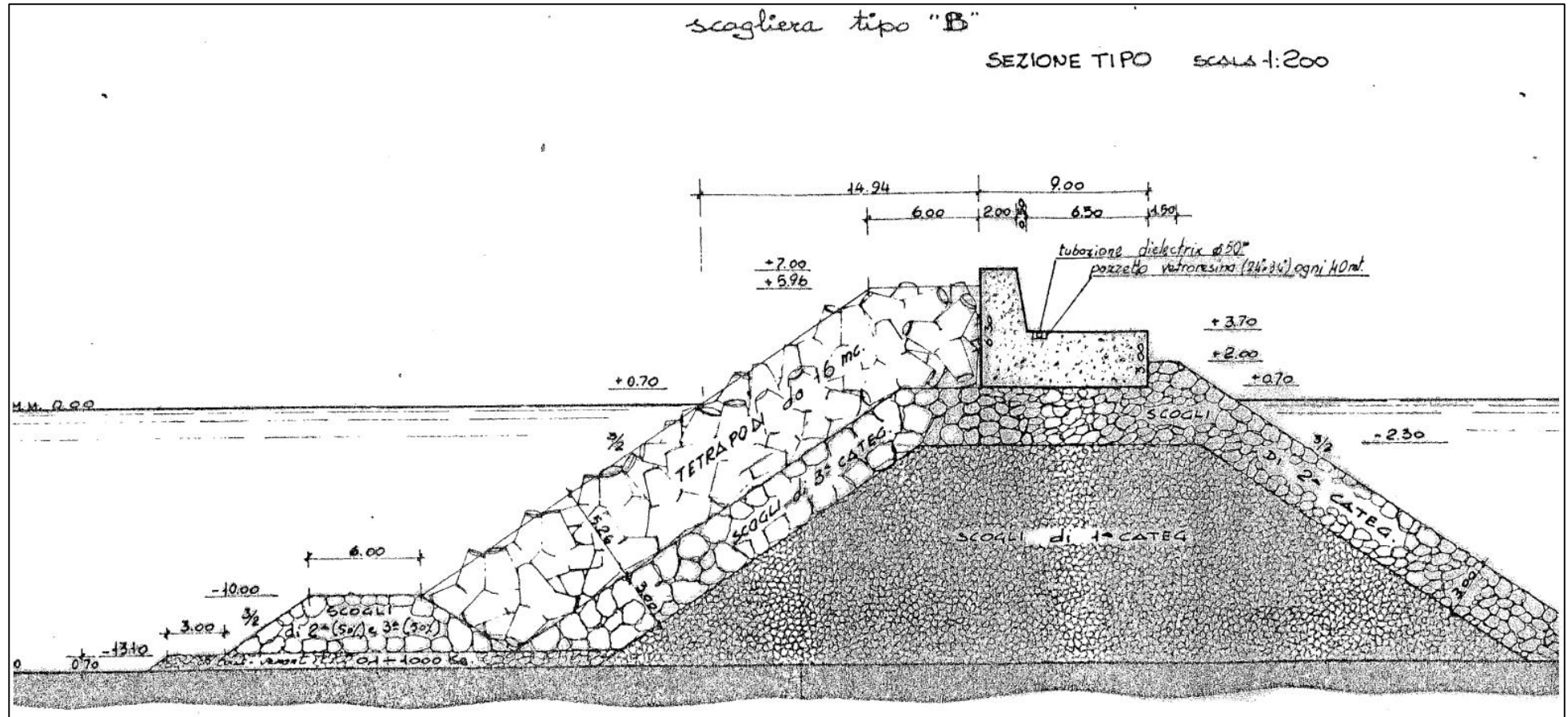
**SEZIONE TIPO B (parametri uguali alla B1)**

Tabella 2-6. Parametri geometrici della sezione di calcolo B inseriti nel codice NNO.

h [m]	$h_t$ [m]	$B_t$ [m]	$h_b$ [m]	B [m]	$\cotan \alpha_d$ [-]	$\cotan \alpha_u$ [-]	$\tan \alpha_b$ [-]	$\gamma f$ [-]	D [-]	$A_c$ [m]	$R_c$ [m]	$G_c$ [m]
13.80	10.00	6.00	-	-	1.5	1.5	-	0.38	2.5	5.96	7.00	6.00

