

C0	20/07/12	EMISSIONE PER APPROVAZIONE	GP	LB	YE
REVISIONE	DESCRIZIONE			EL.	CON. APP.

MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
MAGISTRATO ALLE ACQUE

## NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA

CONVENZIONE REP. 7191 DEL 04-10-1991  
ATTO ATTUATIVO REP. 8510 DEL 27-07-2011 (PROGETTAZIONE)

## INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER LA REGOLAZIONE DEI FLUSSI DI MAREA

CUP: D51B020000500I1 (A.A. 8510)

### PROGETTO ESECUTIVO

**WBS: MA.H1.43.PE**

**WBE: MA.H1.43.PE.13**

BOCCA DI MALAMOCCO – BARRIERA: PALANCOLE,  
PREPARAZIONE DEI RECESSI, OPERE CIVILI

CASSONE DI SPALLA NORD (MN-S02)

### DATI DI PROGETTO

### CONDIZIONI METEOMARINE ED AZIONI CONSEGUENTI

ELABORATO  G. Pellegrini	CONTROLLATO  L. Bottigelli	APPROVATO  Y. Eprim
N. ELABORATO  MV079P-PE-MCR-8013-C0	CODICE FILE  MV079P-PE-MCR-8013-C0.doc	DATA  20 luglio 2012

## CONSORZIO “VENEZIA NUOVA”

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE

VERIFICATO

S. Dalla Villa

CONTROLLATO

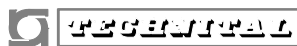
M. Brotto




CONSORZIO VENEZIA NUOVA

Ing. M. Brotto

PROGETTAZIONE



IL RESPONSABILE : Ing. A. SCOTTI

 <b>PROGETTA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 2
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

**MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI**

**MAGISTRATO ALLE ACQUE**

**NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA**

**CONVENZIONE REP. N° 7191 DEL 04-10-1991**

**ATTO ATTUATIVO REP. 8510 DEL 27-07-2011 (PROGETTAZIONE)**


**CONSORZIO VENEZIA NUOVA**

**INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER LA REGOLAZIONE  
DEI FLUSSI DI MAREA**

**- PROGETTO ESECUTIVO -**


**BOCCA DI MALAMOCCO - BARRIERA: PALANCOLE,  
PREPARAZIONE DEI RECESSI, OPERE CIVILI  
CASSONE DI SPALLA NORD (MN-S02)**

**DATI DI PROGETTO**  
**CONDIZIONI METEOMARINE ED AZIONI CONSEGUENTI**


 <b>REGIONE</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 3
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## **INDICE**

<b>1. INTRODUZIONE</b>	<b>5</b>
<b>2. VENTO</b>	<b>8</b>
2.1. Clima anemologico	8
2.2. Statistica degli eventi estremi	14
<b>3. MOTO ONDOSO</b>	<b>15</b>
3.1. Moto ondoso al largo	15
3.2. Moto ondoso all'esterno della bocca di Malamocco	27
3.3. Moto ondoso alla barriera di Malamocco	32
3.3.1. Onde estreme	32
3.3.2. Onde frequenti	42
<b>4. MAREE E PARAMETRI IDRODINAMICI</b>	<b>53</b>
4.1. Livelli di marea	53
4.2. Gradiente medio di marea	56
4.3. Velocità della corrente nella zona di barriera	58
<b>5. TEMPERATURA SALINITA' E DENSITA' DELL'ACQUA DI MARE</b>	<b>70</b>
5.1. Temperatura dell'acqua di mare	70
5.2. Salinità	71
5.3. Densità dell'acqua di mare	73
<b>6. TEMPERATURA E UMIDITÀ ARIA</b>	<b>74</b>
6.1. Temperatura dell'aria	74
6.2. Umidità dell'aria	76
<b>7. AZIONI DEL MOTO ONDOSO SUL CASSONE DI SPALLA</b>	<b>77</b>
7.1. Premessa	77
7.2. Il modello fisico del cassone di spalla nella fase di appoggio provvisorio	82
7.2.1. Descrizione del modello fisico del cassone di spalla	82
7.2.2. Prove eseguite e principali risultati conseguiti	88
7.3. Azioni sul cassone in fase di appoggio temporaneo	101

 <b>REGIONE</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 4
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

7.3.1.	Stabilità del cassone in appoggio sui perni in presenza di ritegni di sommità	103
7.3.2.	Stabilità del cassone in appoggio sui sacconi	107
7.3.3.	Carichi per le analisi strutturali	109
7.4.	Azioni sul cassone in fase di esercizio	112
<b>8.</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>116</b>
	<b>INDICE DELLE FIGURE</b>	<b>118</b>
	<b>INDICE DELLE TABELLE</b>	<b>121</b>

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 5
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## 1. INTRODUZIONE

Il presente documento illustra i parametri ambientali di riferimento per la progettazione esecutiva del cassone di spalla nord della barriera di Malamocco e la metodologia da adottare nel calcolo delle azioni cui il cassone è soggetto ad opera del moto ondoso sia nella fase di installazione della barriera che in quella di esercizio.


Vengono definiti i parametri relativi al vento, al moto ondoso, ai livelli di marea, alla velocità di corrente, alla temperatura e alla salinità dell'acqua di mare, alla temperatura e umidità dell'aria.

Il capitolo 2 contiene l'analisi dei dati di vento registrati in due stazioni, una al largo, l'altra all'interno della bocca di Lido. Le analisi sono state eseguite sia su base annuale che su base stagionale, suddividendo i dati invernali (da ottobre a marzo compresi) da quelli estivi (da aprile a settembre). Viene inoltre definita la statistica dei valori estremi della velocità del vento.

Il capitolo 3 contiene i dati relativi al moto ondoso al largo, in prossimità dell'ingresso della bocca di Malamocco ed in corrispondenza della barriera di Malamocco. L'analisi delle onde al largo si basa sull'esame dei dati registrati in 20 anni in corrispondenza della Piattaforma Acqua Alta che ha condotto alla definizione del clima al largo e della relazione tra altezza d'onda e periodo di picco. L'esame delle onde con altezze superiori a prefissate soglie ( $H_s$  pari a 1m e 2m) ha permesso di caratterizzare su base stagionale la distribuzione direzionale delle mareggiate e la loro persistenza. Infine l'analisi del campione di onde concomitanti con il superamento di prefissati valori del livello medio mare ha permesso di definire la frequenza di accadimento delle altezze d'onda in occasione della chiusura delle barriere nei 100 anni di vita dell'opera. Per quanto riguarda i valori estremi di riferimento per la progettazione viene fornita la statistica combinata di onde e livelli già definita nella Relazione meteomarina e morfologica allegata al Progetto definitivo delle opere alle bocche.

Il moto ondoso all'esterno della bocca di Malamocco è stato valutato mediante modellazione matematica che ha portato alla definizione del clima del moto ondoso e alla statistica dei valori estremi a circa 2.3 km dall'ingresso della bocca.

Per l'esame della penetrazione delle onde estreme all'interno della bocca e alla barriera si sono utilizzati da un lato i risultati dei modelli numerici, dall'altro quelli delle prove sul modello fisico dell'intera bocca realizzato presso il Centro Sperimentale di Voltabarozzo in scala 1:64 nell'ambito dello studio B.6.54. E' stato così possibile trasferire nella sezione di barriera la statistica combinata di onde e livelli suddivisa per il settore di Bora e quello di Scirocco. Poiché la distribuzione del moto ondoso di breve periodo non è uniforme lungo tutta la sezione di barriera, i valori di riferimento per la progettazione dei cassoni di spalla sono stati differenziati da quelli da considerare per i cassoni di alloggiamento delle paratoie.

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 6
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	



L'analisi delle onde frequenti è stata effettuata sulla base di misure eseguite in natura precedenti la realizzazione degli interventi per la regolazione dei flussi di marea (che quindi sono di carattere indicativo) e sulla base delle misure acquisite nell'ambito dello studio B.6.96/II a partire dal dicembre 2008 e attualmente in corso nell'ambito della 2<sup>a</sup> perizia di variante e suppletiva. Tali dati hanno permesso di definire una correlazione tra altezza d'onda e periodo di picco e di stimare l'altezza d'onda con ricorrenza annuale.

Il capitolo 4 contiene l'analisi dei livelli di marea e dei suoi gradienti e della velocità della corrente. Non avendo a disposizione misure dirette di corrente di marea in corrispondenza delle barriere per un periodo sufficientemente lungo e tenuto conto che comunque la realizzazione delle opere alle bocche modifica la distribuzione delle portate e delle velocità rispetto alla situazione in assenza di interventi, la valutazione della velocità della corrente in corrispondenza delle sezioni di barriera è stata inizialmente effettuata utilizzando il modello numerico *Delft3D-Flow* della laguna di Venezia a partire da maree di caratteristiche prefissate. La determinazione della portata e del conseguente campo di moto è stata effettuata in condizioni di moto vario. Le simulazioni sono state eseguite con un'onda di marea semplificata di tipo sinusoidale con periodo di 12 ore e livello medio coincidente con il livello medio mare, per diversi valori del gradiente medio a seconda del periodo di ritorno considerato. Ovviamente nel trasferire i risultati di queste simulazioni alle maree reali si introducono inevitabilmente delle approssimazioni legate all'effettiva forma della marea. Infatti la portata alle bocche di porto (e quindi la velocità della corrente) dipende non solo dalla forma dell'onda di marea considerata, ma anche dal ciclo di marea precedente (inerzia del sistema). D'altra parte, ai fini della progettazione, si è essenzialmente interessati ad una valutazione statistica della velocità per cui le approssimazioni legate all'effettiva forma della marea risultano accettabili. Al contrario durante le fasi operative della posa dei cassoni ciò che conta è l'effettivo valore della velocità presente durante le operazioni che non può prescindere dalla forma dell'onda di marea e dai cicli di marea precedenti.

Sulla base delle misure di velocità della corrente acquisite nell'ambito dello studio B.6.96/II si è provveduto a valutare, in via preliminare, la bontà della correlazione tra gradiente e velocità massima della corrente nel ciclo di marea definita con il modello numerico.


I capitoli 0 e 5.1 contengono rispettivamente i dati relativi alla temperatura, alla salinità e alla densità dell'acqua di mare e alla temperatura e all'umidità dell'aria su base mensile.

Infine il capitolo 7 riguarda l'analisi delle azioni cui è sottoposto il cassone ad opera del moto ondoso nella fase di appoggio provvisorio durante l'installazione della barriera e in quella di esercizio sia in condizioni di paratoie abbassate che in condizioni di paratoie sollevate. Per la fase di appoggio provvisorio tale analisi si basa sui risultati del modello

 	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 7
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

fisico appositamente allestito nell'ambito dello studio B.6.96/II FASE: *“Studio per il controllo della messa in opera dei cassoni di spalla”*.

I valori di riferimento dei parametri ambientali per le analisi in esercizio sono quelli definiti nei capitoli precedenti, mentre quelli per la fase di appoggio temporaneo dei cassoni su perni dipendono dalla capacità di previsione in relazione alla durata delle operazioni di installazione. A tale scopo è attualmente in corso la 2^ perizia di variante e suppletiva dello studio B.6.96/II FASE che ha come obiettivo quello di definire le condizioni ambientali accettabili per la posa dei cassoni e di realizzare un sistema di previsione a supporto delle operazioni di installazione. I valori di riferimento considerati nel paragrafo 7.3.1 dovranno essere pertanto confermati dai risultati dello studio di cui sopra.

