



VERIFICA IDRAULICO-MARITTIMA DEL SISTEMA DI PROTEZIONE DEL MURO DI EPOCA BORBONICA LUNGO IL TRATTO UBICATO A TERGO DELLA SCOGLIERA DISTACCATA REALIZZATA IN OCCASIONE DELL'AMERICA'CUP WORLD SERIES 2012, IN ASSENZA E IN PRESENZA DELLA STESSA, OVVERO IN CASO DI ABBASSAMENTO A SOFFOLTA.

RELAZIONE TECNICA

Gennaio 2022

ALPHATECH

Ing. Roberto Chieffi

1. PREMESSA

La presente relazione riporta i risultati delle valutazioni di carattere idraulico-marittimo eseguite nell'ambito delle attività concernenti la *Verifica idraulico-marittima del sistema di protezione del muro di epoca borbonica lungo il tratto ubicato a tergo della scogliera distaccata realizzata in occasione dell'America' Cup World Series 2012, in assenza e in presenza della stessa, ovvero in caso di abbassamento a soffolta*; tale relazione costituisce un aggiornamento degli studi già eseguiti nell'anno 2012 a cura del prof. ing. Mario Calabrese, a supporto del progetto esecutivo di *Rimozione e sistemazione a soffolta del prolungamento della scogliera foranea alla Rotonda Diaz* elaborato dal Provveditorato per le Opere pubbliche nel giugno 2012, come aggiornato nel 2019.

L'esecuzione di tali attività, affidate alla scrivente dal Comune di Napoli Settore "Area Trasformazione del Territorio Servizio Valorizzazione della città storica - sito UNESCO" con Determina Dirigenziale n. 42 del 17/12/2021, si rende necessaria al fine di consentire all'Amministrazione comunale ed alla competente Soprintendenza di effettuare tutte le necessarie valutazioni sulla eseguibilità del suddetto progetto del Provveditorato; quest'ultimo, che prevedeva la *rimozione a soffolta* della suddetta scogliera distaccata, evidenziava, comunque, la necessità di eseguire una serie di approfondimenti in sito ed in particolare una nutrita campagna di rilievi ed ispezioni dello stato dei luoghi (attività prevista nel Disciplinare di cui al presente affidamento).

L'acquisizione di detti rilievi risulta necessaria ai fini dell'attendibilità delle analisi e delle verifiche da svolgere; essa costituisce, infatti, la "base" di riferimento per effettuare una corretta valutazione su "modello" del comportamento idraulico dell'opera a gettata, sia nelle condizioni attuali (presenza della scogliera emergente), sia nell'ipotesi che essa venga rimossa (assenza della scogliera), sia, infine, nell'ipotesi che la stessa venga semplicemente ribassata (scogliera soffolta).

In via preliminare alle attività di verifica si è quindi proceduto all'esecuzione di una approfondita campagna di rilievi topo-batimetrici nell'area in esame mirati alla ricostruzione dell'esatto andamento del profilo trasversale "terra-mare" lungo predeterminati transetti (campagna eseguita a cura della scrivente nella settimana compresa tra il 10 ed il 17 gennaio 2022); lungo il tratto oggetto di studio, i rilievi eseguiti hanno restituito le profondità dei fondali di imbasamento delle scogliere esistenti (distaccata ed aderente), le sagome geometriche delle stesse, le dimensioni dei massi di mantellata, il profilo del muro borbonico e della sede stradale retrostante (lungomare di via Caracciolo) e cioè di tutti gli elementi necessari per l'impostazione delle verifiche.

Allo scopo di arricchire ulteriormente il “set” di dati a disposizione per le verifiche da eseguire, nell’ambito delle valutazioni effettuate si è tenuto conto dei parametri caratteristici della violenta mareggiata che ha interessato il paraggio costiero in esame lo scorso dicembre 2020 e dei conseguenti ingenti danni alle strutture di protezione del lungomare cittadino, non ultimo il crollo a gennaio 2021 dell’arco cosiddetto borbonico in via Partenope; i dati registrati dalla boa ondometrica della Università degli Studi di Napoli “Parthenope” (ancorata al largo di Massa Lubrese e quindi all’interno del Golfo di Napoli) hanno costituito un utile elemento di confronto per i valori delle caratteristiche ondose estreme prese a riferimento nelle verifiche.

2. DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI PROTEZIONE OGGETTO DI STUDIO – TRATTI AD OVEST ED EST DELLA ROTONDA DIAZ

Il sistema di protezione oggetto di studio, relativo ai tratti di muro di sviluppo pari a circa 90 m ubicati, rispettivamente, ad Ovest e ad Est della Rotonda Diaz, in posizione retrostante ai cosiddetti “baffi” realizzati in occasione dell’America’s Cup World Series del 2012, è costituito:

- dalle scogliere distaccate emergenti, parallele alla linea di costa, di sviluppo pari a circa 90 m, sia sul lato Ovest che sul lato Est (tali scogliere, che si raccordano alla preesistente scogliera parallela antistante la rotonda Diaz, costituiscono appunto i “baffi” di prolungamento realizzati nell’anno 2012 in occasione dell’America’s Cup World Series);
- dalla scogliera emergente aderente al muro borbonico (anche essa preesistente al 2012).



Fig. 1 – Area oggetto di studio

Sulla scorta delle risultanze derivanti dalle attività di rilievo topo-batimetrico effettuate in sito, si è provveduto all’esatta ricostruzione dei profili trasversali “terra-mare”, che, come già accennato in premessa, hanno restituito le profondità dei fondali di imbasamento delle scogliere distaccate (“baffi”) ed aderenti, le relative sagome geometriche, le dimensioni dei massi di mantellata, il profilo del muro borbonico e della sede stradale retrostante (lungomare di via Caracciolo); in via

sintetica si riportano di seguito i parametri geometrici caratteristici rilevati per il tratto ad Ovest e per quello ad Est della Rotonda Diaz:

Tratto Ovest

- *pendenza del fondale antistante la scogliera distaccata:* $m_W \cong 0.034;$
- *profondità del fondale di imbasamento della scogliera distaccata:* $h'_W \cong 5.00 \text{ m};$
- *larghezza del coronamento della scogliera distaccata:* $B'_W \cong 5.00 \text{ m};$
- *quota di coronamento della scogliera distaccata:* $z'_W \cong +3.00 \text{ m.s.m.};$
- *profondità del fondale di imbasamento della scogliera aderente:* $h''_W \cong 2.70 \text{ m};$
- *larghezza del coronamento della scogliera aderente:* $B''_W \cong 8.00 \text{ m};$
- *quota di coronamento della scogliera aderente:* $z''_W \cong +1.60 \text{ m.s.m.};$
- *quota di coronamento del muro borbonico:* $z'''_W \cong +2.60 \text{ m.s.m.};$

Tratto Est

- *pendenza del fondale antistante la scogliera distaccata:* $m_E \cong 0.050;$
- *profondità del fondale di imbasamento della scogliera distaccata:* $h'_E \cong 2.60 \text{ m};$
- *larghezza del coronamento della scogliera distaccata:* $B'_E \cong 6.50 \text{ m};$
- *quota di coronamento della scogliera distaccata:* $z'_E \cong +2.80 \text{ m.s.m.};$
- *profondità del fondale di imbasamento della scogliera aderente:* $h''_E \cong +0.50 \text{ m.s.m.};$
- *larghezza del coronamento della scogliera aderente:* $B''_E \cong 8.00 \text{ m};$
- *quota di coronamento della scogliera aderente:* $z''_E \cong +1.60 \text{ m.s.m.};$
- *quota di coronamento del muro borbonico:* $z'''_E \cong +2.70 \text{ m.s.m.};$

Per maggiori dettagli si rimanda alle tavole allegate denominate “Planimetria di rilievo topobatimetrico” (allegato 1) e “Sezioni di rilievo topo-batimetrico” (allegato 2).