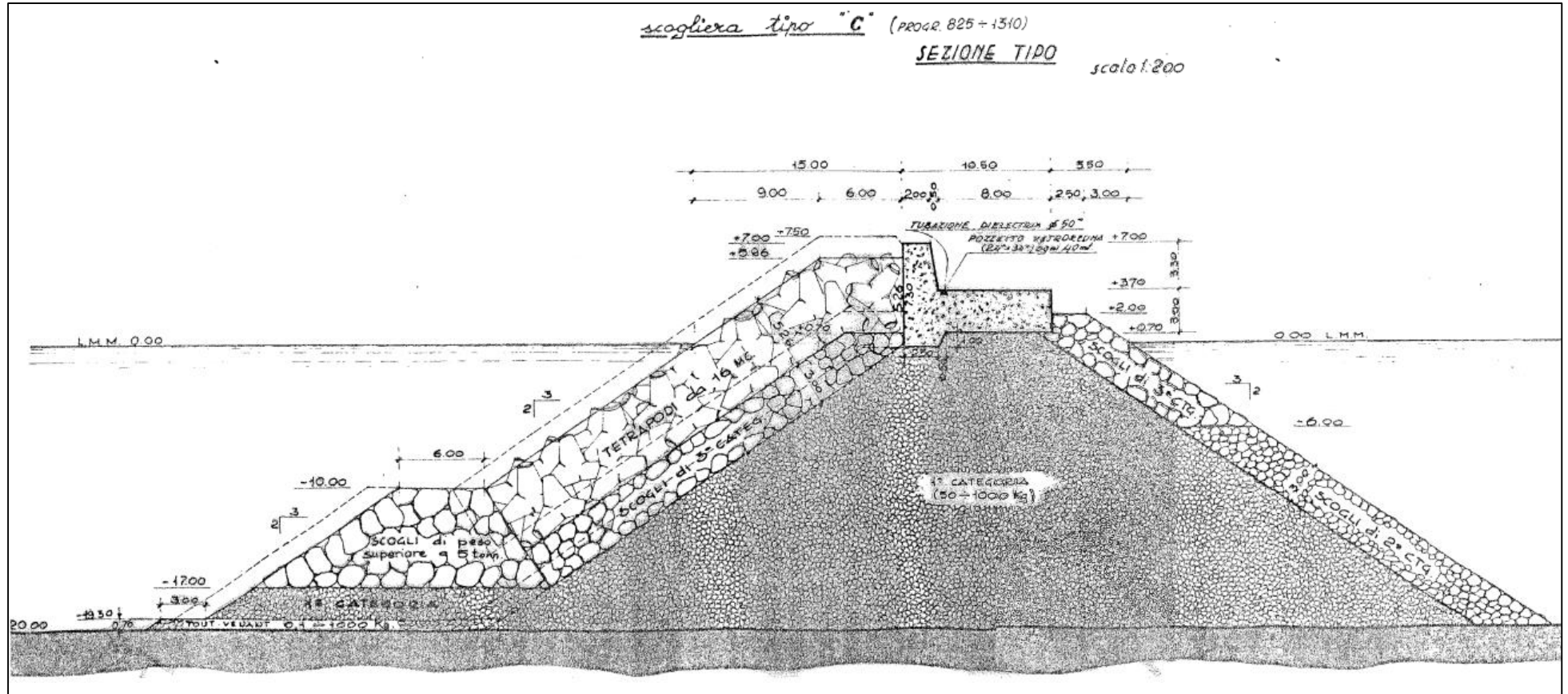
**SEZIONE TIPO C**

Tabella 2-7. Parametri geometrici della sezione di calcolo C inseriti nel codice NNO.

h [m]	h <sub>t</sub> [m]	B <sub>t</sub> [m]	h <sub>b</sub> [m]	B [m]	cotan α <sub>d</sub> [-]	cotan α <sub>u</sub> [-]	tan α <sub>b</sub> [-]	γf [-]	D [-]	A <sub>c</sub> [m]	R <sub>c</sub> [m]	G <sub>c</sub> [m]
20.00	10.00	6.00	-	-	1.5	1.5	-	0.38	2.5	5.96	7.00	6.00

### 2.2.13 Parametri moto ondoso al piede dell'opera di ciascuna sezione e livello del mare

La Tabella 2-8 riporta i parametri di moto ondoso ricavati al piede dell'opera per ciascuna sezione in esame. Si noti che il periodo e la direzione al piede rimangono uguali a quelle al largo.