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 8
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## 2. VENTO

### 2.1. Clima anemologico

Il regime del vento è stato ricavato elaborando la velocità e la direzione media dei dati registrati ogni 3 ore, per 10 minuti, nelle seguenti stazioni anemometriche:

- Piattaforma “Acqua Alta” situata a circa 8 miglia al largo della costa Veneziana (Lat 45°18'48"N, Lon 12°30'54"E), relativamente al periodo gennaio 1988- dicembre 2003 (Fig. 2.1).

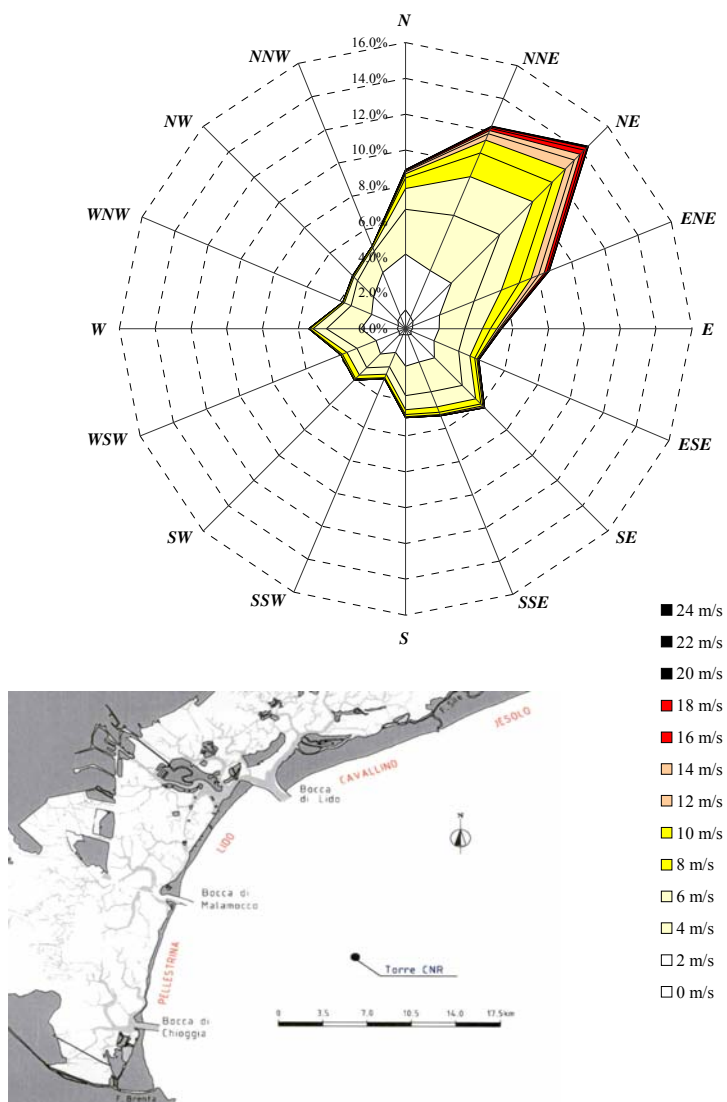



FIG. 2.1 - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEL VENTO MISURATO ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA (1988-2003)



 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 9
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

- Lido S. Nicolò (Lat 45°25'34"N, Lon 12°22'55"E), relativamente al periodo novembre 1951- luglio 1977 (Fig. 2.2).

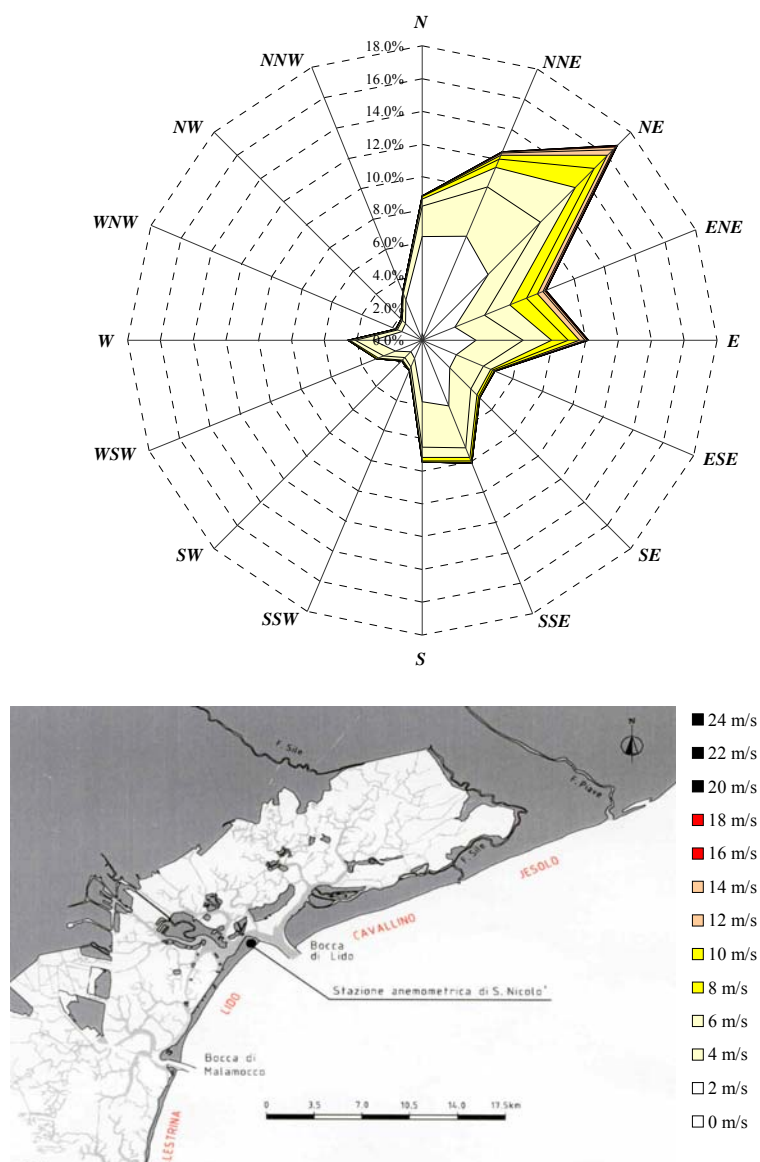
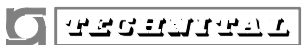


FIG. 2.2 - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEL VENTO MISURATO A LIDO S.NICOLÒ (1951-1977)

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 10
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Le due serie di dati risultano in buon accordo tra loro come evidenziato nelle figure sopra citate e nelle seguenti tabelle che riportano la distribuzione direzionale della velocità del vento suddivisa in classi di ampiezza pari a 2 m/s, ogni 22.5°.

Si osserva che i venti prevalenti appartengono al 1° quadrante con maggiori concentrazioni dalla direzione di NE corrispondente alla Bora.

Dir	VELOCITA' VENTO (m/s)													Tot.
	≥ 0	≥ 1	≥ 3	≥ 5	≥ 7	≥ 9	≥ 11	≥ 13	≥ 15	≥ 17	≥ 19	≥ 21	≥ 23	
	< 1	< 3	< 5	< 7	< 9	< 11	< 13	< 15	< 17	< 19	< 21	< 23	< 25	
N	1.07	3.11	2.51	1.15	0.60	0.24	0.11	0.04	0.04	0.03	0.01	0.01	0.00	8.91
NNE	0.72	2.81	3.35	2.35	1.43	0.79	0.38	0.19	0.15	0.08	0.03	0.01	0.00	12.30
NE	0.57	3.04	3.84	2.61	1.52	1.03	0.74	0.46	0.32	0.21	0.08	0.02	0.00	14.43
ENE	0.42	1.62	2.10	1.63	1.09	0.69	0.47	0.33	0.18	0.10	0.03	0.01	0.00	8.67
E	0.38	1.50	1.44	0.97	0.46	0.35	0.12	0.08	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	5.37
ESE	0.31	1.42	1.49	0.71	0.29	0.12	0.06	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44
SE	0.44	1.86	2.17	1.08	0.41	0.15	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	6.25
SSE	0.36	1.63	1.81	0.91	0.31	0.13	0.06	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	5.24
S	0.33	1.75	1.65	0.78	0.28	0.13	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.97
SSW	0.33	1.09	0.88	0.46	0.19	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.03
SW	0.48	1.50	1.10	0.57	0.29	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.05
WSW	0.39	1.39	1.15	0.62	0.27	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.92
W	0.47	2.02	1.94	0.74	0.19	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.41
WNW	0.44	1.61	1.26	0.39	0.09	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.82
NW	0.63	1.90	1.27	0.29	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.20
NNW	0.78	2.63	1.27	0.23	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00
Tot. Parz.	8.12	30.88	29.22	15.48	7.56	3.95	2.13	1.20	0.78	0.46	0.18	0.04	0.01	100.00
Tot. Cum.	8.12	39.00	68.22	83.70	91.26	95.21	97.34	98.53	99.32	99.77	99.95	100.0	100.0	

TAB. 2.1 - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEL VENTO (VALOR MEDIO SU 10 MINUTI) MISURATO ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA (1988-2003) RIFERITO ALLA QUOTA DI 10 M S.L.M.M.

Dir	VELOCITA' VENTO (m/s)													Tot.
	≥ 0	≥ 1	≥ 3	≥ 5	≥ 7	≥ 9	≥ 11	≥ 13	≥ 15	≥ 17	≥ 19	≥ 21	≥ 23	
	< 1	< 3	< 5	< 7	< 9	< 11	< 13	< 15	< 17	< 19	< 21	< 23	< 25	
N	0.40	5.95	1.85	0.43	0.14	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.82
NNE	0.23	6.68	3.28	1.30	0.56	0.26	0.13	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	12.52
NE	0.14	5.54	4.51	3.01	1.65	1.12	0.51	0.22	0.10	0.03	0.01	0.01	0.00	16.85
ENE	0.07	2.08	1.96	1.65	1.09	0.72	0.36	0.13	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	8.15
E	0.10	3.17	2.88	1.75	1.01	0.68	0.33	0.14	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	10.15
ESE	0.03	2.23	1.79	0.49	0.13	0.10	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	4.81
SE	0.05	2.32	1.83	0.51	0.16	0.08	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.97
SSE	0.11	4.19	2.78	0.65	0.22	0.11	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	8.11
S	0.09	3.65	2.79	0.63	0.20	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.43
SSW	0.05	1.13	0.61	0.18	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.03
SW	0.04	0.94	0.52	0.20	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.78
WSW	0.06	1.70	0.78	0.34	0.10	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.02
W	0.07	2.94	1.09	0.31	0.08	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.54
WNW	0.09	1.27	0.29	0.07	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.76
NW	0.07	1.37	0.28	0.08	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.83
NNW	0.15	2.53	0.41	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.23
Tot. Parz.	1.74	47.69	27.67	11.68	5.52	3.28	1.46	0.58	0.26	0.07	0.03	0.01	0.00	100.00
Tot. Cum.	1.74	49.43	77.10	88.78	94.30	97.58	99.04	99.63	99.88	99.95	99.99	100.0	100.0	

TAB. 2.2 - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEL VENTO (VALOR MEDIO SU 10 MINUTI) MISURATO A LIDO S. NICOLÒ (1951-1977) RIFERITO ALLA QUOTA DI 10 M S.L.M.M

Per quanto riguarda gli eventi con velocità superiore ai 10 m/s si osserva che questi risultano sensibilmente maggiori nella stazione in mare aperto (circa il 4%) rispetto a quelli registrati nella stazione litoranea (circa 2.5%).