3. VERIFICHE IDRAULICO-MARITTIME

Come richiesto nel Disciplinare di incarico, le valutazioni eseguite sono state svolte con riferimento a tre differenti scenari corrispondenti ad altrettante ipotesi di configurazioni geometriche della sagoma trasversale delle scogliere distaccate emergenti (baffi):

- Scenario n. 1: stato attuale (quota coronamento pari a +3.00 m.s.m. – larghezza coronamento pari a 5.00 m).
- Scenario n. 2: abbassamento a soffolta (quota coronamento pari a -0.50 m.s.m. – larghezza coronamento pari a 16.0 m); per ottenere tale configurazione geometrica della scogliera, sarà necessario salpare la porzione sommitale dell'attuale opera a gettata dalla quota attuale di +3.00 m.s.m. fino alla quota di -0.50 m.s.m., per cui, rispettando la sagoma geometrica dell'opera a gettata così come rilevata, a partire dalla larghezza attuale del coronamento emerso, la larghezza del coronamento sommerso che ne deriva risulta pari a 16.0 m.
- Scenario n. 3: eliminazione della scogliera (salpamento integrale dell'opera a gettata).

In ciascun caso, le analisi svolte sono state articolate secondo la sequenza di seguito illustrata:

- 1) Valutazione dell'altezza d'onda incidente sulle scogliere distaccate emergenti (baffi); tale valutazione è stata eseguita facendo riferimento alla condizione più gravosa di altezza d'onda "frangente" al piede dell'opera ed inoltre assumendo un determinato valore del sopralzo del livello medio mare, ovvero nell'ipotesi di sopralzo nullo.
- 2) Determinazione dell'altezza d'onda nello specchio acqueo posto a tergo dei "baffi" di prolungamento realizzati in occasione dell'America's Cup World Series del 2012; tali valori di altezza d'onda sono stati ricavati tenendo conto sia degli effetti di "trasmissione" che di "diffrazione" a tergo della barriera. Si evidenzia che, nell'ipotesi di eliminazione della barriera, tale valore di altezza d'onda risulta pari a quello incidente.
- 3) Valutazione della portata di tracimazione a tergo del muro di protezione di epoca borbonica e relativo confronto con i valori di riferimento riportati nella letteratura di settore (CEM, 2002).
- 4) Valutazione delle azioni idrodinamiche indotte dal moto ondoso sul muro di protezione di epoca borbonica.

Le suddette valutazioni sono state effettuate con riferimento alla schematizzazione riportata in fig. 2 e sono relative alla scogliera lato Ovest che risulta essere quella di minore larghezza in sommità ed imbasata a maggiore profondità; pertanto, rispetto alla scogliera Est, essa è investita da onde di maggiore altezza ed inoltre garantisce una minore protezione per lo specchio d'acqua a tergo.

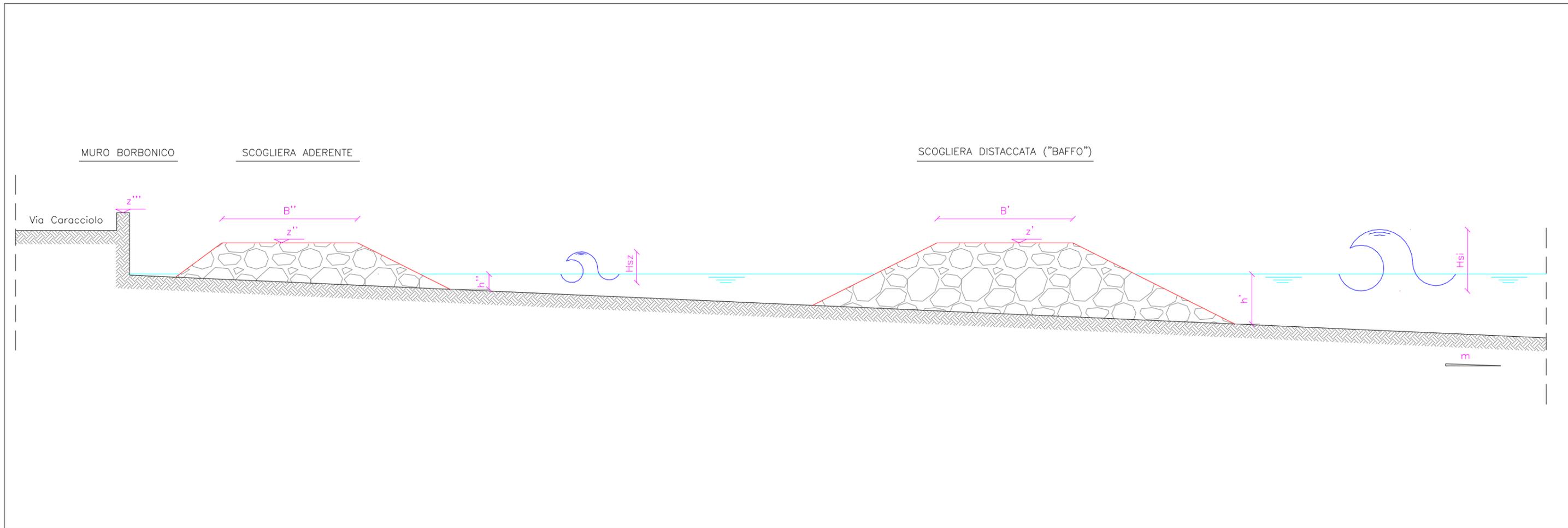


Fig. 2 - Schema di riferimento

3.1 ALTEZZA D'ONDA INCIDENTE SULLE SCOGLIERE DISTACCATE EMERGENTI ("BAFFI")

Come già detto, il valore dell'altezza d'onda incidente è stato assunto pari a quello frangente al piede dell'opera a gettata; tale valore è stato calcolato in funzione della profondità e della pendenza del fondale antistante la barriera facendo riferimento a due differenti criteri di frangimento. In particolare sono state applicate le seguenti relazioni di frangimento:

a) Relazione di Kamphuis

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

Nella (1) si ha:

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

h_f = profondità di frangimento (posta pari a quella al piede della scogliera);

m = pendenza media del fondale antistante l'opera.

Quale valore della profondità al piede h_f è stato assunto quello relativo al "baffo" lato Ovest ($h_f = 5.00$ m) mentre la pendenza del fondale antistante la scogliera risulta pari a $m = 0.034$.

b) Relazione di frangimento – indice 0.60

$$H_f = 0.60 \cdot h_f \quad (2)$$

Nella (3) si ha:

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

h_f = profondità di frangimento (posta pari a quella al piede della scogliera);

Analogamente al caso precedente, quale valore della profondità al piede h_f è stato assunto quello relativo al "baffo" lato Ovest ($h_f = 5.00$ m).

c) Risultati ottenuti

Nella tabella seguente (tab. 1), si riportano i valori delle altezze d'onda significative incidenti calcolati con le relazioni suindicate nell'ipotesi di soprizzo nullo del livello medio mare; si evidenzia che tali valori risultano uguali nei n. 3 scenari considerati in quanto non influenzati dalla geometria trasversale della scogliera. Sempre in tab. 1, sono riportati gli stessi valori calcolati nell'ipotesi di soprizzo del livello medio mare posto pari a $S = 0.60$ m per tenere complessivamente conto degli effetti di marea, vento e storm surge (valore assunto in analogia a quello riportato nello Studio eseguito dal prof. Calabrese nel 2012). Si osserva che l'incremento del livello medio mare comporta un corrispondente incremento della profondità del fondale antistante l'opera e, conseguentemente, dell'altezza d'onda frangente, rispetto a quella relativa alla condizione di soprizzo nullo.

	S (m)	h_f (m)	m	$H_{f,K}$ (m)	$H_{f,0.6}$ (m)
SCENARI 1-2-3	0.00	5.00	0.034	3.15	3.00
	0.60	5.60	0.034	3.53	3.36

Tab. 1 – Valori delle altezze d’onda incidenti

3.2 ALTEZZA D’ONDA A TERGO DELLE SCOGLIERE DISTACCATE EMERGENTI (“BAFFI”)

Il valore dell’altezza d’onda a tergo delle scogliere in esame è stato calcolato tenendo conto sia del contributo connesso alla “trasmissione” (overtopping + filtrazione), sia a quello dovuto alla “diffrazione”:

$$H_{sz} = H_{si} \sqrt{K_t + K_d} \quad (3)$$

Nella (4), si ha:

H_{sz} = altezza d’onda significativa a tergo dell’opera;

H_{si} = altezza d’onda significativa incidente (pari a quella frangente al piede dell’opera, H_f);

K_t = coefficiente di trasmissione a tergo dell’opera (pari al rapporto tra l’altezza d’onda trasmessa e quella incidente);

K_d = coefficiente di diffrazione a tergo dell’opera (pari al rapporto tra l’altezza d’onda diffratta e quella incidente).