Tabella 2-8. Dati di moto ondoso propagati da largo (P0) al piede di ciascuna sezione tipo

Stato mare	Sez	LARGO			SHOALING				PIEDE			
		$H_s$ [m]	$T_m$ [s]	$\beta_0$ [°]	$K_s$ [-]	$h$ [m]	$H_{\text{piede}}$ [m]	$H_{\text{lim,frang}}$ [m]	$H_{m0,t}$ [m]	$T_{m-1,0,t}$ [s]	$\beta$ [°]	
1	A	4.73	8.3	0	1.06	6.00	5.01	3.60	3.60	9.1	0	
	B				0.97	13.80	4.60	8.28				4.60
	C				1.01	20.00	4.60	12.00				4.60
2	A	6.04	9.0	0	1.10	6.00	6.67	3.60	3.60	9.8	0	
	B				0.99	13.80	6.00	8.28				6.00
	C				0.98	20.00	5.93	12.00				5.93
3	A	7.21	9.5	0	1.13	6.00	8.17	3.60	3.60	10.4	0	
	B				1.01	13.80	7.28	8.28				7.28
	C				0.99	20.00	7.14	12.00				7.14

Combinando i parametri di moto ondoso con i parametri riguardanti la configurazione geometrica delle sezioni esaminate sono state definite le diverse condizioni per il calcolo della tracimazione con la rete neurale NNO, riportate in Tabella 2-9. La colonna "Test ID" è una sigla identificativa che verrà utilizzata nei paragrafi successivi per distinguere le varie combinazioni nella fase di calcolo delle portate medie e dei volumi massimi di tracimazione.

Tabella 2-9. Riepilogo dati di input inseriti nel modello NNO (livello medio marino).

Sez	Test ID	$H_{m0,t}$ [m]	$T_{m-1,0,t}$ [s]	$\beta$ [°]	$h$ [m]	$h_t$ [m]	$B_t$ [m]	$h_b$ [m]	$B$ [m]	$\cotan(\alpha_d)$ [-]	$\cotan(\alpha_u)$ [-]	$\gamma_f$ [-]	$D$ [m]	$A_c$ [m]	$R_c$ [m]	$G_c$ [m]
A	A1	3.60	9.1	0	6.0	5.3	3	0	0	1.5	1.5	0.38	1.8	4.50	7	6
B	A2	4.60			13.8	10.0	6	0	0	1.5	1.5	0.38	2.5	5.96	7	6
C	A3	4.60			20.0	10.0	6	0	0	1.5	1.5	0.38	2.5	5.96	7	6
A	A4	3.60	9.8	0	6.0	5.3	3	0	0	1.5	1.5	0.38	1.8	4.50	7	6
B	A5	6.00			13.8	10.0	6	0	0	1.5	1.5	0.38	2.5	5.96	7	6
C	A6	5.93			20.0	10.0	6	0	0	1.5	1.5	0.38	2.5	5.96	7	6
A	A7	3.60	10.4	0	6.0	5.3	3	0	0	1.5	1.5	0.38	1.8	4.50	7	6
B	A8	7.28			13.8	10.0	6	0	0	1.5	1.5	0.38	2.5	5.96	7	6
C	A9	7.14			20.0	10.0	6	0	0	1.5	1.5	0.38	2.5	5.96	7	6

Per quanto riguarda il livello del mare, le simulazioni sono state effettuate sia con riferimento al livello medio marino sia considerando, in accordo con i risultati ottenuti nell'analisi dei livelli di marea nell'ambito dello studio meteomarinario (paragrafo 9.4), un livello di marea di +0.5 m s.l.m.m.

Il sovrizzo è considerato esclusivamente nel calcolo dei parametri strutturali di ciascuna sezione di calcolo.



La Tabella 2-10 riporta i parametri per il calcolo della tracimazione con la rete neurale NNO considerando l'azione della marea.

Tabella 2-10. Riepilogo dati di input inseriti nel modello NNO (livello marea = +0.50 m s.l.m.m).

Sez	Test ID	$H_{m0,t}$ [m]	$T_{m-1,0,t}$ [s]	$\beta$ [°]	$h$ [m]	$h_t$ [m]	$B_t$ [m]	$h_b$ [m]	$B$ [m]	$\cotan(\alpha_d)$ [-]	$\cotan(\alpha_u)$ [-]	$\gamma_f$ [-]	$D$ [m]	$A_c$ [m]	$R_c$ [m]	$G_c$ [m]
A	B1	3.60	9.1	0	6.5	5.8	3	0	0	1.5	1.5	0.38	1.8	4.00	6.5	6
B	B2	4.60			14.3	10.5	6	0	0	1.5	1.5	0.38	2.5	5.46	6.5	6
C	B3	4.60			20.5	10.5	6	0	0	1.5	1.5	0.38	2.5	5.46	6.5	6
A	B4	3.60	9.8	0	6.5	5.8	3	0	0	1.5	1.5	0.38	1.8	4.00	6.5	6
B	B5	6.00			14.3	10.5	6	0	0	1.5	1.5	0.38	2.5	5.46	6.5	6
C	B6	5.93			20.5	10.5	6	0	0	1.5	1.5	0.38	2.5	5.46	6.5	6
A	B7	3.60	10.4	0	6.5	5.8	3	0	0	1.5	1.5	0.38	1.8	4.00	6.5	6
B	B8	7.28			14.3	10.5	6	0	0	1.5	1.5	0.38	2.5	5.46	6.5	6
C	B9	7.14			20.5	10.5	6	0	0	1.5	1.5	0.38	2.5	5.46	6.5	6

### 2.2.14 Calcolo della portata di tracimazione

L'output del modello è fornito in termini di valori medi di portata di tracimazione (espressa in  $m^3/s$  per m) e come banda di confidenza del 90% (percentili 5% e 95%). Queste quantità sono derivate dalla distribuzione statistica dei risultati di calcolo, ottenuti applicando 500 volte la tecnica del "resampling bootstrapping" al database di prove sperimentali.