I dati registrati alla Piattaforma Acqua Alta sono stati ulteriormente analizzati per individuare le frequenza di accadimento su base mensile dei valori della velocità del vento superiori a 5 e 10 m/s. I risultati sono riportati in Tab. 2.3 e Fig. 2.3.

Mese	Vv >= 5 m/s		Vv >= 10 m/s	
	% dati al mese	N° ore al mese	% dati al mese	N° ore al mese
Gennaio	32.8%	244	9.3%	69
Febbraio	27.6%	205	7.2%	54
Marzo	29.6%	220	5.3%	39
Aprile	38.6%	287	6.0%	44
Maggio	29.8%	222	2.7%	20
Giugno	28.4%	211	3.1%	23
Luglio	28.1%	209	3.6%	27
Agosto	26.9%	200	4.7%	35
Settembre	32.1%	239	5.4%	40
Ottobre	35.0%	261	7.6%	57
Novembre	38.0%	283	11.2%	84
Dicembre	37.0%	275	11.7%	87

TAB. 2.3 - DISTRIBUZIONE SU BASE MENSILE DELLE MISURE REGISTRATE ALLA PIATTAFORMA CON VV>5 M/S E 10 M/S (PERIODO GEN. 88-DIC 03)

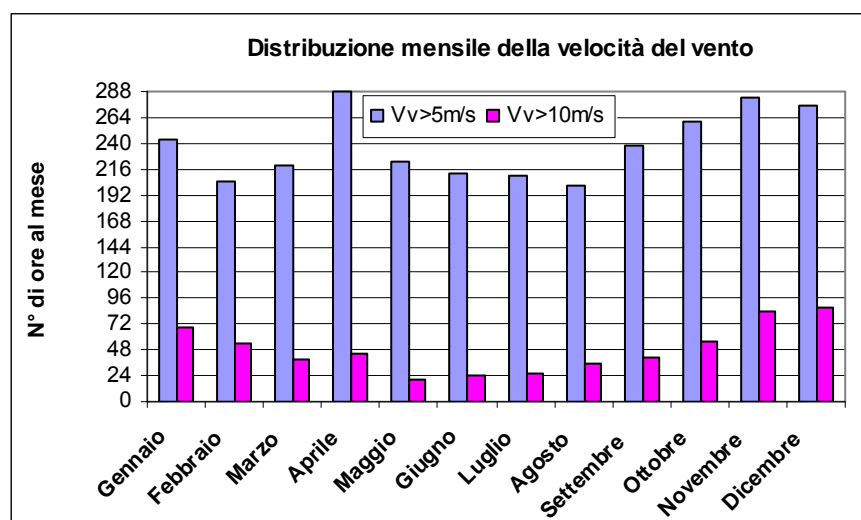



FIG. 2.3 - DISTRIBUZIONE SU BASE MENSILE DELLE MISURE REGISTRATE ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA CON VV>5 M/S E 10 M/S (PERIODO GEN. 88-DIC 03)

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 12
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

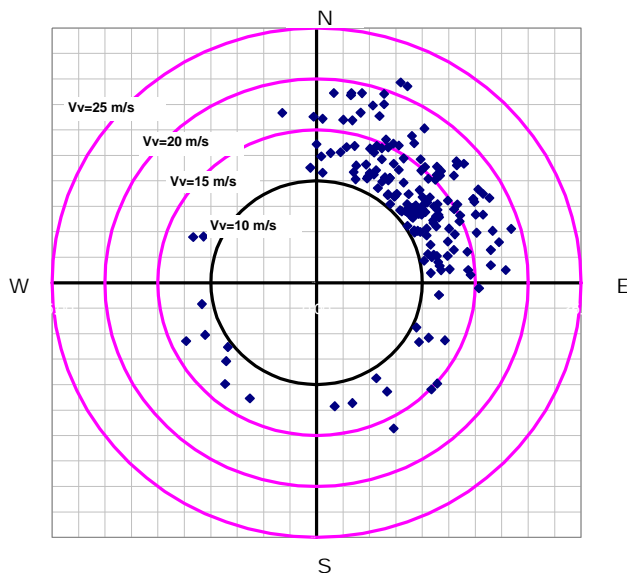
Un'altra informazione utile che può essere dedotta dalle misure eseguite in natura riguarda la persistenza stagionale degli eventi sopra una certa soglia e dei periodi di calma.

Nella seguente figura si riporta la distribuzione direzionale su base stagionale della velocità del vento al picco dell'evento, per gli eventi che hanno superato il valore  $V_v=10$  m/s per almeno 6 ore, e la loro durata con riferimento ai valori di soglia di 10 e 15 m/s.

#### VENTO AL LARGO (dati CVN Piattaforma Acqua Alta: 1988-2003)

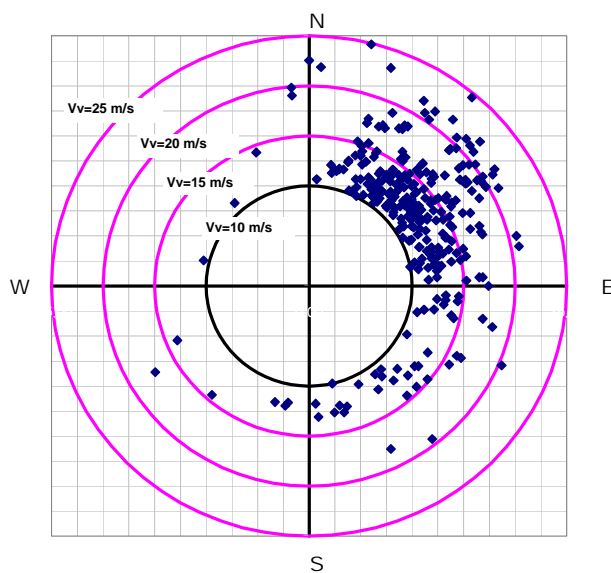
distribuzione dei valori di  $V_v$  al picco per gli eventi  
con  $V_v$  picco  $>10$  m/s e durata  $>3$  ore  
in funzione della direzione di provenienza

##### PERIODO ESTIVO

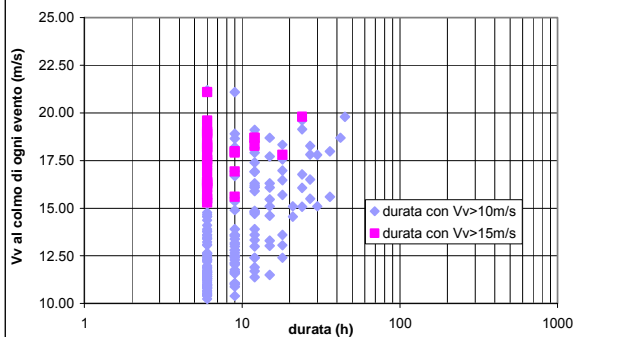


distribuzione dei valori di  $V_v$  al picco per gli eventi  
con  $V_v$  picco  $>10$  m/s e durata  $>3$  ore  
in funzione della direzione di provenienza

##### PERIODO INVERNALE



##### PIATTAFORMA ACQUA ALTA PERIODO ESTIVO: durata degli eventi in funzione della velocità del vento al picco



##### PIATTAFORMA ACQUA ALTA PERIODO INVERNALE: durata degli eventi in funzione della velocità del vento al picco

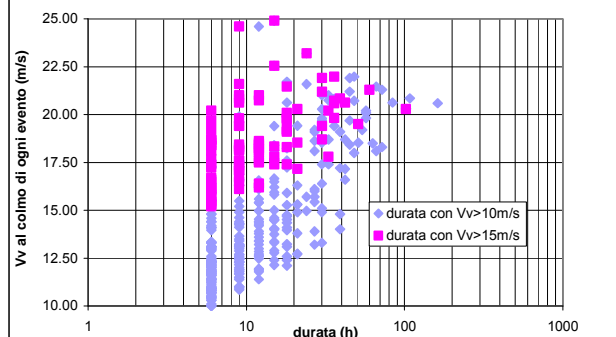


FIG. 2.4 - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE SU BASE STAGIONALE DEL VALORE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO AL PICCO PER GLI EVENTI CON  $V_v$  AL PICCO  $>10$  M/S E LORO DURATA ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA.

La Tab. 2.4 riporta invece la persistenza media degli eventi sopra i 10 e i 15 m/s.

soglia Vv (m/s)	durata in ore						
	>3	>6	>12	>18	>24	>36	>48
10	12	6	2	1	1	0	0
15	2	1	0	0	0	0	0

soglia Vv (m/s)	durata in ore						
	>3	>6	>12	>18	>24	>36	>48
10	20	13	7	4	4	2	1
15	6	4	2	1	1	0	0

TAB. 2.4 - PERSISTENZA DELLE TEMPESTE ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA

Si osserva che gli eventi più importanti, sia in termini di massima velocità del vento raggiunta che in termini di durata, si sono verificati nel periodo invernale e che comunque appartengono al settore di bora.

Per quanto riguarda la persistenza delle calme invece non si osservano particolari differenze stagionali. Nella tabella di Fig. 2.5 si riporta la persistenza media annuale delle calme di vento: il numero delle finestre temporali caratterizzate da una velocità del vento inferiore ai 10 m/s risulta pari a 87, di cui il 50% circa hanno una durata minima di un giorno e mezzo.

soglia Vv (m/s)	durata in giorni					
	>0	>0.5	>1	>2	>4	>8
5.0	278	112	61	27	9	1
10.0	87	63	51	38	24	12

#### Persistenza delle calme

numero medio di eventi nell'anno con Vv < valore di soglia

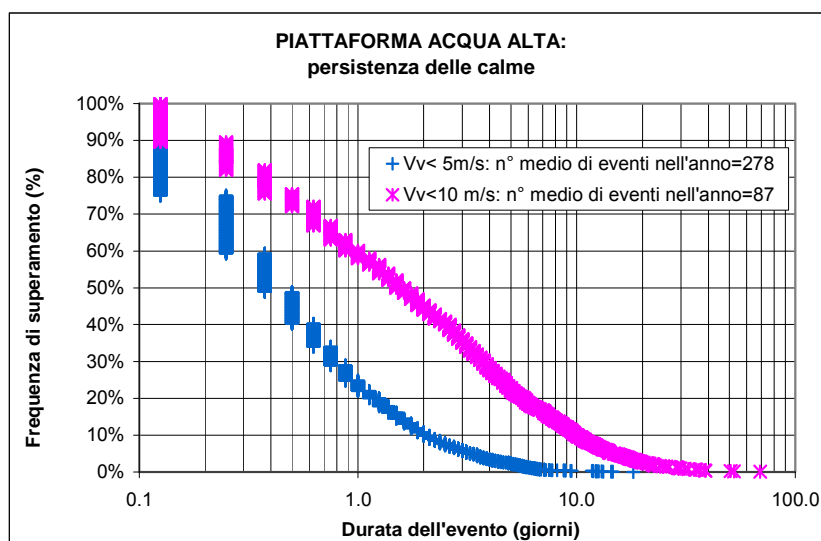


FIG. 2.5 - PERSISTENZA DELLE CALME DI VENTO ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA

## 2.2. Statistica degli eventi estremi

La statistica degli eventi estremi è stata dedotta applicando il metodo di Gumbel ai valori massimi annuali registrati nelle due stazioni: i valori ottenuti sono illustrati in Fig. 2.6.