Con riferimento agli scenari n. 1 e n. 2, i valori di K_t e K_d sono stati determinati come di seguito illustrato; viceversa, come già osservato, per lo scenario n. 3 (eliminazione della scogliera distaccata emergente), l’altezza d’onda a tergo della scogliera è sempre pari a quella incidente.

a) Coefficiente di trasmissione

Il valore del coefficiente di trasmissione, K_t , è stato ricavato mediante l’applicazione della nota relazione di Van der Meer (ICCE, 1992), valida nei range $1 < H_{si}/D < 6$ e $0.01 < H_{si}/L_p < 0.05$:

$$K_t = p \cdot \frac{R_c}{D} + q \quad (4)$$

in cui:

p, q = parametri adimensionali forniti dalle seguenti espressioni:

$$p = 0.031 \cdot \frac{H_{si}}{D} - 0.24 \quad (5)$$

$$q = -5.42 \cdot \frac{H_{si}}{L_p} + 0.0323 \frac{H_{si}}{D} - 0.0017 \cdot \left(\frac{B}{D}\right)^{1.84} + 0.51 \quad (6)$$

D = diametro dei massi costituenti la mantellata della scogliera (dai rilievi eseguiti in sito è stato ricavato un valore di D mediamente pari a circa 1.30 m);

R_c = quota del coronamento della scogliera rispetto al livello medio mare;

B = larghezza del coronamento della scogliera;

H_{si} = altezza d'onda significativa incidente;

L_p = lunghezza d'onda di largo corrispondente al periodo di picco, T_p .

Il valore di T_p è stato assunto pari al maggiore tra quelli riportati nello Studio eseguito dal prof. Ing. M. Calabrese ($T_p = 10$ s); tale assunzione è stata suffragata dall'aver constatato che il valore in esame risulta superiore a quello massimo registrato nella mareggiata del dicembre 2020 presso la boa ondometrica di Massa Lubrense ($T_{pmax} = 6.6$ s – valore registrato alle ore 16:00 ed alle ore 19:00 del 28/12/2020 – v. Allegato 3).

La lunghezza d'onda di largo L_p , viceversa, si ottiene dalla nota relazione di Airy per fondali illimitati ($L_p = g T_p^2 / 2\pi$).

b) Coefficiente di diffrazione

Sulla scorta delle simulazioni condotte nell'ambito delle verifiche idrauliche delle opere marittime riportate nella "Relazione tecnica relativa agli aspetti marittimi" allegata al progetto della scogliera ed in conformità allo Studio Calabrese, il valore del coefficiente di diffrazione, K_d , è stato assunto costante e pari a $K_d = 0.20$, sia per lo scenario n. 1 che per lo scenario n. 2.

c) Risultati ottenuti

Nella tabella seguente (tab. 2), con riferimento agli scenari n. 1 e n. 2, si riportano i valori dei coefficienti di trasmissione e diffrazione e quelli delle altezze d'onda a tergo calcolati in funzione dei differenti valori delle altezze d'onda significative incidenti riportati in tab. 1; le valutazioni sono state eseguite, anche in tal caso, nell'ipotesi di sopralzo del livello medio mare nullo e di sopralzo pari a $S = 0.60$ m. Si osserva che l'incremento del livello medio mare comporta una riduzione della quota di coronamento della scogliera e, conseguentemente, un aumento del coefficiente di trasmissione a tergo, rispetto alla condizione di sopralzo nullo. Relativamente allo scenario n. 3, si ribadisce che, in tutti i casi esaminati, l'altezza d'onda a tergo della scogliera distaccata risulta pari a quella incidente.

SCENARIO 1										
S = 0.00 m										
H _{si} (m)	R _c (m)	B (m)	D (m)	T _p (s)	L _p (m)	p	q	K _t	K _d	H _{sz} (m)
3.15	3.00	5.00	1.30	10	156.21	-0.165	0.459	0.078	0.20	0.68
3.00	3.00	5.00	1.30	10	156.21	-0.168	0.461	0.071	0.20	0.64
S = 0.60 m										
H _{si} (m)	R _c (m)	B (m)	D (m)	T _p (s)	L _p (m)	p	q	K _t	K _d	H _{sz} (m)
3.53	2.40	5.00	1.30	10	156.21	-0.156	0.455	0.167	0.20	0.92
3.36	2.40	5.00	1.30	10	156.21	-0.160	0.457	0.161	0.20	0.86
SCENARIO 2										
S = 0.00 m										
H _{si} (m)	R _c (m)	B (m)	D (m)	T _p (s)	L _p (m)	p	q	K _t	K _d	H _{sz} (m)
3.15	-0.50	16	1.30	10	156.21	-0.165	0.307	0.370	0.20	1.33
3.00	-0.50	16	1.30	10	156.21	-0.168	0.308	0.373	0.20	1.27
S = 0.60 m										
H _{si} (m)	R _c (m)	B (m)	D (m)	T _p (s)	L _p (m)	p	q	K _t	K _d	H _{sz} (m)
3.53	-1.10	16	1.30	10	156.21	-0.156	0.288	0.435	0.20	1.69
3.36	-1.10	16	1.30	10	156.21	-0.160	0.303	0.440	0.20	1.62
SCENARIO 3										
S = 0.00 m										
H _{si} (m)					H _{sz} (m)					
3.15					3.15					
3.00					3.00					
S = 0.60 m										
H _{si} (m)					H _{sz} (m)					
3.53					3.53					
3.36					3.36					

Tab. 2 – Valori delle altezze d’onda a tergo delle scogliere distaccate emergenti (baffi)

3.3 PORTATE DI TRACIMAZIONE A TERGO DEL MURO BORBONICO

Prendendo a riferimento i valori di altezza d’onda H_{sz} prima ottenuti, si è proceduto al calcolo delle portate di tracimazione a tergo del muro borbonico; l’entità delle portate di overtopping è stata determinata mediante l’applicazione della nota relazione di carattere sperimentale di Pedersen e

Burchardt (1996), in funzione delle caratteristiche ondose incidenti, della geometria della scogliera aderente di protezione, della profondità del fondale antistante l'opera a gettata ed, ovviamente, della quota di sommità del muro borbonico.

$$\frac{qT_{0m}}{L_{0m}} = 3.2 \cdot 10^{-5} \left(\frac{H_{sz}}{R_c} \right)^3 \frac{H_{sz}^2}{A_c B \cot \alpha} \quad (7)$$

Nella (7), si ha:

q = portata di tracimazione per unità di lunghezza ($m^3/s/m$);

H_{sz} = altezza d'onda significativa incidente, pari a quella ricavata a tergo dei "baffi" (vedi tab. 2);

L_{0m} e T_{0m} = lunghezza e periodo medi di largo (m , s);

R_c = quota di coronamento del muro paraonde ($m.s.m.$);

A_c = quota di coronamento della scogliera aderente ($m.s.m.$);

B = larghezza del coronamento della scogliera aderente (m);

$\cot \alpha$ = scarpa lato mare del paramento della scogliera aderente.

I valori di R_c , A_c , B , e $\cot \alpha$, connessi alla sagoma geometrica della scogliera aderente di protezione, sono stati ricavati dai rilievi topo-batimetrici eseguiti.

Il valore del periodo medio T_{0m} si ricava in funzione del periodo significativo ($T_{0m} = 0.89 T_s$); a sua volta il valore di T_s è funzione di quello di T_p secondo la nota relazione $T_s = T_p / 1.1$.

La lunghezza d'onda L_{0m} di largo, viceversa, si ottiene dalla suddetta relazione di Airy per fondali illimitati ($L_{0m} = g T_{0m}^2 / 2\pi$).