I risultati sono presentati in Tabella 2-11 (livello marea nullo) e

Tabella 2-12 (livello di marea = +0.5 m), nelle quali in ogni riga è riportato nell'ordine:

- il **Test ID**, ossia il nome di ogni test definito dall'utente nella tabella che contiene i dati di input forniti al modello (Tabella 2-9 e Tabella 2-10);
- la **portata media  $q_m$**  per unità di lunghezza della diga (espressa sia in  $m^3/s$  che l/s per m), rappresentativa del volume di acqua che nell'unità di tempo, e per unità di lunghezza della diga frangiflutti, supera la sommità del muro paraonde della diga ( $R_c$ );
- i percentili al **5%** e al **95%** della portata di tracimazione (espressi in l/s per m);
- il parametro **E** per valutare la "somiglianza" dello scenario di input con il database delle prove sperimentali di NNO: più il valore di E è vicino a 0, più simile è lo scenario di input ai test sperimentali (E=0 per tutte le prove sperimentali).

Tabella 2-11. Risultati del modello NNO (livello medio marino): portate medie di traccimazione e percentili al 5% e al 95%.

Test ID	$q_m$		5%	95%	E
	$[m^3/s/m]$	$[l/s/m]$	$[l/s/m]$	$[l/s/m]$	$[-]$
A1	0.00011	<b>0.11</b>	0.02	0.49	0.024
A2	0.00063	<b>0.63</b>	0.20	2.12	0.011
A3	0.00068	<b>0.68</b>	0.18	2.79	0.011
A4	0.00015	<b>0.15</b>	0.03	0.61	0.024
A5	0.00862	<b>8.62</b>	2.75	24.60	0.036
A6	0.00892	<b>8.92</b>	3.03	30.20	0.033
A7	0.00019	<b>0.19</b>	0.04	0.78	0.024
A8	0.04960	<b>49.60</b>	15.90	161.00	0.095
A9	0.04970	<b>49.70</b>	16.50	151.00	0.088

Tabella 2-12. Risultati del modello NNO (livello marea +0.5 m s.l.m.): portate medie di traccimazione e percentili al 5% e al 95%.

Test ID	$q_m$		5%	95%	E
	$[m^3/s/m]$	$[l/s/m]$	$[l/s/m]$	$[l/s/m]$	$[-]$
B1	0.00017	<b>0.17</b>	0.04	0.65	0.013
B2	0.00099	<b>0.99</b>	0.32	3.27	0.010
B3	0.00106	<b>1.06</b>	0.29	4.22	0.011
B4	0.00022	<b>0.22</b>	0.06	0.83	0.013
B5	0.01290	<b>12.90</b>	4.39	36.50	0.053
B6	0.01330	<b>13.30</b>	4.44	43.20	0.050
B7	0.00029	<b>0.29</b>	0.08	1.04	0.013
B8	0.06960	<b>69.60</b>	21.40	228.00	0.115
B9	0.06930	<b>69.30</b>	23.90	210.00	0.109

### 2.2.15 Calcolo della tracimazione con formule EuroTop – Cassone (Sez. D)

Come anticipato nel paragrafo 2.2, la sezione D rappresenta una categoria di strutture (cassoni) che non fa parte del database di esperimenti del modello NNO. La tracimazione è stata quindi indagata tramite l'applicazione di una metodologia suggerita dal manuale EuroTop (pag. 205) e valida per sezioni composte.

#### **STEP 1**

Consiste nello stabilire se il fondale antistante l'opera influenza o meno l'overtopping. Il manuale EuroTop chiarisce che il fondale influenza la tracimazione solo se si hanno condizioni di fondale basso (shallow foreshore) o molto basso (very shallow foreshore), mentre se ci sono condizioni di fondale profondo (deep foreshore) la tracimazione non è in alcun modo influenzata dal fondale.