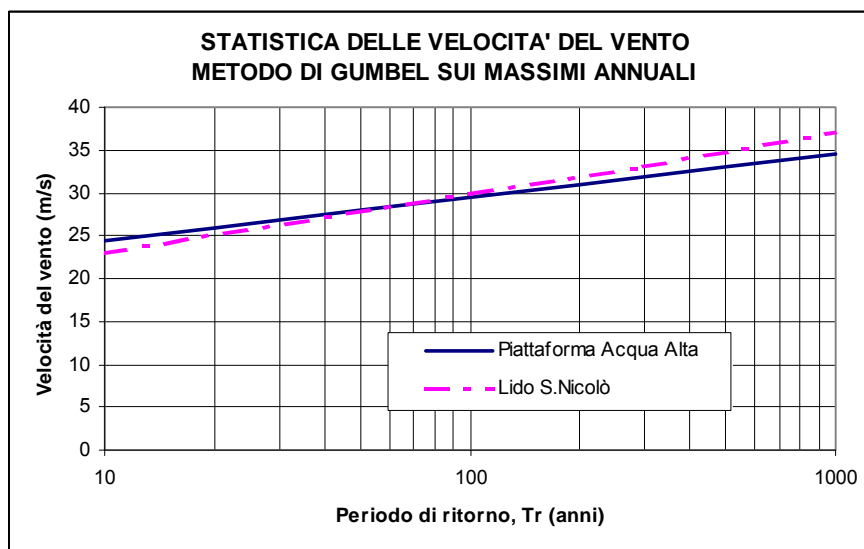



FIG. 2.6 - VALORI ESTREMI DEL VENTO DEDOTTI DAI DATI MISURATI (VALOR MEDIO SU 10 MINUTI) NELLE DUE STAZIONI ANEMOMETRICHE RIFERITI ALLA QUOTA DI 10 M S.L.M.M

Si assumono i seguenti valori estremi della velocità del vento:

Tr (anni)	10	100	300	1000
Velocità vento (m/s)	25.0	30.0	33.0	37.0

TAB. 2.5 - VALORI ESTREMI DELLA VELOCITÀ DEL VENTO (VALOR MEDIO SU 10 MINUTI) RIFERITI ALLA QUOTA DI 10 M S.L.M.M

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 15
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

### 3. MOTO ONDOSO

#### 3.1. Moto ondoso al largo

Le caratteristiche del moto ondoso al largo in condizioni estreme sono state analizzate dettagliatamente nella Relazione Meteomarina e Morfologica allegata al Progetto definitivo degli interventi alle bocche lagunari per la regolazione dei flussi di marea e successive revisioni [Rif. 1]. La Tab. 3.1 riassume i valori adottati.

Tempo di ritorno (anni)	5	10	100	300	1000
Hs (m)	4.4	4.7	5.6	6.0	6.4
Tp (s) settore di bora	8.4	8.7	9.5	9.8	10.1
Tp (s) settore di scirocco	9.4	9.8	10.6	11.0	11.4

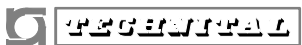
TAB. 3.1 - VALORI ESTREMI DEL MOTO ONDOSO AL LARGO

In questa sede si approfondiscono le analisi relative alle misure direzionali di moto ondoso in corrispondenza della Piattaforma Acqua Alta del CNR (Lat 45°18'48"N, Lon 12°30'54"E), situata a circa 8 miglia dalla costa su fondali di 17 m. In questa stazione sono state effettuate le prime misure di moto ondoso dal CNR, poi proseguite dal Consorzio Venezia Nuova.

Il clima del moto ondoso è stato dedotto dalle misure direzionali eseguite dal Consorzio Venezia Nuova nel periodo da ottobre 1987 a dicembre 2007.

Nella Tab. 3.2 è riportata la distribuzione direzionale del moto ondoso suddivisa in classi di altezza d'onda di 0.5 m per settori di 10° di ampiezza, relativa all'intero periodo di osservazione. Si osserva che gli eventi di calma, caratterizzati da un valore dell'altezza d'onda significativa inferiore a 0.25 m, sono il 37%, quelli con altezza superiore al metro sono circa il 11%, mentre l'1.5% delle registrazioni presenta valori superiori ai 2.0 m.

Il relativo diagramma polare, depurato degli eventi di calma, è rappresentato in Fig. 3.1. Si osserva che gli eventi di Bora sono centrati sulla direzione 60°N, mentre quelli di Scirocco sui 140°N.

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 16
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Hs (m)	≥ 0	≥ 0.25	≥ 0.75	≥ 1.25	≥ 1.75	≥ 2.25	≥ 2.75	≥ 3.25	≥ 3.75	≥ 4.25	Tot.	Tot. no calme
DIREZIONE °N	< 0.25	< 0.75	< 1.25	< 1.75	< 2.25	< 2.75	< 3.25	< 3.75	< 4.25			
0	0.61	0.70	0.18	0.11	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	1.66	1.05
10	0.69	1.03	0.34	0.15	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	1.60
20	0.99	0.98	0.24	0.12	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	2.37	1.38
30	0.78	1.02	0.24	0.11	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	2.23	1.45
40	1.04	1.73	0.43	0.13	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	3.40	2.36
50	1.38	2.42	0.92	0.38	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	5.21	3.84
60	1.29	2.62	1.22	0.65	0.30	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	6.18	4.89
70	1.11	2.30	1.25	0.71	0.36	0.15	0.05	0.00	0.00	0.00	5.93	4.82
80	1.62	2.42	0.82	0.41	0.18	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	5.58	3.95
90	1.38	2.03	0.63	0.25	0.08	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	4.40	3.03
100	1.12	1.67	0.46	0.16	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	3.49	2.37
110	1.36	1.87	0.52	0.14	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	3.95	2.60
120	1.68	2.65	0.80	0.25	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	5.49	3.80
130	2.28	3.39	1.11	0.36	0.11	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	7.28	5.00
140	2.43	3.37	0.73	0.17	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	6.80	4.37
150	2.89	3.36	0.49	0.12	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	6.94	4.05
160	1.93	2.30	0.30	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.65	2.72
170	1.29	1.13	0.17	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.65	1.36
180	0.73	0.75	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.61	0.89
190	0.65	0.80	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.61	0.96
200	0.74	0.75	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.58	0.84
210	0.56	0.64	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.27	0.71
220	0.63	0.63	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35	0.72
230	0.83	0.49	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.41	0.58
240	0.72	0.34	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11	0.39
250	0.66	0.32	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	0.35
260	0.79	0.32	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	0.36
270	0.67	0.29	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	0.32
280	0.43	0.21	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.24
290	0.32	0.19	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.21
300	0.36	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	0.17
310	0.43	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.17
320	0.56	0.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.18
330	0.61	0.22	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86	0.25
340	0.59	0.31	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	0.34
350	0.82	0.60	0.10	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.55	0.73
Tot. Parz.	36.95	44.32	11.68	4.54	1.73	0.59	0.15	0.03	0.00	0.00	100.00	
Tot. No calme		44.32	11.68	4.54	1.73	0.59	0.15	0.03	0.00	0.00		63.05
Tot. Cum.		44.32	56.00	60.54	62.27	62.87	63.02	63.05	63.05	63.05		


DATI PTF CNR DA OTTOBRE 1987 A DICEMBRE 2007

51110 dati determinati (7942 dati indeterminati)

TAB. 3.2 - STATISTICA DIREZIONALE DEL MOTO ONDOLO ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA (DATI TRIORARI OTT. 1987- DIC.2007)





 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 18
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

La Fig. 3.2 riporta la probabilità di non superamento delle diverse classi di altezza significativa e la loro interpolazione nel piano di Weibull: l'altezza d'onda con ricorrenza annuale risulta pari a 3.4 m, quelle con periodo di ritorno di 5 e 10 anni risultano rispettivamente pari a 4.0 e 4.3 m. Questi ultimi due valori in via cautelativa sono stati incrementati del 10%, pertanto nel progetto delle opere alle bocche si assumono i seguenti valori delle altezze d'onda al largo della costa:

Tr= 5 anni      Hs= 4.4 m

Tr= 10 anni    Hs=4.7 m

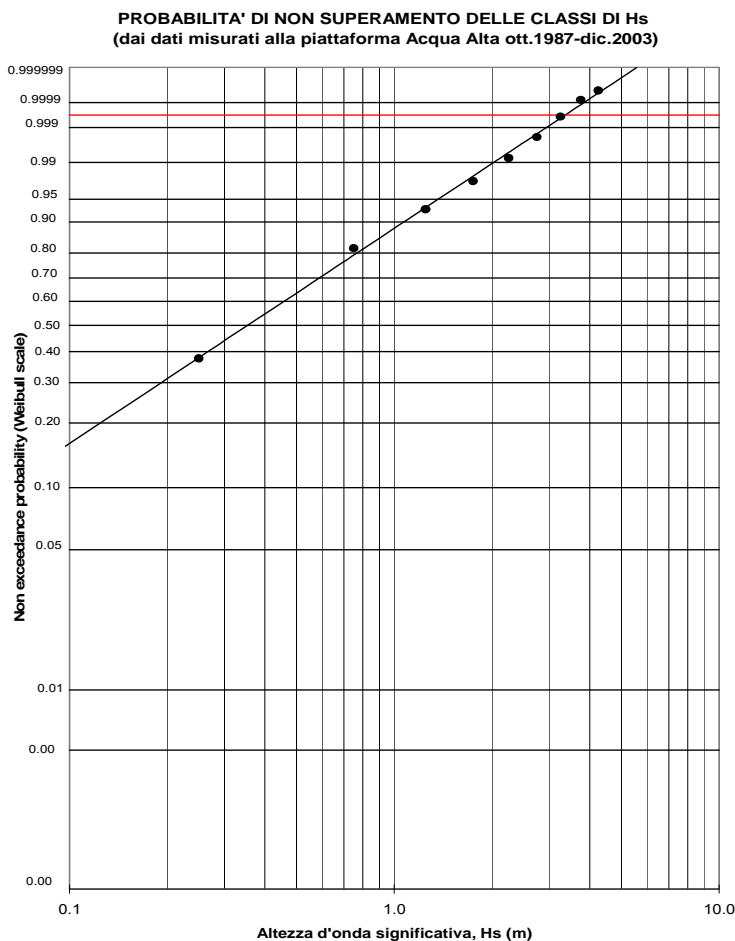


FIG. 3.2 - PROBABILITÀ DI NON SUPERAMENTO DELL' ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA (OTT. 1987-DIC 2007)

Limitando l'analisi delle registrazioni a valori di  $H_s$  superiori ad 1.0 m e definendone la frequenza di accadimento su base mensile, le mareggiate risultano più frequenti nel periodo autunnale ed invernale, come evidenziato in Tab. 3.3 Fig. 3.3.