Nella tabella seguente (tab. 3), con riferimento a tutti gli scenari analizzati (scenari n. 1, n. 2 e n. 3), si riportano i valori delle portate di tracimazione calcolati in funzione dei differenti valori delle altezze d'onda significative incidenti; le valutazioni sono state eseguite, anche in tal caso, nell'ipotesi di sopralzo del livello medio mare nullo e di sopralzo pari a $S = 0.60$ m. Si osserva che l'incremento del livello medio mare comporta una riduzione della quota di coronamento della scogliera di protezione aderente e, conseguentemente, un aumento della portata di tracimazione rispetto alla condizione di sopralzo nullo.

SCENARIO 1								
S = 0.00 m								
H _{sz} (m)	R _c (m)	B (m)	A _c (m)	cot α	T _s (s)	T _{0m} (s)	L _{0m} (m)	q (m ³ /s/m)
0.68	2.60	8.00	1.60	3.00	9.10	8.10	102.26	8.7 · 10 ⁻⁶
0.64	2.60	8.00	1.60	3.00	9.10	8.10	102.26	6.4 · 10 ⁻⁶
S = 0.60 m								
H _{sz} (m)	R _c (m)	B (m)	A _c (m)	cot α	T _s (s)	T _{0m} (s)	L _{0m} (m)	q (m ³ /s/m)
0.92	2.00	8.00	1.00	3.00	9.10	8.10	102.26	1.4 · 10 ⁻⁴
0.86	2.00	8.00	1.00	3.00	9.10	8.10	102.26	1.0 · 10 ⁻⁴
SCENARIO 2								
S = 0.00 m								
H _{sz} (m)	R _c (m)	B (m)	A _c (m)	cot α	T _s (s)	T _{0m} (s)	L _{0m} (m)	q (m ³ /s/m)
1.33	2.60	8.00	1.60	3.00	9.10	8.10	102.26	2.5 · 10 ⁻⁴
1.27	2.60	8.00	1.60	3.00	9.10	8.10	102.26	2.0 · 10 ⁻⁴
S = 0.60 m								
H _{sz} (m)	R _c (m)	B (m)	A _c (m)	cot α	T _s (s)	T _{0m} (s)	L _{0m} (m)	q (m ³ /s/m)
1.69	2.00	8.00	1.00	3.00	9.10	8.10	102.26	3.0 · 10 ⁻³
1.62	2.00	8.00	1.00	3.00	9.10	8.10	102.26	2.4 · 10 ⁻³
SCENARIO 3								
S = 0.00 m								
H _{sz} (m)	R _c (m)	B (m)	A _c (m)	cot α	T _s (s)	T _{0m} (s)	L _{0m} (m)	q (m ³ /s/m)
3.15	2.60	8.00	1.60	3.00	9.10	8.10	102.26	1.9 · 10 ⁻²
3.00	2.60	8.00	1.60	3.00	9.10	8.10	102.26	1.5 · 10 ⁻²
S = 0.60 m								
H _{sz} (m)	R _c (m)	B (m)	A _c (m)	cot α	T _s (s)	T _{0m} (s)	L _{0m} (m)	q (m ³ /s/m)
3.53	2.00	8.00	1.00	3.00	9.10	8.10	102.26	1.2 · 10 ⁻¹
3.36	2.00	8.00	1.00	3.00	9.10	8.10	102.26	9.2 · 10 ⁻²

Tab. 3 – Valori delle portate di tracimazione a tergo del muro borbonico

I valori ottenuti con riferimento allo scenario n. 1 che oscillano tra $8.7 \cdot 10^{-6}$ e $1.4 \cdot 10^{-4}$ m³/s/m risultano, come era presumibile attendersi, notevolmente inferiori sia a quelli relativi allo scenario n. 2 che a quelli relativi allo scenario n. 3.

Tuttavia, secondo gli standard americani (vedi tab. 4 – CEM 2001), essi determinano condizioni di pericolo e/o di insicurezza relative, sia per il traffico veicolare che per quello pedonale; in

particolare si riscontrano condizioni di “insicurezza” per il parcheggio delle auto sul muro paraonde e di “pericolo” ovvero di “disagio” per il transito pedonale sempre sul muro paraonde (e cioè in corrispondenza della “sezione” ove si verifica il fenomeno di tracimazione). Non si verificano viceversa condizioni di danneggiamento strutturale, non essendoci edifici (“buildings”) a tergo del muro paraonde.

Notevolmente superiori appaiono i valori di portata riscontrati per lo scenario n. 2; tali valori, che oscillano tra i $2.0 \cdot 10^{-4}$ ed i $3.0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ (circa di un ordine di grandezza superiori rispetto a quelli ottenuti con riferimento allo scenario n. 1), danno luogo a condizioni di “insicurezza” per il transito veicolare a qualsiasi velocità e di “pericolo elevato” per il transito pedonale. Relativamente agli aspetti strutturali, gli standard americani indicano condizioni di danneggiamento incipiente in corrispondenza della sommità del muro (“crest”) qualora essa non risulti protetta.

Molto più gravosi risultano i valori di portata connessi allo scenario n. 3; tali valori, che oscillano tra i $1.5 \cdot 10^{-2}$ ed i $1.2 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ (circa di due ordini di grandezza superiori rispetto a quelli ottenuti con riferimento allo scenario n. 2 e di tre ordini di grandezza superiori rispetto a quelli dello scenario n. 1), danno luogo a condizioni di “insicurezza” per il transito veicolare a qualsiasi velocità e di “pericolo elevato” per il transito pedonale. Anche relativamente agli aspetti strutturali, vengono indicate condizioni di danneggiamento sia per il muro che per i rivestimenti e le pavimentazioni.

**Table VI-5-6
Critical Values of Average Overtopping Discharges**

q m^3/s per m		q litres/s per m			
SAFETY OF TRAFFIC		STRUCTURAL SAFETY			
VEHICLES	PEDESTRIANS	BUILDINGS	EMBANKMENT SEAWALLS	GRASS SEA-DIKES	REVETMENTS
Unsafe at any speed	Very dangerous	Structural damage	Damage even if fully protected	Damage	Damage even for paved promenade
			Damage if back slope not protected		Damage if promenade not paved
Unsafe parking on horizontal composite breakwaters	Dangerous on vertical wall breakwaters	Dangerous on grass sea dikes, and horizontal composite breakwaters	Damage if crest not protected	Start of damage	No damage
Unsafe parking on vertical wall breakwaters					
Unsafe driving at high speed	Uncomfortable but not dangerous	Minor damage to fittings, sign posts, etc.	No damage	No damage	
Safe driving at all speeds	Wet, but not uncomfortable	No damage			

Tab. 4 – Valori di riferimento delle portate di tracimazione

3.4 AZIONI IDRODINAMICHE INDOTTE DAL MOTO ONDOSI SUL MURO BORBONICO

Le sollecitazioni indotte dal moto ondoso agenti sulla parete esterna del muro borbonico sono state determinate mediante le relazioni di Goda (1985) valide per dighe a parete verticale, opportunamente modificate da Takahashi, Tanimoto e Shimosako (1990) per tener conto della presenza di una struttura di protezione a scogliera. Con riferimento allo schema di fig. 3, si ha:

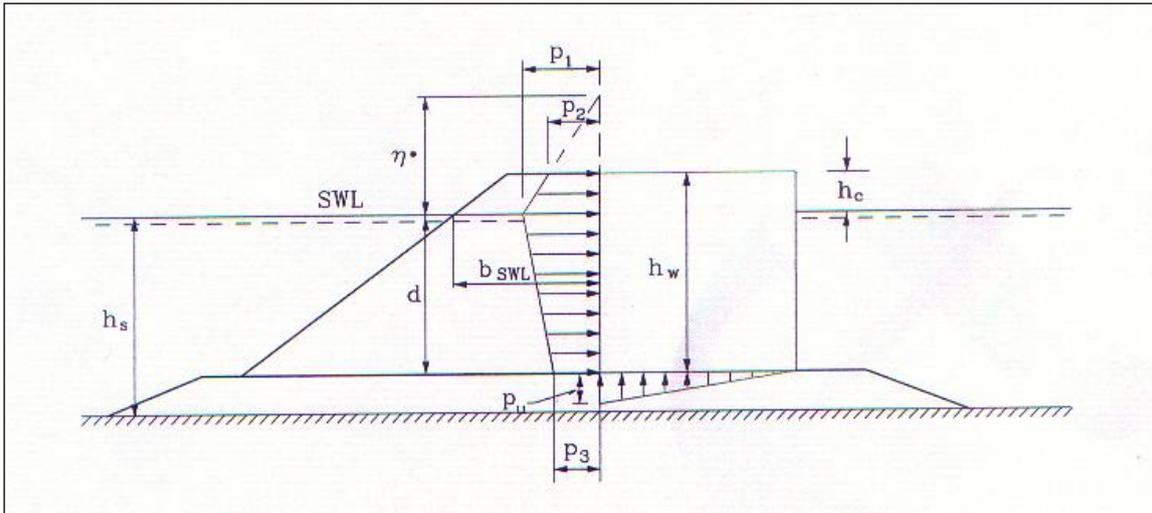


Fig. 3

η^* = risalita massima dell'onda sulla parete rispetto al l.m.m.;

p_1 = pressione orizzontale esercitata dall'onda in corrispondenza del l.m.m.;

p_2 = pressione orizzontale esercitata dall'onda in sommità (se la risalita dell'onda sulla parete η^* risulta inferiore alla quota di coronamento della struttura, il diagramma di pressioni si annulla in corrispondenza della quota di η^* e pertanto $p_2 = 0$);

p_3 = pressione orizzontale esercitata dall'onda in corrispondenza del piede dell'opera;

p_u = sottopressione idrica in corrispondenza del piede del muro.

Le espressioni dei termini suindicati sono di seguito riportate:

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos \beta) \lambda_1 H_{design} \quad (8)$$

$$p_1 = 0.5(1 + \cos \beta) (\lambda_1 \alpha_1 + \lambda_2 \alpha_* \cos^2 \beta) \rho_w g H_{design} \quad (9)$$

$$p_2 = \left(1 - \frac{h_c}{\eta^*}\right) p_1 \quad \text{se } \eta^* > h_c; \quad p_2 = 0 \quad \text{se } \eta^* < h_c \quad (10)$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 \quad (11)$$

$$p_u = 0.5(1 + \cos \beta) \lambda_3 \alpha_1 \alpha_3 \rho_w g H_{design} \quad (12)$$

Nelle (5) – (9), si ha:

β = angolo di incidenza del fronte d'onda rispetto alla parete (si assume cautelativamente $\beta = 0^\circ$);

$H_{design} = 1.8 H_s$;

$\alpha_* = \alpha_2$;

$$\alpha_1 = 0.6 + 0.5 \left[\frac{4\pi h_s / L}{\sinh(4\pi h_s / L)} \right]^2$$

α_2 è il minore tra: $\frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_{design}}{d} \right)^2$ e $\frac{2d}{H_{design}}$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h_w - h_c}{h_s} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h_s / L)} \right]$$

h_b = profondità alla distanza pari a $5 H_s$ al largo della struttura;

L = lunghezza d'onda corrispondente al periodo significativo alla profondità h_b .

Il valore di L si ottiene per tentativi dalla nota relazione di Airy per fondali intermedi:

$$L = g T_s^2 / 2\pi \tanh(2\pi h_b / L) \quad (13)$$

I valori dei coefficienti λ_1 , λ_2 e λ_3 sono stati particolarizzati da Takahashi, Tanimoto e Shimosako (1990) in caso di presenza di una struttura di protezione a scogliera, come di seguito riportato:

$$\lambda_1 = \lambda_3 = \begin{cases} 1.0 & \text{per } H_{design}/h_s < 0.30 \\ 1.2 - 0.67 (H_{design}/h_s) & \text{per } 0.30 \leq H_{design}/h_s \leq 0.60 \\ 0.80 & \text{per } H_{design}/h_s > 0.60 \end{cases}$$

$$\lambda_2 = 0.$$

Nel seguito (tab. 4), per ciascuno degli scenari presi in esame e con riferimento alle diverse condizioni ondose prima esaminate (in relazione ai differenti criteri di frangimento considerati e/o alla presenza/assenza di sopralzo del livello medio mare), sono riportati i valori delle pressioni orizzontali agenti sulla parete del muro e della sottopressione al piede della stessa (rispettivamente indicati con p_1 , p_2 , p_3 e p_u); si riporta altresì il valore della spinta orizzontale risultante per unità di lunghezza di muro, S_w , ottenuto caso per caso.

Dai risultati ottenuti si ricava una sensibile differenza relativa ai valori delle spinte orizzontali indotte dal moto ondoso ottenuti nei n. 3 scenari esaminati. Per quanto riguarda lo scenario n. 1, si ottiene, infatti, che essi risultano molto contenuti, oscillando tra i 0.85 ed i 2.43 t/m; viceversa, con riferimento allo scenario n. 2, tali valori, compresi nel range 3.15-8.65 t/m, risultano mediamente pari a circa 3-4 volte quelli relativi allo scenario n. 1. Molto più elevati risultano i valori ottenuti con riferimento allo scenario n. 3 che sono compresi nel range 24.56-38.79 t/m e sono quindi pari a circa 20 volte quelli relativi allo scenario n. 1 e 5 volte quelli relativi allo scenario n. 2.

SCENARIO 1														
S = 0.00 m														
H _{sz} (m)	T _s (L)	h _b (m)	L (m)	d (m)	h _w (m)	h _s (m)	h _c (m)	H _d (m)	η*(m)	p ₁ (t/m ²)	p ₂ (t/m ²)	p ₃ (t/m ²)	p _u (t/m ²)	S _w (t/m)
0.68	9.10	2.67	45.52	0.20	2.80	2.70	2.60	1.22	1.64	1.15	0.00	1.14	1.14	1.17
0.64	9.10	2.66	45.44	0.20	2.80	2.70	2.60	1.15	1.57	1.10	0.00	1.09	1.09	1.08
S = 0.60 m														
H _{sz} (m)	T _s (L)	h _b (m)	L (m)	d (m)	h _w (m)	h _s (m)	h _c (m)	H _d (m)	η*(m)	p ₁ (t/m ²)	p ₂ (t/m ²)	p ₃ (t/m ²)	p _u (t/m ²)	S _w (t/m)
0.92	9.10	3.28	50.20	0.80	3.40	3.30	2.00	1.66	2.15	1.47	0.10	1.43	1.43	2.85
0.86	9.10	3.27	50.12	0.80	3.40	3.30	2.00	1.55	2.06	1.42	0.04	1.37	1.37	2.62
SCENARIO 2														
S = 0.00 m														
H _{sz} (m)	T _s (L)	h _b (m)	L (m)	d (m)	h _w (m)	h _s (m)	h _c (m)	H _d (m)	η*(m)	p ₁ (t/m ²)	p ₂ (t/m ²)	p ₃ (t/m ²)	p _u (t/m ²)	S _w (t/m)
1.33	9.10	2.73	46.00	0.20	2.80	2.70	2.60	2.39	2.87	2.00	0.19	1.99	1.99	3.54
1.27	9.10	2.72	45.92	0.20	2.80	2.70	2.60	2.29	2.74	1.92	0.10	1.91	1.91	3.15
S = 0.60 m														
H _{sz} (m)	T _s (L)	h _b (m)	L (m)	d (m)	h _w (m)	h _s (m)	h _c (m)	H _d (m)	η*(m)	p ₁ (t/m ²)	p ₂ (t/m ²)	p ₃ (t/m ²)	p _u (t/m ²)	S _w (t/m)
1.69	9.10	3.40	51.05	0.80	3.40	3.30	2.00	3.04	3.65	2.51	1.14	2.43	2.43	8.65
1.62	9.10	3.40	51.05	0.80	3.40	3.30	2.00	2.92	3.51	2.42	1.04	2.34	2.34	7.96
SCENARIO 3														
S = 0.00 m														
H _{sz} (m)	T _s (L)	h _b (m)	L (m)	d (m)	h _w (m)	h _s (m)	h _c (m)	H _d (m)	η*(m)	p ₁ (t/m ²)	p ₂ (t/m ²)	p ₃ (t/m ²)	p _u (t/m ²)	S _w (t/m)
3.15	9.10	3.10	48.87	0.20	2.80	2.70	2.60	5.68	6.81	4.80	2.97	4.78	4.78	27.44
3.00	9.10	3.10	48.87	0.20	2.80	2.70	2.60	5.40	6.48	4.57	2.74	4.55	4.55	24.58
S = 0.60 m														
H _{sz} (m)	T _s (L)	h _b (m)	L (m)	d (m)	h _w (m)	h _s (m)	h _c (m)	H _d (m)	η*(m)	p ₁ (t/m ²)	p ₂ (t/m ²)	p ₃ (t/m ²)	p _u (t/m ²)	S _w (t/m)
3.53	9.10	3.20	49.61	0.80	3.40	3.30	2.00	6.36	7.63	5.23	3.86	5.05	5.05	38.79
3.36	9.10	3.20	49.61	0.80	3.40	3.30	2.00	6.05	7.26	4.97	3.60	4.80	4.80	35.04