Data la profondità del fondale  $h$  alla base della scogliera di imbasamento del cassone (o la profondità della base del cassone qualora fosse sprovvisto di scogliera di imbasamento) e l'altezza d'onda significativa al largo  $H_s$ , per determinare la tipologia di fondale, il manuale (pag. 7) suggerisce la seguente classificazione:

- $h/H_s > 4 \rightarrow$  fondale profondo
- $4 > h/H_s > 1 \rightarrow$  fondale basso
- $1 > h/H_s > 0.3 \rightarrow$  fondale molto basso

Se si verificano le ultime due condizioni allora il fondale influenza la tracimazione e si passa allo STEP 2, altrimenti il calcolo della portata di tracimazione può essere già effettuato adottando le due relazioni suggerite dal manuale EuroTop, che rappresentano due curve di regressione in funzione del rapporto  $R_c/H_{m0}$  individuate su un set di dati sperimentali:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.047 \cdot \exp\left[-\left(2.35 \frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{1.3}\right] \quad 7.1$$

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.054 \cdot \exp\left[-\left(2.12 \frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{1.3}\right] \quad 7.2$$

La 7.1 è basata sull'andamento medio delle misure, mentre la 7.2 utilizza un approccio più cautelativo, aggiungendo alla media una deviazione standard in modo tale da involuppare l'84% dei dati sperimentali.

#### **STEP 2**

La scogliera sulla quale si trova il cassone influenza la tracimazione solo se il tirante  $d$  al di sopra della sommità della scogliera risulta al di sotto del 60% della profondità del fondale  $h$  alla base della scogliera:

$$\begin{aligned} d \geq 0.6h; & \text{ mound has no significant influence.} \\ d < 0.6h; & \text{ mound influence significant. Proceed to Step 3.} \end{aligned} \quad 7.12$$

Se si verifica la prima disequaglianza allora per stabilire se ci siano o meno condizioni di impulsività si fa riferimento alle seguenti relazioni valide per strutture verticali senza scogliera:

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{H_{m0} L_{m-1,0}} > 0.23 & \quad \text{treat as non-impulsive conditions} \\ \frac{d^2}{H_{m0} L_{m-1,0}} \leq 0.23 & \quad \text{treat as impulsive conditions} \end{aligned} \quad 7.4$$

$$\text{con } L_{m-1,0} = \frac{2\pi}{gT_{m-1,0}^2} \quad (\text{lunghezza d'onda al piede dell'opera})$$

Se sussistono condizioni di non impulsività allora il calcolo della portata di tracimazione può essere effettuato adottando le due relazioni suggerite dal manuale EuroTop, che rappresentano due curve di regressione in funzione del rapporto  $R_c/H_{m0}$  individuate su un set di dati sperimentali:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.05 \exp\left(-2.78 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \quad 7.5$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.062 \exp\left(-2.61 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \quad 7.6$$

La 7.5 è basata sull'andamento medio delle misure, mentre la 7.6 utilizza un approccio più cautelativo, aggiungendo alla media una deviazione standard in modo tale da comprendere l'84% dei dati sperimentali.

Se sussistono condizioni di impulsività, invece, il calcolo della portata di tracimazione può essere effettuato adottando le seguenti relazioni che rappresentano due funzioni di regressione in funzione del rapporto  $R_c/H_{m0}$  individuate su un set di dati sperimentali:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.011 \left( \frac{H_{m0}}{d s_{m-1,0}} \right)^{0.5} \exp\left(-2.2 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \quad \text{valid for } 0 < R_c/H_{m0} < 1.35 \quad 7.7$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.0014 \left( \frac{H_{m0}}{d s_{m-1,0}} \right)^{0.5} \left( \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-3} \quad \text{valid for } R_c/H_{m0} \geq 1.35 \quad 7.8$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.0155 \left( \frac{H_{m0}}{d s_{m-1,0}} \right)^{0.5} \exp\left(-2.2 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \quad \text{valid for } 0.1 < R_c/H_{m0} < 1.35 \quad 7.9$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.0020 \left( \frac{H_{m0}}{d s_{m-1,0}} \right)^{0.5} \left( \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-3} \quad \text{valid for } R_c/H_{m0} \geq 1.35 \quad 7.10$$

$$\text{con } s_{m-1,0} = \frac{2\pi H_{m0}}{gT_{m-1,0}^2} \quad (\text{ripidità dell'onda al piede dell'opera})$$

La 7.7 e la 7.8 sono basate sull'andamento medio delle misure, mentre la 7.9 e la 7.10 utilizzano un approccio più cautelativo, aggiungendo alla media una deviazione standard in modo tale da involuppare l'84% dei dati sperimentali.