Mese	% dati al mese	N° ore al mese
Gennaio	16.0%	119
Febbraio	12.0%	81
Marzo	10.4%	78
Aprile	11.6%	83
Maggio	6.1%	45
Giugno	5.4%	39
Luglio	3.8%	28
Agosto	3.8%	28
Settembre	9.1%	65
Ottobre	15.5%	115
Novembre	19.7%	142
Dicembre	20.9%	156

TAB. 3.3 - DISTRIBUZIONE SU BASE MENSILE DEGLI EVENTI REGISTRATI ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA CON  $H_s > 1.0$  M (PERIODO OTT. 87-DIC 03)

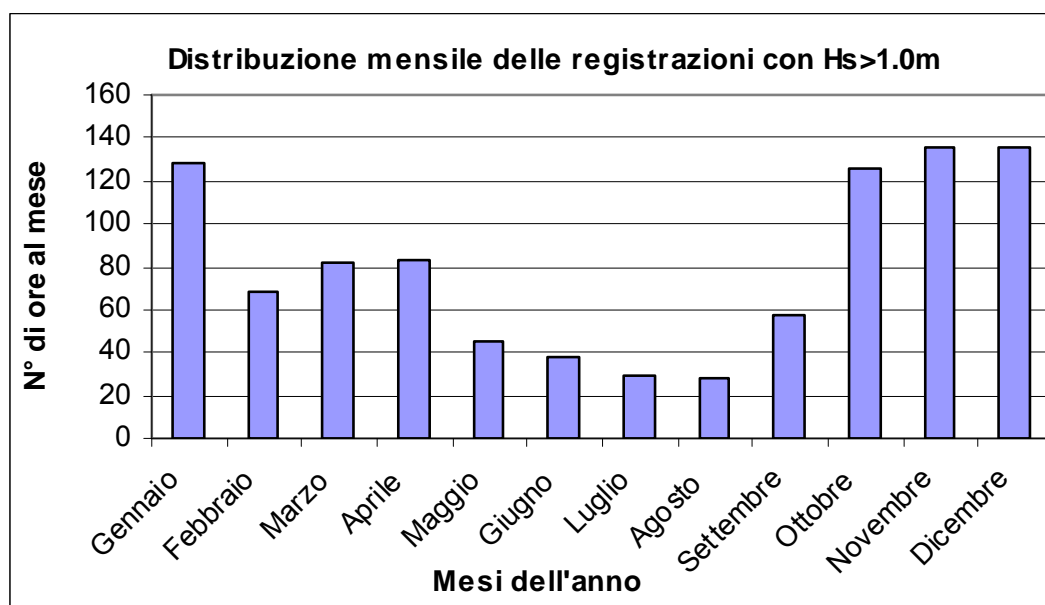



FIG. 3.3 - DISTRIBUZIONE SU BASE MENSILE DEGLI EVENTI REGISTRATI ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA CON  $H_s > 1.0$  M (PERIODO OTT. 87-DIC 03)

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 20
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Per stabilire la correlazione tra altezza d'onda e periodo si sono utilizzate le registrazioni effettuate dal CVN alla Piattaforma Acqua Alta ed i risultati ottenuti con il modello numerico *Hiswa*, suddividendo i dati nei due settori principali di Bora e Scirocco. Tale suddivisione si rende necessaria poiché, soprattutto nei confronti del periodo, le onde provenienti dai due settori hanno caratteristiche molto differenti: per il settore di Bora, pur essendo presenti venti particolarmente intensi, il periodo è limitato dal fetch e dai bassi fondali; per il settore di Scirocco si riscontrano invece periodi più elevati legati alle mareggiate estreme che si generano nell'Adriatico centrale su alti fondali e che, propagandosi verso il litorale veneziano, mantengono pressoché invariato il periodo riducendosi in altezza per l'attrito sul fondo.

Poiché le registrazioni si riferiscono ad onde con altezza significativa inferiore ai 4.0 m, per i valori estremi si sono utilizzati i risultati del modello *Hiswa*. Occorre osservare che i risultati del modello sono prossimi al limite inferiore dei periodi per ciascuna classe di altezza d'onda. Infatti per Bora corrispondono al picco della mareggiata che, per la limitazione dei fondali e avendo considerato eventi estremi, non sono lontani dal limite di frangimento.

Per Scirocco i risultati dipendono dal valore del periodo che è stato associato all'onda al contorno del modello: essendo stati utilizzati i valori inferiori dei periodi registrati alla stazione dell'Enel ubicata in prossimità di Punta della Maestra (condizione che risulta cautelativa per l'analisi delle onde estreme di Scirocco) anche alla Piattaforma tali valori sono rappresentativi della fascia inferiore.

In Fig. 3.4 sono riportate le correlazioni tra periodo e altezza d'onda desunte dalle misure dirette, e dai risultati del modello *Hiswa*.

Per le onde al largo vengono assunte le seguenti relazioni:

- settore di Bora:  $T_p = 4.0 \sqrt{H_s}$
- settore di Scirocco:  $T_p = 4.5 \sqrt{H_s}$

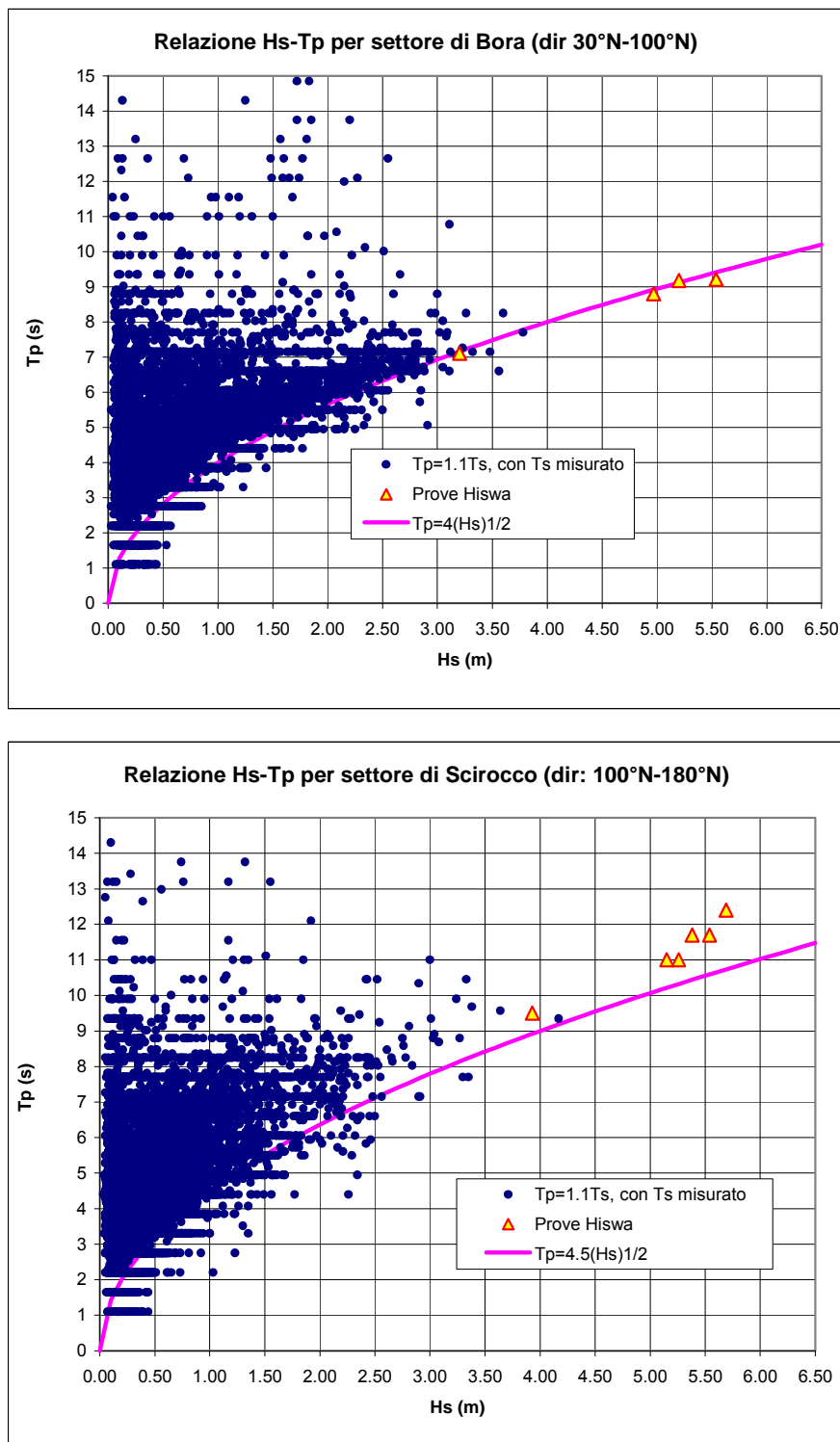



FIG. 3.4 - RELAZIONE TRA PERIODO E ALTEZZA D'ONDA ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 22
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

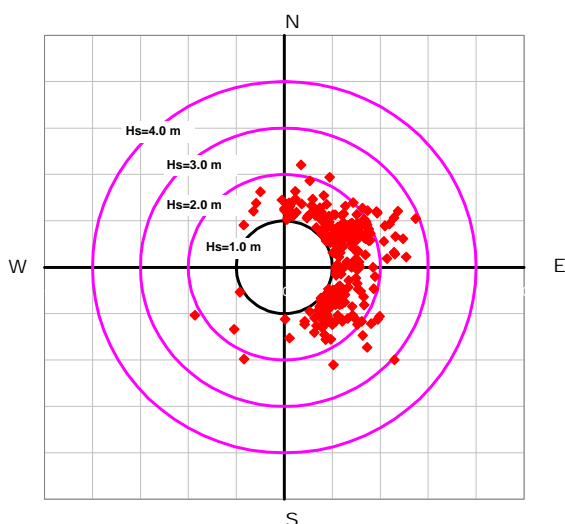
Un'altra informazione utile che può essere dedotta dalle misure eseguite in natura riguarda la persistenza stagionale delle mareggiate.

Nella seguente figura si riporta la distribuzione direzionale su base stagionale delle altezze d'onda al picco per le mareggiate che hanno superato il valore  $H_s=1.0$  m per almeno 6 ore e la loro durata con riferimento ai valori di soglia di 1.0 e 2.0 m.

#### ONDE AL LARGO (dati CVN Piattaforma Acqua Alta)

distribuzione dei valori di  $H_s$  al picco per le mareggiate  
con  $H_s$  picco  $>1.0$  m e durata  $>3$  ore  
in funzione della direzione del moto ondoso al largo (PTF)

Dati estivi (20519) relativa al periodo da ott.87 a dic.2003



#### ONDE AL LARGO (dati CVN Piattaforma Acqua Alta)

distribuzione dei valori di  $H_s$  al picco per le mareggiate  
con  $H_s$  picco  $>1.0$  m e durata  $>3$  ore  
in funzione della direzione del moto ondoso al largo (PTF)

Dati invernali (19862) relativi al periodo da ott.87 a dic.2003

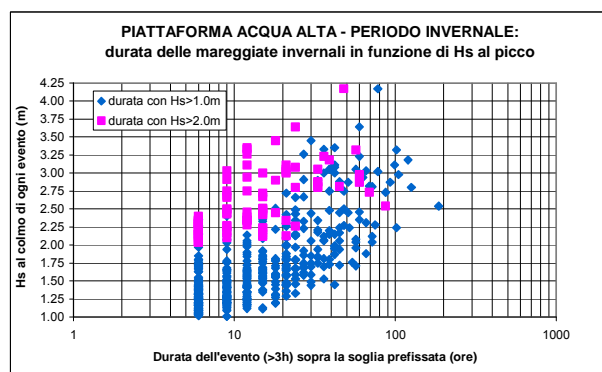
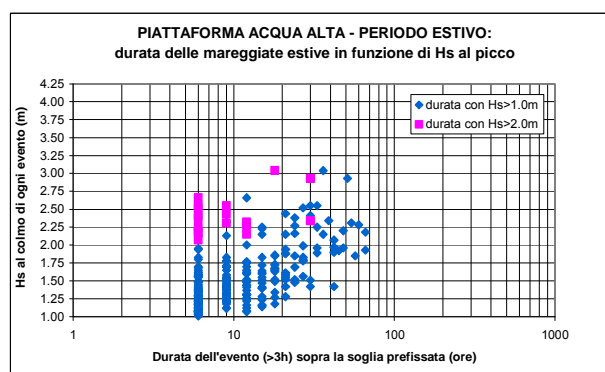
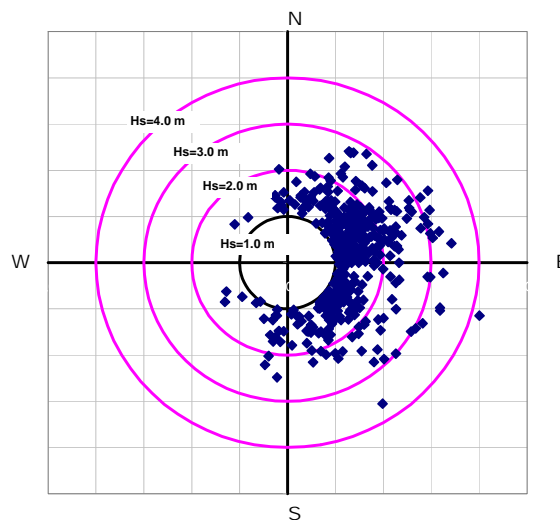


FIG. 3.5 - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE SU BASE STAGIONALE DEL VALORE DELL'ALTEZZA D'ONDA AL PICCO PER GLI EVENTI CON  $H_s$  AL PICCO  $>1.0$  M E LORO DURATA AL LARGO

La Fig. 3.6 riporta la persistenza media delle mareggiate con Hs al picco maggiore di 1.0 e 2.0m.