Tab. 4 – Sovrappressioni e spinte orizzontali indotte dal moto ondoso sul muro borbonico

4. CONCLUSIONI

Nella presente Relazione vengono riportati i risultati delle analisi e verifiche effettuate per valutare il comportamento idraulico delle scogliere distaccate emergenti (“baffi”) realizzate in occasione dell’America’Cup World Series 2012 in prolungamento della preesistente scogliera distaccata di protezione della Rotonda Diaz (lato Ovest e lato Est); tali attività si rendono necessarie allo scopo di fornire all’Amministrazione comunale ed alla competente Soprintendenza tutti gli elementi utili per valutare l’eseguibilità del progetto elaborato dal Provveditorato per le Opere pubbliche nel giugno 2012 (come aggiornato nel 2019), che prevedeva la rimozione a soffolte delle suddette barriere, anche ai fini della tutela del muro parabolico di sostruzione del lungomare di via Caracciolo.

Le verifiche sono state condotte con riferimento a n. 3 differenti scenari corrispondenti a differenti configurazioni geometriche delle scogliere in esame e nella fattispecie:

- 1) Scenario n. 1 - stato attuale: quota coronamento pari a +3.00 m.s.m. – larghezza coronamento pari a 5.00 m;
- 2) Scenario n. 2 - abbassamento a soffolta: quota coronamento pari a -0.50 m.s.m. – larghezza coronamento pari a 16.0 m;
- 3) Scenario n. 3 - eliminazione della scogliera: salpamento integrale dell’opera a gettata.

Le valutazioni hanno riguardato, in particolare:

- l’entità delle altezze d’onda nello specchio acqueo a tergo delle scogliere;
- le portate di tracimazione a tergo del muro borbonico;
- le spinte orizzontali indotte dal moto ondoso sul muro.

Il confronto tra i risultati ottenuti nei n. 3 scenari considerati evidenzia notevoli differenze, sia in termini di altezze d’onda incidenti, sia di portate di tracimazione, sia di spinte indotte dal moto ondoso; in particolare, le portate di tracimazione che invadono la sede di via Caracciolo risultano, per lo scenario n. 2, circa 10 volte superiori rispetto a quello relative allo scenario n. 1, mentre quelle relative allo scenario n. 3 addirittura 1000 volte superiori a quelle dello scenario n. 1, il che determina il netto superamento dei valori “critici” indicati dagli standard americani riferiti alle condizioni di insicurezza e/o di pericolo per il traffico veicolare e pedonale, ovvero alle condizioni di danneggiamento strutturale delle infrastrutture a tergo.

Risultati simili sono stati ottenuti in termini di spinte indotte dal moto ondoso sul muro; i valori relativi allo scenario n. 2 risultano mediamente pari a circa 3 volte superiori a quelli relativi allo

scenario n. 1, mentre quelli ottenuti nello scenario n. 3 sono pari a 15-20 volte i valori dello scenario n. 1.

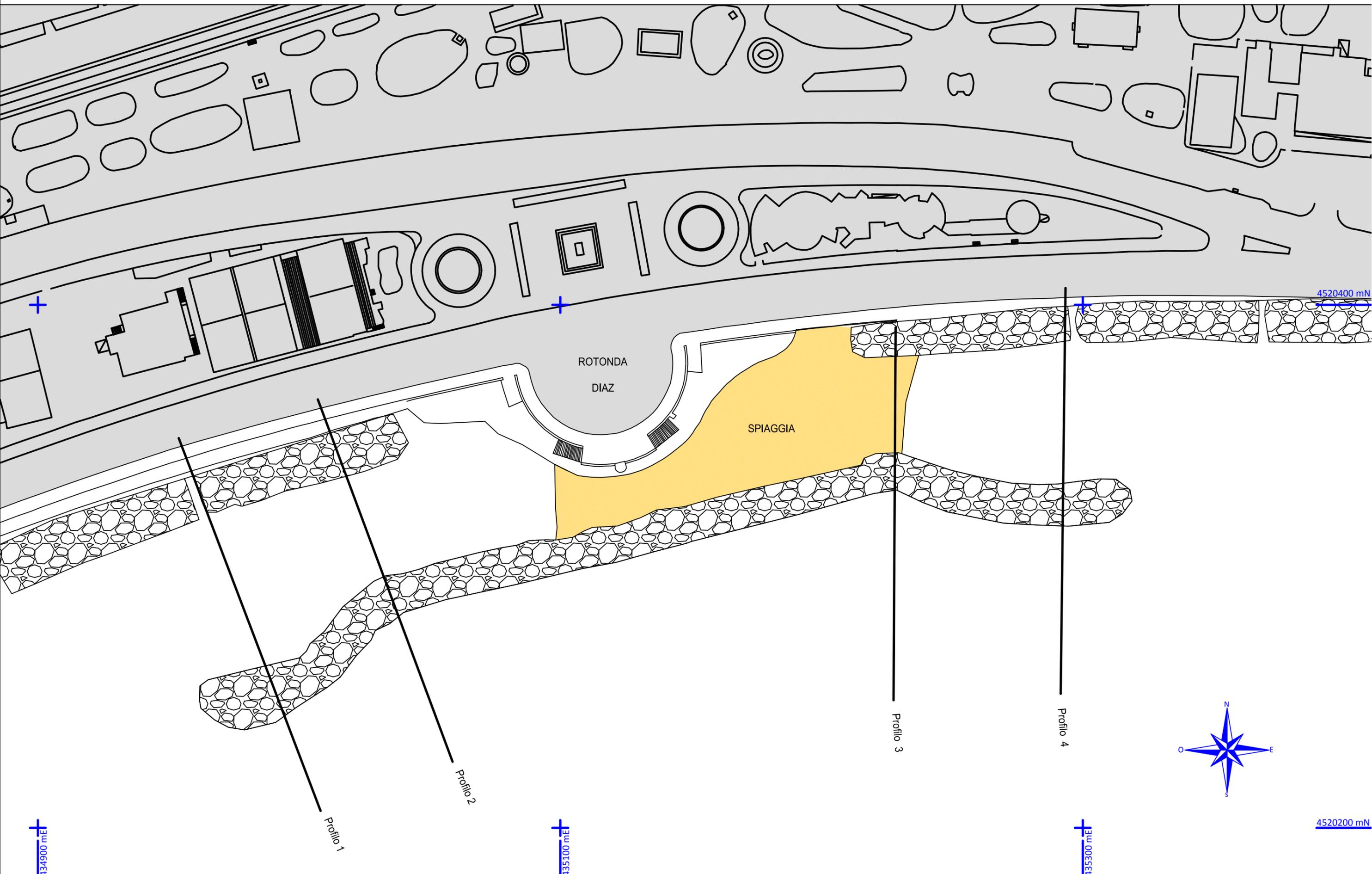
Sulla scorta dei risultati ottenuti dalle verifiche, può quindi concludersi che la configurazione attuale delle scogliere distaccate emergenti (“baffi”) realizzate in occasione dell’America’Cup World Series 2012, unitamente alle preesistenti scogliere aderenti (scenario n. 1), garantisce requisiti di protezione nei confronti del muro di epoca borbonica nettamente superiori a quelli che si otterrebbero nell’ipotesi di abbassamento a soffolta delle suddette barriere ed ancor di più nel caso di rimozione integrale delle stesse.