### **STEP 3**

Se si verifica la seconda disequaglianza della 7.12 allora per stabilire se ci siano o meno condizioni di impulsività si fa riferimento alle seguenti relazioni:

$$\frac{d}{H_{m0}} \cdot \frac{h}{L_{m-1,0}} > 0.65 \quad \text{Treat as non-impulsive conditions. Proceed to Step 4a.} \quad 7.13$$

$$\frac{d}{H_{m0}} \cdot \frac{h}{L_{m-1,0}} \leq 0.65 \quad \text{Treat as impulsive conditions. Proceed to Step 4b.}$$

**STEP 4a**

Se sussistono condizioni di non impulsività allora il calcolo della portata di tracimazione può essere effettuato adottando le stesse relazioni viste in precedenza e valide per strutture verticali senza scogliera:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.05 \exp\left(-2.78 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \quad 7.5$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.062 \exp\left(-2.61 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \quad 7.6$$

La 7.5 è basata sull'andamento medio delle misure, mentre la 7.6 utilizza un approccio più cautelativo, aggiungendo alla media una deviazione standard in modo tale da involuppare l'84% dei dati sperimentali.

**STEP 4b**

Se sussistono condizioni di impulsività, invece, il calcolo della portata di tracimazione può essere effettuato adottando le seguenti relazioni che rappresentano due linee di regressione in funzione del rapporto  $R_c/H_{m0}$  individuate su un set di dati sperimentali:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 1.3 \left(\frac{d}{h}\right)^{0.5} 0.0014 \left(\frac{H_{m0}}{h s_{m-1,0}}\right)^{0.5} \left(\frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{-3} \quad \text{valid for } R_c/H_{m0} \geq 1.35 \quad 7.14$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 1.3 \left(\frac{d}{h}\right)^{0.5} 0.011 \left(\frac{H_{m0}}{h s_{m-1,0}}\right)^{0.5} \exp\left(-2.2 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \quad \text{valid for } R_c/H_{m0} < 1.35 \quad 7.15$$

## 2.2.16 Calcolo portate di traccimazione (livello medio marino)

### 2.2.16.1 Parametri geometrici della sezione

Gli unici parametri geometrici che servono per utilizzare le formule della procedura sono l'altezza del muro paraonde del cassone sul livello del mare ( $R_c$ ), la profondità del fondale al piede della struttura ( $h$ ) e il tirante al di sopra della sommità della scogliera ( $d$ ), che osservando la Figura 2-9 sono pari rispettivamente a 7.0 m, 30.8 m e 18.0 m.

I risultati che seguono si riferiscono al livello medio marino.

### 2.2.16.2 Parametri moto ondoso al piede del cassone e calcolo portate

**STEP 1:** Consiste nello stabilire se il fondale antistante l'opera influenza o meno l'overtopping.

Tabella 2-13. Risultati STEP1 della procedura EuroTop. Portate di traccimazione medie ( $Q_m$ ) e di progetto ( $Q_{dev\_std}$ ).

Stato mare	LARGO			PIEDE			h/ Hs	Influenza fondale (STEP1)	$Q_m$	$Q_{dev\_std}$
	Hs	Tm	Dir	$H_{m0,t}$	$T_{m-1,0,t}$	$\beta$				
	[m]	[s]	[°N]	[m]	[s]	[°N]				
1	4.73	8.3	0	4.74	9.1	0	6.5	✘	9.85	21.29
2	6.04	9	0	6.05	9.8	0	5.1	✘	55.94	101.78
3	7.21	9.5	0	7.22	10.4	0	4.3	✘	154.78	256.27

Dalla Tabella 2-13 si evince che la procedura si è conclusa dopo un solo passaggio poiché in nessun caso il fondale influenza l'overtopping, per cui il calcolo delle portate di traccimazione è stato effettuato adottando soltanto le equazioni 7.1 e 7.2 del manuale EuroTop.

## 2.2.17 Calcolo portate di traccimazione (sovrizzo di marea = +0.50 m)

### 2.2.17.1 Parametri geometrici della sezione

Gli unici parametri geometrici che servono per utilizzare le formule della procedura sono l'altezza del muro paraonde del cassone sul livello del mare ( $R_c$ ), la profondità del fondale al piede della struttura ( $h$ ) e il tirante al di sopra della sommità della scogliera ( $d$ ), che considerando il sovrizzo di marea di 0.5 m sono pari rispettivamente a 6.5 m, 31.3 m e 18.5 m.

I risultati che seguono si riferiscono al livello di marea +0.5 s.l.m.m.

### 2.2.17.2 Parametri moto ondoso al piede del cassone e calcolo portate

**STEP 1:** Consiste nello stabilire se il fondale antistante l'opera influenza o meno l'overtopping.

Tabella 2-14. Risultati STEP1 della procedura EuroTop. Portate di traccimazione medie ( $Q_m$ ) e di progetto ( $Q_{dev\_std}$ ).