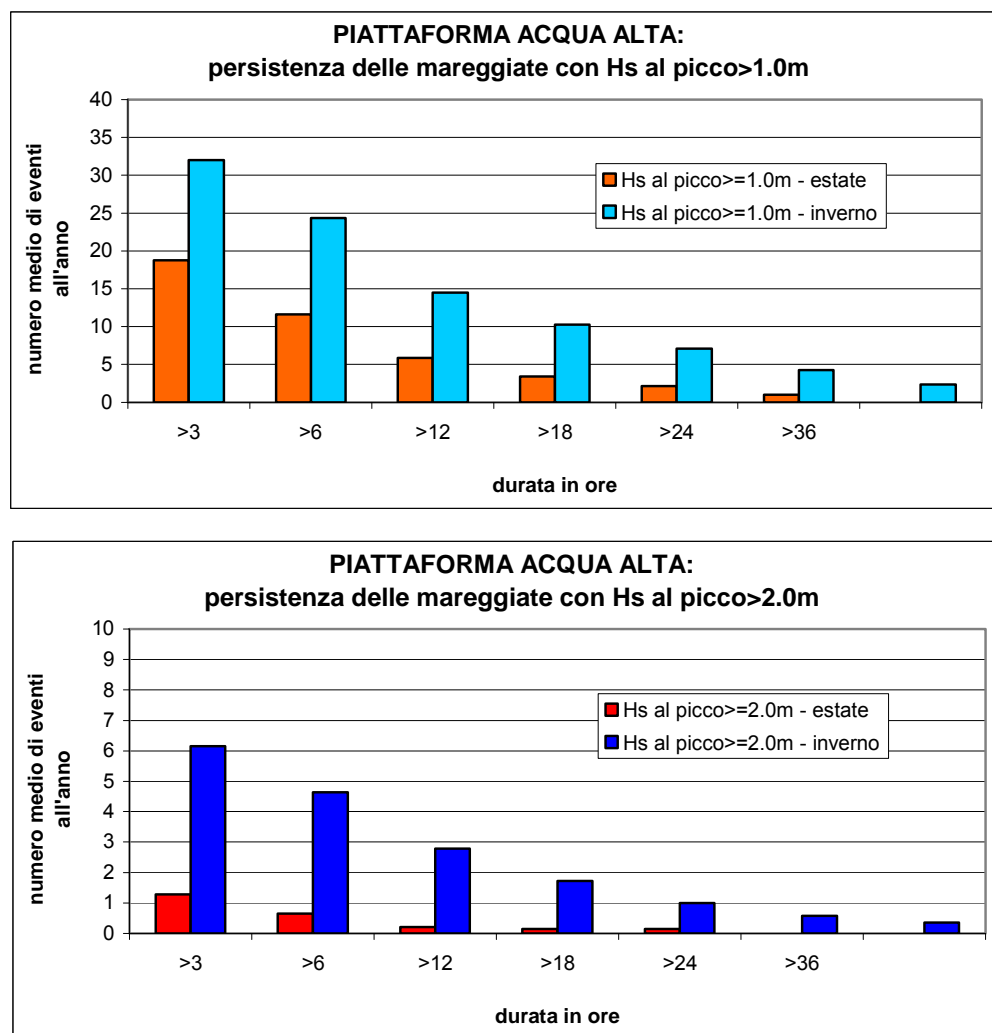



FIG. 3.6 - PERSISTENZA DELLE MAREGGIATE ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA

Si osserva che le mareggiate più importanti, sia in termini di altezza d'onda raggiunta che per la loro persistenza al di sopra di una determinata soglia, si verificano nel periodo invernale.

Per poter caratterizzare il moto ondoso in corrispondenza degli eventi di chiusura delle barriere si sono estratti dal campione totale di onde al largo solo quelle che si sono verificate in concomitanza con il superamento di prefissati valori del livello del mare a Punta della Salute. Ovviamente all'aumentare del livello di marea considerato si riduce il numero dei dati costituenti il campione e cambia la distribuzione dei valori delle altezze d'onda.

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 24
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Come si osserva dalla Fig. 3.7 nel caso del campione più numeroso, relativo a livelli di marea maggiori di 57 cm (cioè maggiori di 80 cm rispetto al riferimento di Punta della Salute) si osserva che il 55% degli eventi si concentra nella classe inferiore delle altezze d'onda e che la percentuale di eventi diminuisce al crescere dell'altezza d'onda della classe di riferimento. Nel caso invece delle onde associate a livelli di marea superiori a 87 cm si osserva una maggiore concentrazione degli eventi nelle classi di altezza d'onda di 2.5 e 3.0m.

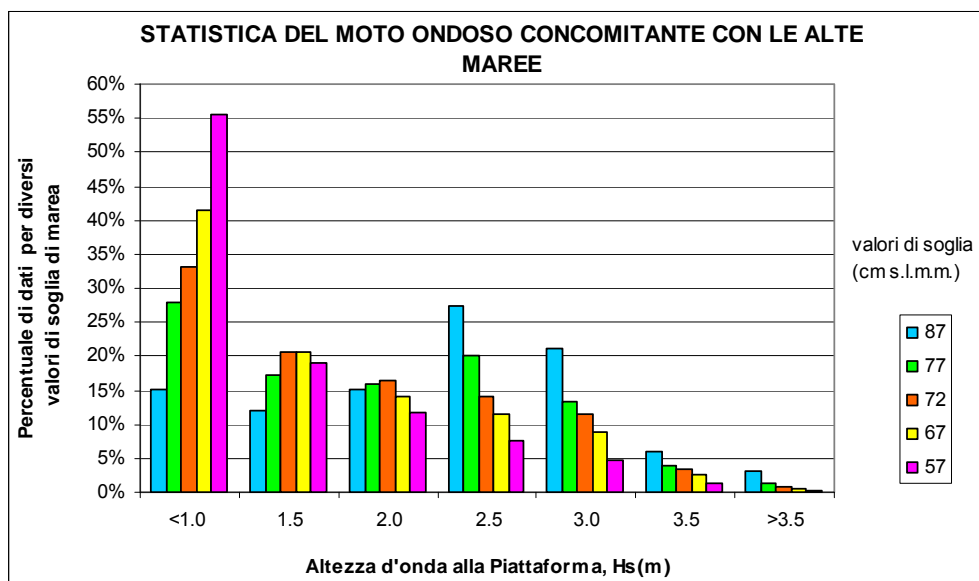



FIG. 3.7 - STATISTICA DEL MOTO ONDOSO AL LARGO CONCOMITANTE CON LE ALTE MAREE PER DIVERSI VALORI DI SOGLIA

L'analisi del campione con soglia a 57 cm mostra che le onde provengono sia dal settore di bora che da quello di scirocco, con una concentrazione delle onde di maggior altezza sul settore di scirocco.

Tenendo conto della possibile crescita del livello medio mare durante i 100 anni di vita dell'opera si è definita la frequenza di accadimento delle onde in concomitanza dell'acqua alta sulla base del campione con soglia a 63 cm, caratterizzato da una durata media annua di eventi pari a 84 ore/anno. Tale distribuzione è riportata nella seguente Fig. 3.8.



 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 25
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

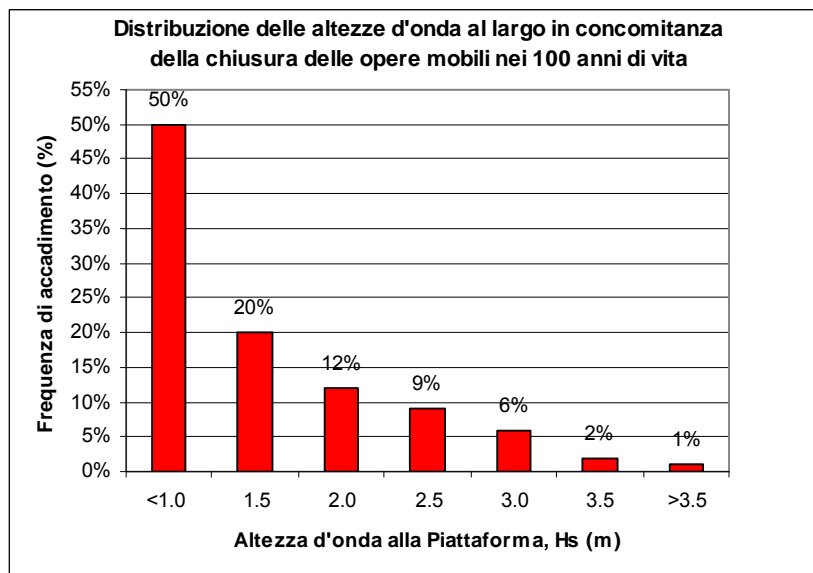


FIG. 3.8 - FREQUENZA DI ACCADIMENTO DELLE ALTEZZE D'ONDA AL LARGO IN OCCASIONE DELLA CHIUSURA DELLE BARRIERE NEI 100 ANNI DI VITA DELL'OPERA

#### Statistica combinata dei valori estremi di onde e livelli

I valori estremi dell'altezza d'onda al largo sono state definiti sulla base dei risultati delle simulazioni eseguite con il modello di rifrazione spettrale *Hiswa* applicato all'intero Nord Adriatico. Tuttavia i valori estremi di altezza d'onda ( $H_s$ ) e di livello del mare ( $h$ ) non possono essere evidentemente considerati indipendenti (nel qual caso la probabilità combinata potrebbe essere calcolata semplicemente moltiplicando le probabilità disgiunte) ma, d'altra parte, non si può nemmeno ipotizzare una dipendenza lineare, per cui alle massime altezze siano sempre corrispondenti i massimi livelli (caso teorico nel quale la probabilità combinata sarebbe esattamente corrispondente al valore inferiore tra le due probabilità disgiunte).

Lo studio della statistica combinata è stato svolto con l'obiettivo di individuare coppie di valori  $H_s$ - $h$  caratterizzate dalla stessa probabilità di superamento o periodo di ritorno: queste coppie individuano una curva di equiprobabilità nel piano  $H_s$ - $h$  che, in corrispondenza dei due assi, converge ai valori di  $H_s$  ed  $h$  individuati con le statistiche disgiunte degli estremi.