Sia nel primo che nel secondo caso (scenari n. 2 e n. 3), l’entità dei fenomeni di tracimazione che ne deriverebbe, risulterebbe di gran lunga superiore a quella accettabile secondo gli standard di riferimento americani relativamente alle condizioni di sicurezza e/o di pericolo per il transito veicolare e pedonale a tergo, nonché al danneggiamento delle infrastrutture presenti.

Altresì risulterebbero molto più elevate le sollecitazioni indotte dal moto ondoso sul muro di epoca borbonica, con possibili compromissioni della sua integrità strutturale.

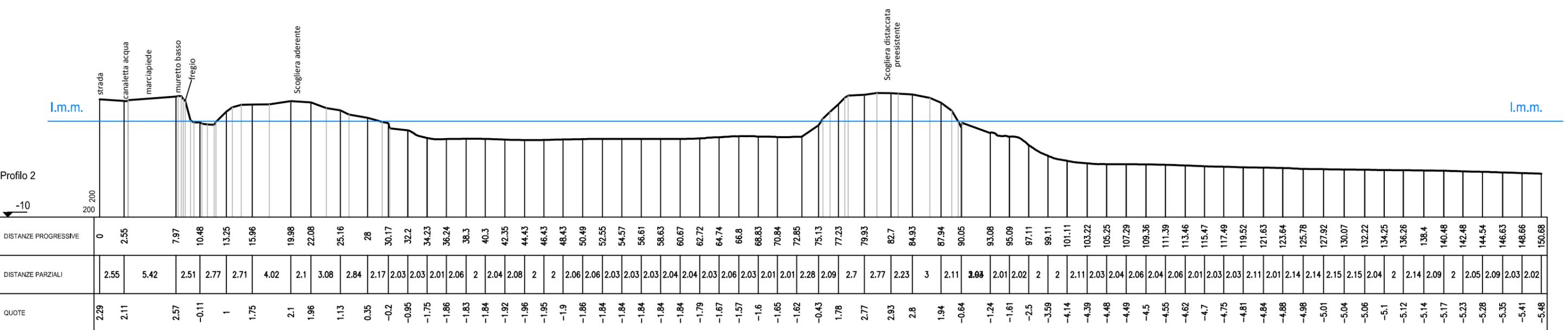
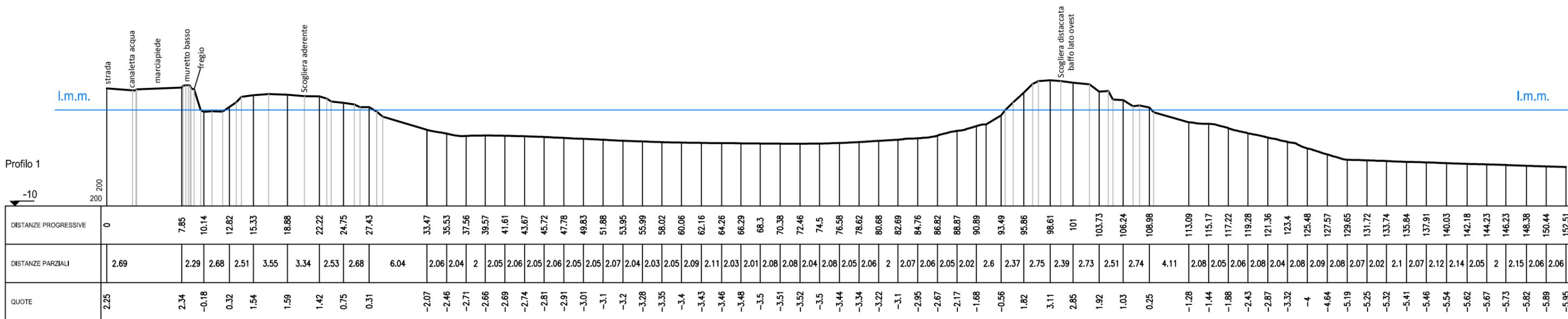
ALLEGATO n. 1

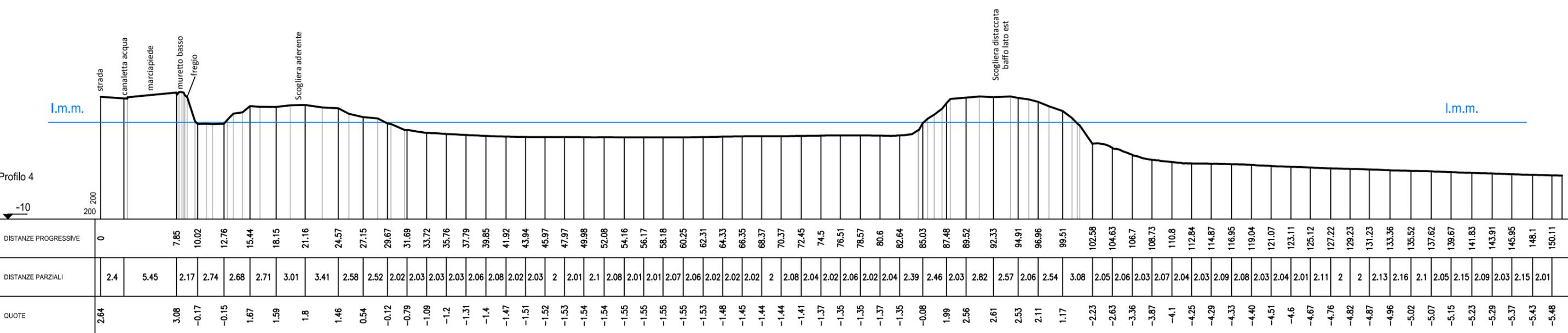
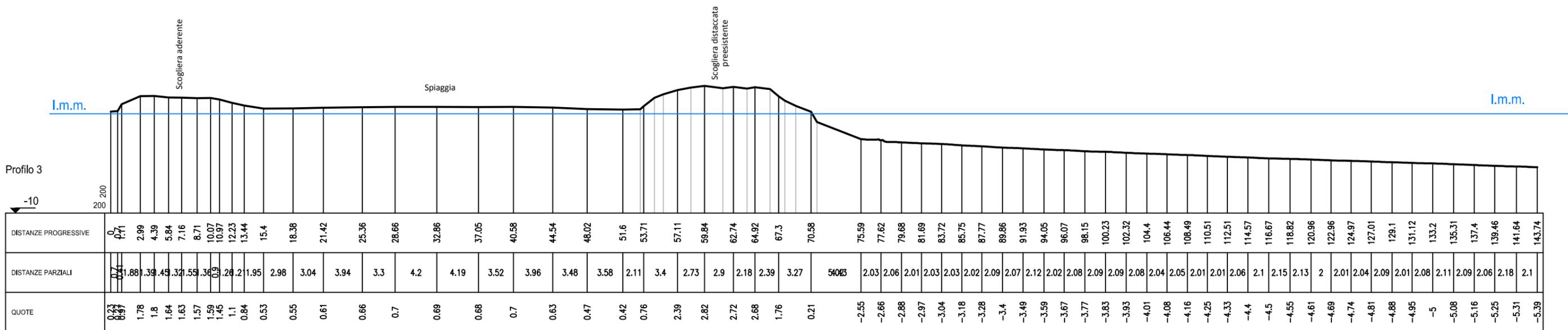
PLANIMETRIA DI RILIEVO TOPO-BATIMETRICO