Stato mare	LARGO			PIEDE			h/ Hs	Influenza fondale (STEP1)	$Q_m$	$Q_{dev\_std}$
	Hs	Tm	Dir	$H_{m0,t}$	$T_{m-1,0,t}$	$\beta$				
	[m]	[s]	[°N]	[m]	[s]	[°N]				
1	4.73	8.3	0	4.75	9.1	0	6.6	✘	15.83	32.24
2	6.04	9	0	6.06	9.8	0	5.2	✘	78.96	137.63
3	7.21	9.5	0	7.23	10.4	0	4.3	✘	203.41	325.52

Dalla Tabella 2-14 si evince che la procedura si è conclusa dopo un solo passaggio poiché in nessun caso il fondale influenza l'overtopping, per cui il calcolo delle portate di traccimazione è stato effettuato adottando soltanto le equazioni 7.1 e 7.2 del manuale EuroTop.



### 3. VERIFICA LIMITI PORTATE MEDIE DI TRACIMAZIONE

In Tabella 3-1 sono riportati gli scenari di rischio correlati alle portate medie di tracimazione desunti dal manuale EuroTop (2018). La tabella permette di individuare l'effetto della tracimazione sulla stabilità e sulla sicurezza della zona di coronamento dell'opera.

Le conclusive tabelle Tabella 3-2 (livello medio marino) e Tabella 3-3 (sovrizzo di marea = +0.5 m) riportano, per ciascuna sezione e per ciascuna condizione di moto ondoso studiata, il soddisfacimento dei limiti di tracimazione per gli scenari di rischio.

#### 3.1.1 Verifica portate (livello medio marino)

Per le condizioni di moto ondoso relative a tempo di ritorno pari a due anni si può concludere quanto segue:

- la sezione A non presenta rischi relativi alla tracimazione,
- per la sezione B si verificano condizioni in cui non è sicuro il transito dei pedoni sul coronamento e si possono verificare danneggiamenti ad attrezzature poste a 5-10 m dal coronamento,
- per la sezione C si verificano condizioni in cui non è sicuro il transito dei pedoni sul coronamento e si possono verificare danneggiamenti ad attrezzature poste a 5-10 m dal coronamento,
- per la sezione D non è sicuro lo stazionamento di piccole imbarcazioni a tergo dell'opera, non è garantita la sicurezza di piccole imbarcazioni, sono attesi danni ad attrezzature poste sul coronamento e non è sicuro il transito di pedoni e veicoli.

Evidentemente, per stati di mare più gravosi le condizioni di rischio peggiorano. Solo la sezione A garantisce livelli ottimali di sicurezza in tutte le condizioni qui studiate, mentre le sezioni B, C, D, salvo alcune eccezioni per le sezioni B e C per l'evento con tempo di ritorno 10 anni riguardanti lo stazionamento delle barche più grandi a tergo dell'opera, non rispettano i limiti di tracimazione riportati nella tabella Tabella 3-1.

#### 3.1.2 Verifica portate (sovrizzo di marea = +0.5 m)

Per le condizioni di moto ondoso relative a tempo di ritorno pari a due anni si può concludere quanto segue:

- la sezione A non presenta rischi relativi alla tracimazione,
- sulla sezione B si verificano condizioni in cui non è sicuro il transito dei pedoni sul coronamento e si possono verificare danneggiamenti ad attrezzature poste a 5-10 m dal coronamento,
- per la sezione C non è sicuro lo stazionamento di piccole imbarcazioni a tergo dell'opera, si possono verificare danneggiamenti ad attrezzature poste a 5-10 m dal coronamento e non è sicuro il transito di pedoni,
- per la sezione D non è sicuro lo stazionamento di grandi e piccole imbarcazioni a tergo dell'opera, sono attesi danni a piccole imbarcazioni ormeggiate a tergo, danni ad attrezzature poste sul coronamento e non è sicuro il transito di pedoni e veicoli.

Evidentemente, per stati di mare più gravosi le condizioni di rischio peggiorano. Solo la sezione A garantisce livelli ottimali di sicurezza in tutte le condizioni qui studiate, mentre le sezioni B, C, D, salvo alcune eccezioni per le sezioni B e C per l'evento con tempo di ritorno 10 anni riguardanti lo stazionamento delle barche più grandi a tergo dell'opera, non rispettano i limiti di tracimazione riportati nella tabella Tabella 3-1.

In conclusione si raccomanda una attenta gestione della diga in esame, per la quale l'accesso e lo stazionamento di imbarcazioni a tergo va regolamentato e valutato in funzione delle condizioni di moto ondoso previste.

Tabella 3-1. Limiti di portata media e volume massimo di tracimazione suggeriti dall'EuroTop.