Essendo nota la componente astronomica, è stata ricostruita la correlazione tra il sovrizzo di tempesta (marea meteorologica) e l'altezza d'onda. Ipotizzando per ciascuna classe di altezza d'onda una distribuzione dei livelli attorno al valore medio di tipo gaussiano e sommando alla componente meteorologica del livello quella astronomica, è stato quindi possibile effettuare una valutazione di massima della probabilità condizionata al superamento di determinate soglie di livello. A

favore di sicurezza, per la componente astronomica si è considerata una sopraelevazione di 50 cm (corrispondente alle maree di sizigie).

I valori di probabilità combinata sono presentati nella seguente figura.

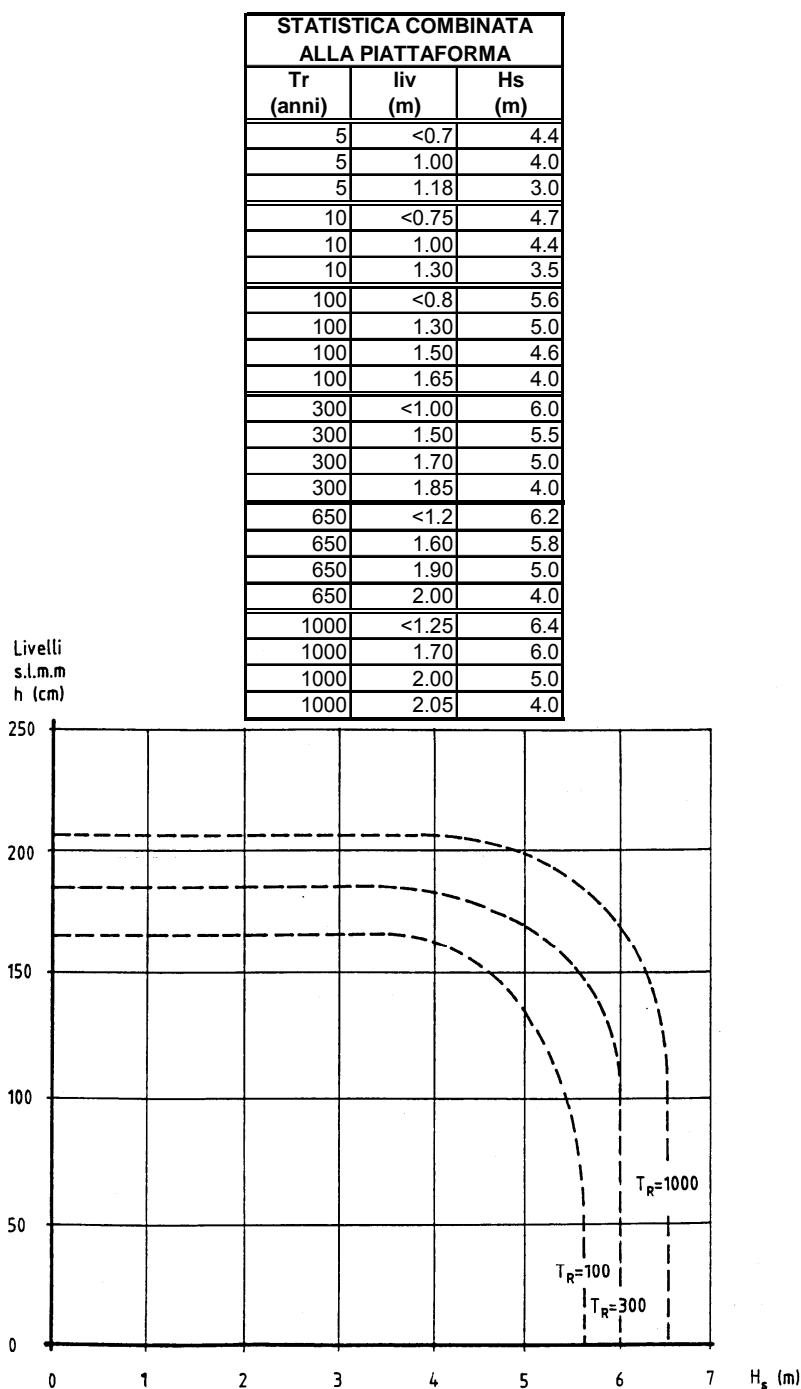



FIG. 3.9 - STATISTICA COMBINATA ALTEZZE D'ONDA (Hs) E LIVELLI DEL MARE (H) ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 27
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

### 3.2. Moto ondoso all'esterno della bocca di Malamocco


Le trasformazioni del moto ondoso dalla Piattaforma Acqua Alta all'ingresso della bocca di Malamocco sono state valutate utilizzando due diversi modelli numerici:

- il modello *Merope* che, utilizzando la tecnica di *rifrazione inversa spettrale*, consente di valutare la variazione delle caratteristiche del moto ondoso dal largo alle zone costiere a causa dello *shoaling* e della rifrazione tenendo conto della natura irregolare delle onde generate dal vento. Il modello non è in grado di simulare fenomeni dissipativi, quindi trova la sua corretta applicazione per punti ubicati al di fuori della zona dei frangenti e per onde frequenti;
- il modello Hiswa è un modello di rifrazione spettrale che utilizza un approccio di tipo euleriano: la propagazione dell'energia non avviene lungo dei raggi ma su una griglia che ricopre l'area di studio e la rifrazione è calcolata considerando la cessione di energia da una direzione all'altra durante la propagazione del moto ondoso. Il termine energetico dell'equazione del trasporto di energia è in grado di simulare cessione di energia dal vento alle onde, le resistenze offerte dal fondo ed il frangimento. In questa sede il modello è stato utilizzato per definire le funzioni di trasferimento delle onde estreme dal largo all'esterno della bocca di Malamocco.

Il modello di *inversa spettrale Merope* ha permesso di definire il clima del moto ondoso di fronte alla bocca di Malamocco, a circa 2.3 Km dal suo ingresso, su fondali di circa 14.0 m (punto M2 di Fig. 3.10), a partire dalle registrazioni dirette effettuate alla Piattaforma Acqua Alta nel periodo ottobre 1987 – dicembre 2007.

Come si osserva dal diagramma polare di Fig. 3.1, gli eventi provenienti dal settore di Bora risultano centrati sulla direzione 80°N, mentre quelli di Scirocco sulla direzione 120° – 130 °N.

Nella Fig. 3.10 è riportata la distribuzione direzionale del moto ondoso suddivisa in classi di altezza d'onda di 0.5m per settori di 10° di ampiezza, relativa all'intero periodo di osservazione. Gli eventi di calma, caratterizzati da un valore dell'altezza d'onda significativa inferiore a 0.25 m, sono il 53%, mentre circa lo 0.5% delle registrazioni presenta valori superiori ai 2.0 m. Questi ultimi appartengono al settore 80°-130°N.

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 28
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

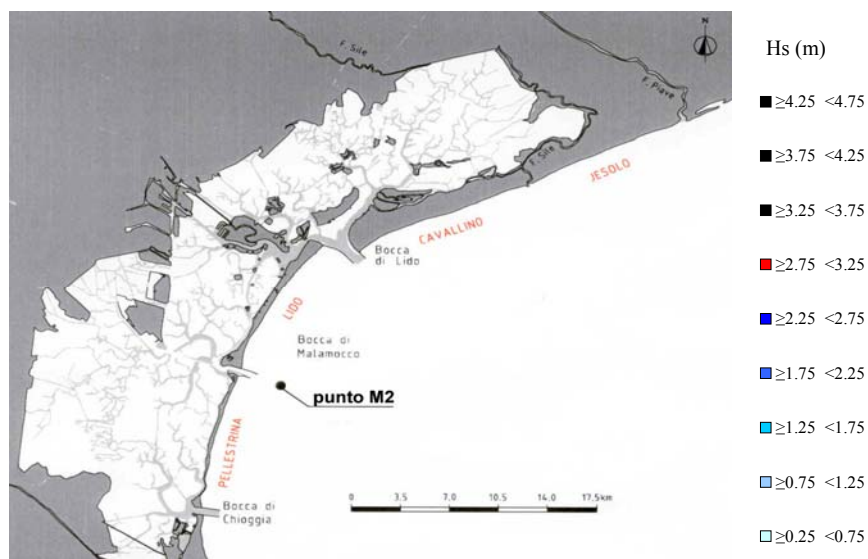
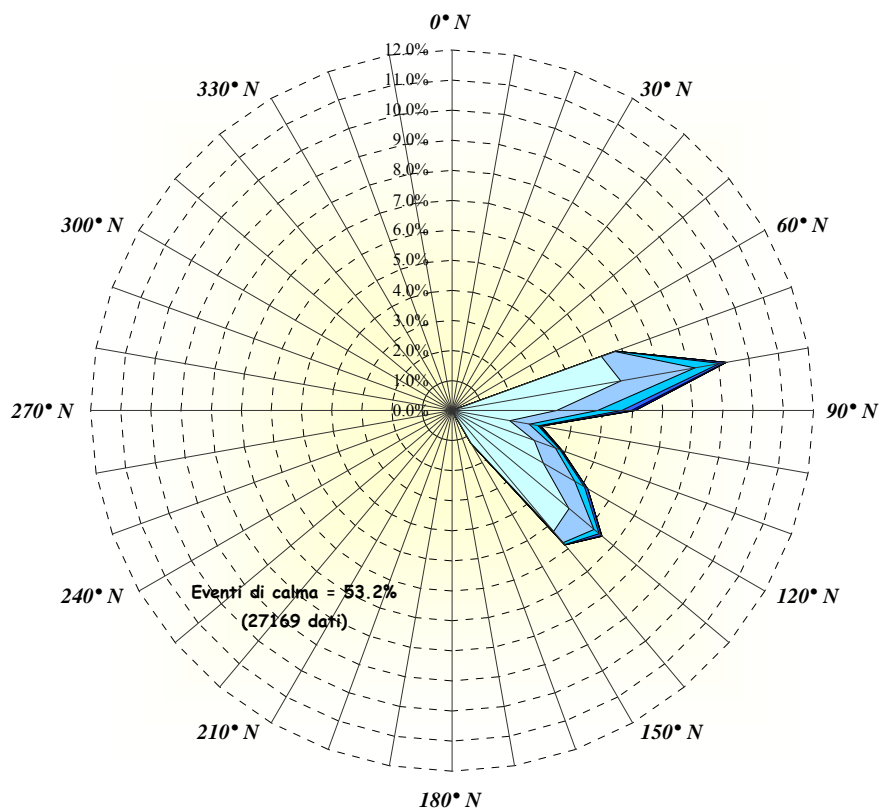
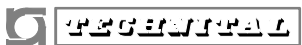


FIG. 3.10 - CLIMA DEL MOTO ONDOSO DI FRONTE ALLA BOCCA DI MALAMOCCHO  
DEPURATO DELLE CALME (OTT.1987 – DIC.2007)

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 29
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Hs (m)	≥ 0	≥ 0.25	≥ 0.75	≥ 1.25	≥ 1.75	≥ 2.25	≥ 2.75	≥ 3.25	≥ 3.75	≥ 4.25	Tot.	Tot. no calme
DIREZIONE °N	< 0.25	< 0.75	< 1.25	< 1.75	< 2.25	< 2.75	< 3.25	< 3.75	< 4.25			
60	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	0.00
70	12.36	5.28	0.48	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.13	5.77
80	3.65	5.69	2.50	0.82	0.19	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	12.89	9.24
90	3.66	3.48	1.36	0.81	0.32	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	9.74	6.08
100	1.35	1.94	0.66	0.29	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	4.35	2.99
110	2.14	2.92	0.73	0.16	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	6.02	3.88
120	2.47	3.50	1.20	0.39	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	7.68	5.22
130	4.15	5.07	1.09	0.21	0.10	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	10.65	6.49
140	6.60	5.24	0.49	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.44	5.84
150	9.25	1.23	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.51	1.27
160	4.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.99	0.00
Tot. Parz.	53.21	34.35	8.56	2.79	0.83	0.22	0.03	0.01	0.00	0.00	100.00	
Tot. No calme		34.35	8.56	2.79	0.83	0.22	0.03	0.01	0.00	0.00		46.79
Tot. Cum.		34.35	42.91	45.70	46.53	46.75	46.78	46.78	46.79	46.79		