ALLEGATO n. 2

SEZIONI DI RILIEVO TOPO-BATIMETRICO





ALLEGATO n. 3

REGISTRAZIONE MAREGGIATA 25-28 DICEMBRE 2020

Date	Hour	Hs (m)	Tp (Sec)	Dp (Deg)	Hmax (m)
25/12/2020	00:00	0.6	3.2	204	0.9
25/12/2020	01:00	0.6	3.2	203	1.0
25/12/2020	02:00	0.6	3.2	204	1.0
25/12/2020	03:00	0.7	3.3	199	1.1
25/12/2020	04:00	0.7	3.4	217	1.2
25/12/2020	05:00	0.8	3.5	217	1.2
25/12/2020	06:00	0.8	3.6	187	1.3
25/12/2020	07:00	0.9	3.7	198	1.4
25/12/2020	08:00	0.9	3.8	216	1.5
25/12/2020	09:00	0.9	3.7	211	1.5
25/12/2020	10:00	0.9	3.6	243	1.6
25/12/2020	11:00	0.9	3.8	211	1.6
25/12/2020	12:00	0.9	3.7	240	1.7
25/12/2020	13:00	1	3.9	213	1.6
25/12/2020	14:00	0.9	3.7	216	1.6
25/12/2020	15:00	1	3.8	251	1.7
25/12/2020	16:00	1.1	4.6	254	2
25/12/2020	17:00	1.5	5.3	254	2.3
25/12/2020	18:00	1.2	5.1	244	2
25/12/2020	19:00	1.2	5.1	254	2
25/12/2020	20:00	1.2	5.1	267	2
25/12/2020	21:00	1.2	5.2	276	2.1
25/12/2020	22:00	1.4	4.5	283	2.3
25/12/2020	23:00	1.6	4.7	260	2.6
26/12/2020	00:00	1.5	4.9	281	2.3
26/12/2020	01:00	1.3	4.7	288	2.1
26/12/2020	02:00	1.3	5.1	269	2.1
26/12/2020	03:00	1.2	5.1	275	2.1
26/12/2020	04:00	1.3	5.3	273	2.1
26/12/2020	05:00	1	4.9	284	1.7
26/12/2020	06:00	1	4.8	292	1.8
26/12/2020	07:00	0.9	4.5	273	1.6
26/12/2020	08:00	0.9	4.8	248	1.5
26/12/2020	09:00	1	4.8	253	1.5
26/12/2020	10:00	1	4.8	273	1.5
26/12/2020	11:00	0.9	4.3	259	1.6
26/12/2020	12:00	1.1	4.9	256	1.9
26/12/2020	13:00	1	4.7	267	1.7
26/12/2020	14:00	0.9	4.8	248	1.5
26/12/2020	15:00	0.8	4.7	231	1.3
26/12/2020	16:00	1.1	5.1	252	1.8
26/12/2020	17:00	1.2	4.8	256	2.1
26/12/2020	18:00	1.3	5.3	251	2.2
26/12/2020	19:00	1.2	5	248	1.9
26/12/2020	20:00	1.1	5	240	1.8
26/12/2020	21:00	1.1	4.9	250	1.8
26/12/2020	22:00	1	4.7	230	1.7
26/12/2020	23:00	1	4.8	243	1.7
27/12/2020	00:00	0.8	4.8	230	1.4

Date	Hour	Hs (m)	Tp (Sec)	Dp (Deg)	Hmax (m)
27/12/2020	01:00	0.9	4.7	229	1.5
27/12/2020	02:00	0.8	4.6	199	1.3
27/12/2020	03:00	0.7	4	215	1.3
27/12/2020	04:00	0.7	4.3	215	1.1
27/12/2020	05:00	0.7	4.7	212	1.2
27/12/2020	06:00	0.7	5.1	200	1.2
27/12/2020	07:00	0.8	4.3	197	1.3
27/12/2020	08:00	0.8	4.1	193	1.3
27/12/2020	09:00	0.8	4.2	184	1.3
27/12/2020	10:00	0.7	3.8	192	1.2
27/12/2020	11:00	0.7	3.8	203	1
27/12/2020	12:00	0.7	4.1	214	1.1
27/12/2020	13:00	0.6	4.4	209	1
27/12/2020	14:00	0.6	4.8	206	1.1
27/12/2020	15:00	0.6	4.7	226	1
27/12/2020	16:00	0.6	5	211	1
27/12/2020	17:00	0.6	4.9	218	1
27/12/2020	18:00	0.7	3.9	223	1.2
27/12/2020	19:00	0.9	3.7	248	1.6
27/12/2020	20:00	1.1	3.8	213	1.9
27/12/2020	21:00	1.3	4.1	263	2.2
27/12/2020	22:00	1.6	4.4	274	2.7
27/12/2020	23:00	1.7	4.4	259	2.9
28/12/2020	00:00	1.6	4.6	270	2.8
28/12/2020	01:00	1.5	4.6	271	2.3
28/12/2020	02:00	1.2	4.3	280	2.1
28/12/2020	03:00	1.3	4.4	262	2.1
28/12/2020	04:00	1	4.2	234	1.8
28/12/2020	05:00	1	4.1	264	1.7
28/12/2020	06:00	1	4.1	266	1.7
28/12/2020	07:00	1	4.1	238	1.8
28/12/2020	08:00	1.3	4.3	235	2.1
28/12/2020	09:00	1.5	4.5	231	2.1
28/12/2020	10:00	1.6	4.5	214	2.3
28/12/2020	11:00	1.8	4.8	210	3.2
28/12/2020	12:00	2.1	5.3	193	3.4
28/12/2020	13:00	2.3	5.7	220	3.8
28/12/2020	14:00	2.4	5.9	229	3.6
28/12/2020	15:00	2.5	6.4	230	3.9
28/12/2020	16:00	2.9	6.6	225	4.6
28/12/2020	17:00	2.9	6.2	217	4.4
28/12/2020	18:00	2.9	6.3	247	4.5
28/12/2020	19:00	3.4	6.6	227	5
28/12/2020	20:00	---	---	---	---
28/12/2020	21:00	3.4	6.4	205	5
28/12/2020	22:00	3.3	6.4	223	5.4
28/12/2020	23:00	2.7	5.8	222	4.2
29/12/2020	00:00	2.5	5.8	224	4.5
29/12/2020	01:00	2.7	6	217	4.6

Date	Hour	Hs (m)	Tp (Sec)	Dp (Deg)	Hmax (m)
29/12/2020	02:00	2.8	6.3	200	4.5
29/12/2020	03:00	2.7	6.3	220	4.2
29/12/2020	04:00	2.1	5.9	253	3.4
29/12/2020	05:00	2.2	6.1	222	3.7
29/12/2020	06:00	2.1	6	244	3.4
29/12/2020	07:00	2.2	6.4	232	3.5
29/12/2020	08:00	2.2	6.3	237	3.5
29/12/2020	09:00	2.1	6.1	234	3.6
29/12/2020	10:00	2	6	228	3.2
29/12/2020	11:00	1.8	5.5	225	2.9
29/12/2020	12:00	2	5.8	245	3.1
29/12/2020	13:00	2.1	6	241	3.3
29/12/2020	14:00	1.6	5.4	251	2.7
29/12/2020	15:00	1.6	5.1	239	2.5
29/12/2020	16:00	1.3	4.9	229	2.3
29/12/2020	17:00	1.3	4.8	215	2.3
29/12/2020	18:00	1.3	4.7	229	2.2
29/12/2020	19:00	1.4	4.8	213	2.3
29/12/2020	20:00	1.4	4.6	218	2.3
29/12/2020	21:00	1.5	4.9	203	2.4
29/12/2020	22:00	1.5	4.7	230	2.7
29/12/2020	23:00	1.9	5.1	229	3
30/12/2020	00:00	1.8	5	227	3
30/12/2020	01:00	1.8	5.1	214	3
30/12/2020	02:00	1.8	5.1	226	3.1
30/12/2020	03:00	1.8	5.2	213	3.1
30/12/2020	04:00	2	5.1	226	3.2
30/12/2020	05:00	1.9	5.2	208	2.8
30/12/2020	06:00	1.7	5.3	218	2.6
30/12/2020	07:00	1.5	5.2	232	2.3
30/12/2020	08:00	1.5	5.2	230	2.4