CODICE	SCENARIO DI RISCHIO	$q_m$	NOTE
		[l/s/m]	
<b>Y1</b>	Danni significativi o affondamento di yacht più grandi; $H_{m0} > 5$ m	> 10	Beni
<b>Y2</b>	Danni significativi o affondamento di yacht più grandi; $H_{m0} = 3-5$ m	> 20	
<b>APB</b>	Affondamento di piccole imbarcazioni poste ad una distanza di 5-10 m dal coronamento; $H_{m0} = 3-5$ m	> 5	
<b>SY</b>	Sicurezza di yacht più grandi; $H_{m0} > 5$ m	< 5	
<b>SPB</b>	Sicurezza di piccole imbarcazioni poste ad una distanza di 5-10 m dal coronamento; $H_{m0} = 3-5$ m	< 1	
<b>ATTR</b>	Danneggiamento ad attrezzature poste a 5-10 m dal coronamento	< 1	
<b>PED</b>	Pedoni sul muro paraonde/coronamento. Visione chiara del mare; $H_{m0} = 3$ m	0.3	Persone e veicoli
<b>VEIC</b>	Veicoli sul muro paraonde/coronamento, o binari vicini al coronamento	< 5	

Tabella 3-2. Tabella riepilogativa delle portate di tracimazione e verifica dei limiti EuroTop (sezioni tipo) - (marea = +0.00 m)

Stato mare	Sez	q <sub>m</sub>	Y1	Y2	APB	SY	SPB	ATTR	PED	VEIC
	[-]	[l/s/m]								
1 (Tr =2 anni)	A	0.11	-	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
	B	0.63	-	✓	✓	-	✓	✓	✗	✓
	C	0.68	-	✓	✓	-	✓	✓	✗	✓
	D	9.85	-	✓	✗	-	✗	✗	✗	✗
2 (Tr =10 anni)	A	0.15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	B	8.62	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	C	8.92	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	D	55.94	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
3 (Tr =50 anni)	A	0.19	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	B	49.60	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	C	49.70	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	D	154.78	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Tabella 3-3. Tabella riepilogativa delle portate di tracimazione e verifica dei limiti EuroTop (sezioni tipo) - (marea = +0.50 m).

Stato mare	Sez	q <sub>m</sub>	Y1	Y2	APB	SY	SPB	ATTR	PED	VEIC
	[-]	[l/s/m]								
1 (Tr =2 anni)	A	0.17	-	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓
	B	0.99	-	✓	✓	-	✓	✓	✗	✓
	C	1.06	-	✓	✓	-	✗	✗	✗	✓
	D	15.83	-	✓	✗	-	✗	✗	✗	✗
2 (Tr =10 anni)	A	0.22	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	B	12.90	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	C	13.30	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	D	78.96	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
3 (Tr =50 anni)	A	0.29	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	B	69.60	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	C	69.30	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	D	203.41	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

#### 4. CONCLUSIONI

Lo studio condotto ha evidenziato che nel del tratto iniziale compreso tra il radicamento a terra della diga e l'isola di S. Andrea, a tergo del quale sono localizzate le infrastrutture destinate al diporto nautico, anche in condizioni estreme i fenomeni di tracimazione sono decisamente modesti e consentono anche il transito di pedoni sul coronamento della diga. Diversamente nella restante porzione della diga di Punta Riso l'entità delle portate di tracimazione non permettono il transito in sicurezza di pedoni sul coronamento e non consentono l'installazione di strutture/impianti fissi nella fascia di 5/10 m a tergo del muro paraonde e in alcune condizioni non consentono l'ormeggio in sicurezza di navi lungo la banchina interna.

In sintesi i risultati dello studio raccomandano una attenta gestione della diga in esame, per la quale l'accesso e lo stazionamento di imbarcazioni a tergo va regolamentato e valutato in funzione delle condizioni di moto ondoso previste.

In relazione alle infrastrutture dedicate alla nautica da diporto collocate nello specchio acqueo a tergo del tratto iniziale della diga, lo studio non evidenzia criticità in termini di sicurezza anche in condizioni meteomarine estreme.

Relativamente al nuovo Terminal Crociere previsto a tergo del tratto immediatamente seguente l'isola di S. Andrea, l'entità delle portate di tracimazione non consente la realizzazione di strutture fisse ed il passaggio di pedoni in occasione di eventi meteomarini intensi nella fascia di 10 m a tergo del muro paraonde. Peraltro il piazzale del nuovo terminal presenta una larghezza, misurata dal muro paraonde della diga fino al limite della banchina operativa, pari a circa 80 m e quindi il vincolo imposto sulla fascia di 10 m a tergo del muro paraonde non produce effetti sulla funzionalità del terminal e sulla sicurezza della nave da crociera ormeggiata.