TAB. 3.4 - STATISTICA DIREZIONALE DEL MOTO ONDOSO DI FRONTE ALLA BOCCA DI MALAMOCCO (DATI OTT. 1987- DIC.2007)

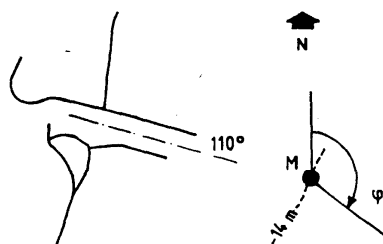
Analizzando la probabilità di superamento delle diverse classi di altezza significativa e la loro interpolazione nel piano di Weibull si ottiene che l'altezza d'onda con ricorrenza annuale risulta pari a 3.0m, quelle con periodo di ritorno di 5 e 10 anni risultano rispettivamente pari a 3.7 e 4.0 m. Questi ultimi due valori in via cautelativa sono stati incrementati di circa il 10%, pertanto nel progetto delle opere alle bocche si assumono i seguenti valori delle altezze d'onda in corrispondenza del punto M2:

Tr= 5 anni     Hs= 4.0 m

Tr= 10 anni    Hs=4.3 m

Il modello *Hiswa* ha invece permesso di individuare le funzioni di trasferimento del moto ondoso dalla piattaforma Acqua Alta al punto M2 per le perturbazioni estreme di Bora e di Scirocco.(Fig. 3.11) sulla base delle quali definire i valori estremi del moto ondoso all'esterno della bocca [Rif. 1].

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 30
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	



UBICAZIONE DEL PUNTO M

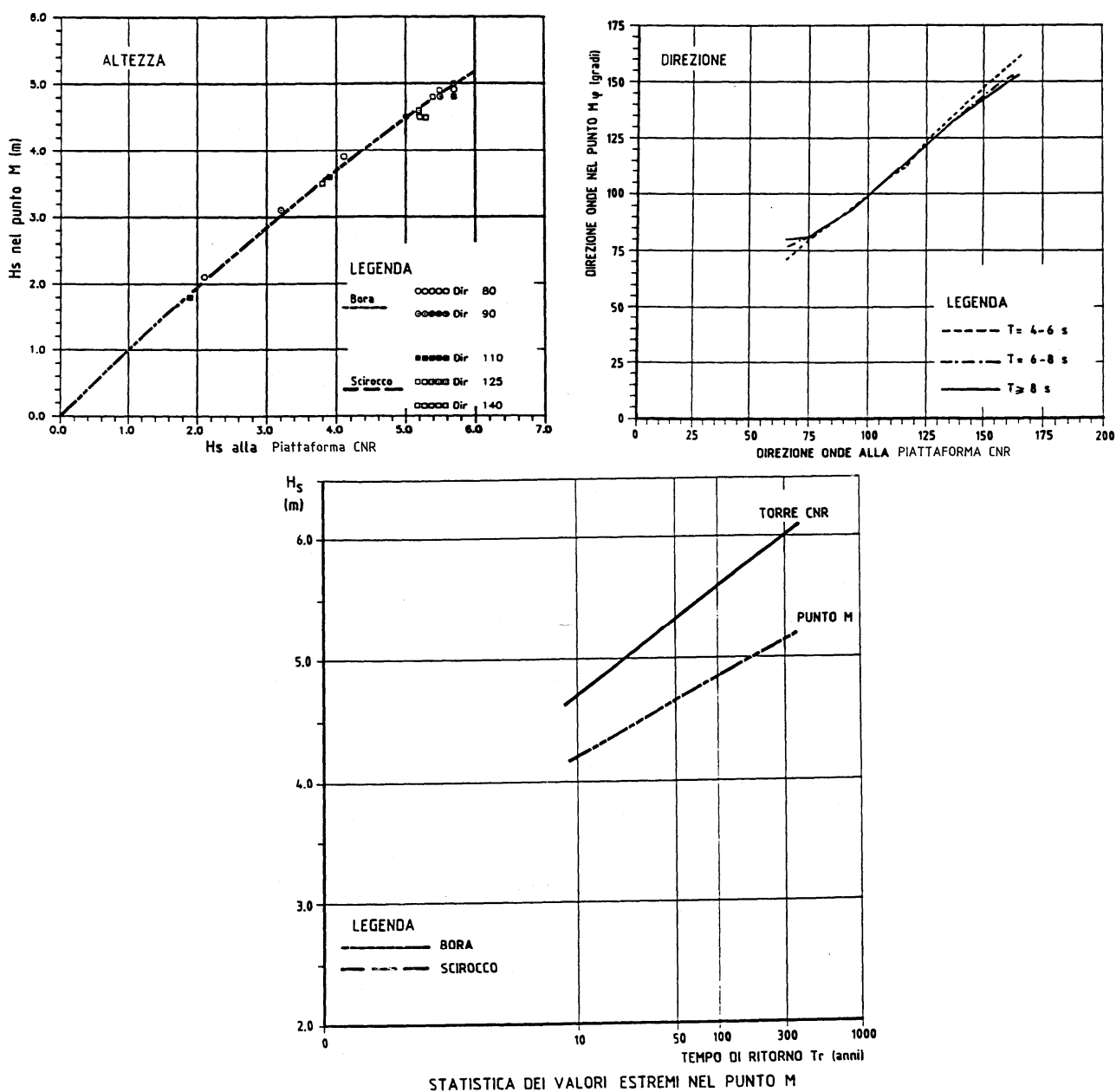


FIG. 3.11 - FUNZIONI DI TRASFERIMENTO DEL MOTO ONDOSO DALLA PIATTAFORMA CNR AL PUNTO M2

In conclusione nel punto M2 di fronte alla bocca di Malamocco si assumono i seguenti valori estremi del moto ondoso:


	Tempo di ritorno (anni)	5	10	100	300	650	1000
ALLA PTF	Hs (m)	4.4	4.7	5.6	6.0	6.2	6.4
	Tp (s) settore di bora	8.4	8.7	9.5	9.8	10.0	10.1
	Tp (s) settore di scirocco	9.5	9.8	10.6	11.0	11.2	11.4
A MALAMOCCO	Hs (m)	4.0	4.3	4.9	5.2	5.3	5.4

TAB. 3.5 - VALORI ESTREMI DEL MOTO ONDOSO DI FRONTE ALLA BOCCA DI MALAMOCO

Sulla base delle funzioni di trasferimento precedentemente definite si è dedotta la statistica combinata del moto ondoso e dei livelli all'esterno della bocca di Malamocco e riportata in Tab. 3.6.

STATISTICA COMBINATA ALLA PIATTAFORMA			STATISTICA COMBINATA IN M2			
			BORA		SCIROCCO	
Tr (anni)	liv (m)	Hsptf (m)	Tp (s)	Hs M2 (m)	Tp (s)	Hs M2 (m)
5	<0.7	4.4	8.4	4.0	9.4	4.0
5	1.00	4.0	8.0	3.7	9.0	3.7
5	1.18	3.0	6.9	2.8	7.8	2.8
10	<0.75	4.7	8.7	4.3	9.8	4.3
10	1.00	4.4	8.4	4.0	9.4	4.0
10	1.30	3.5	7.5	3.3	8.4	3.3
100	<0.8	5.6	9.5	4.9	10.6	4.9
100	1.30	5.0	8.9	4.5	10.1	4.5
100	1.50	4.6	8.6	4.2	9.7	4.2
100	1.65	4.0	8.0	3.7	9.0	3.7
300	<1.00	6.0	9.8	5.2	11.0	5.2
300	1.50	5.5	9.4	4.8	10.6	4.8
300	1.70	5.0	8.9	4.5	10.1	4.5
300	1.85	4.0	8.0	3.7	9.0	3.7
1000	<1.25	6.4	10.1	5.4	11.4	5.4
1000	1.70	6.0	9.8	5.2	11.0	5.2
1000	2.00	5.0	8.9	4.5	10.1	4.5
1000	2.05	4.0	8.0	3.7	9.0	3.7

TAB. 3.6 - STATISTICA COMBINATA ONDE E LIVELLI ALL'ESTERNO DELLA BOCCA DI MALAMOCCO (PUNTO M2)

 <b>MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 32
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

### 3.3. Moto ondoso alla barriera di Malamocco

#### 3.3.1. Onde estreme

Per l'esame della penetrazione delle onde estreme all'interno della bocca di Malamocco e la loro definizione alla barriera si sono utilizzati da un lato i risultati del modello numerico *Gemma*, dall'altro quelli delle prove sul modello fisico dell'intera bocca realizzato presso il Centro Sperimentale di Voltabarozzo in scala 1:80 [Rif. 2]

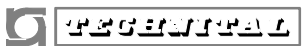
Il modello Gemma è in grado di riprodurre la rifrazione dovuta alle variazioni del fondo, la diffrazione dovuta alle opere emerse ed alle brusche variazioni dei fondali che si hanno per esempio in corrispondenza dei canali di navigazione, la riflessione e l'assorbimento sulle strutture esistenti e/o previste ed il frangimento delle onde. Combinando opportunamente le singole simulazioni monodirezionali il modello è in grado di tener conto anche della distribuzione angolare dell'energia. In Fig. 3.12 sono riportati i risultati delle simulazioni in configurazione di progetto per onde frequenti ( $T = 8s$ ) ed in assenza di frangimento. I risultati sono espressi in termini di coefficiente di attenuazione del moto ondoso (definito come rapporto tra l'altezza d'onda locale e quella di input a bordo modello) e si riferiscono alle singole componenti monodirezionali (plottaggi in verde) ed alle simulazioni con *directional spreading* sulla corrispondente direzione dominante (plottaggi in arancione). Nella Fig. 3.13 si riportano i risultati (in termini di altezza d'onda locale) relativi a condizioni estreme di moto ondoso ( $H_s=5.4m$ ,  $T=10.5s$  per il settore di bora-levante e  $T=11.5s$  per il settore di scirocco) considerando il *directional spreading* sulle direzioni dominanti di  $80^\circ N$ ,  $90^\circ N$  e  $110^\circ N$  in assenza ed in presenza di frangimento.

Per quanto riguarda l'andamento dell'altezza d'onda in corrispondenza della sezione di barriera si osserva, nel caso di onda multidirezionale, una concentrazione di energia al centro ed una riduzione ai lati.

Appare inoltre rilevante l'influenza della multidirezionalità sulla penetrazione alla barriera. In particolare risulta significativo l'effetto di moderazione, per il settore di bora-levante, complessivamente esercitato sulla penetrazione dalla dispersione direzionale del moto ondoso, effetto accentuato nel caso di frangimento. Solo nel caso particolare della spalla N la componente monodirezionale da  $80^\circ N$  sottostima l'effettiva agitazione ondosa (multidirezionale).

Al contrario la dispersione direzionale incrementa fortemente la penetrazione secondo la direzione dominante  $110^\circ N$



	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 33
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

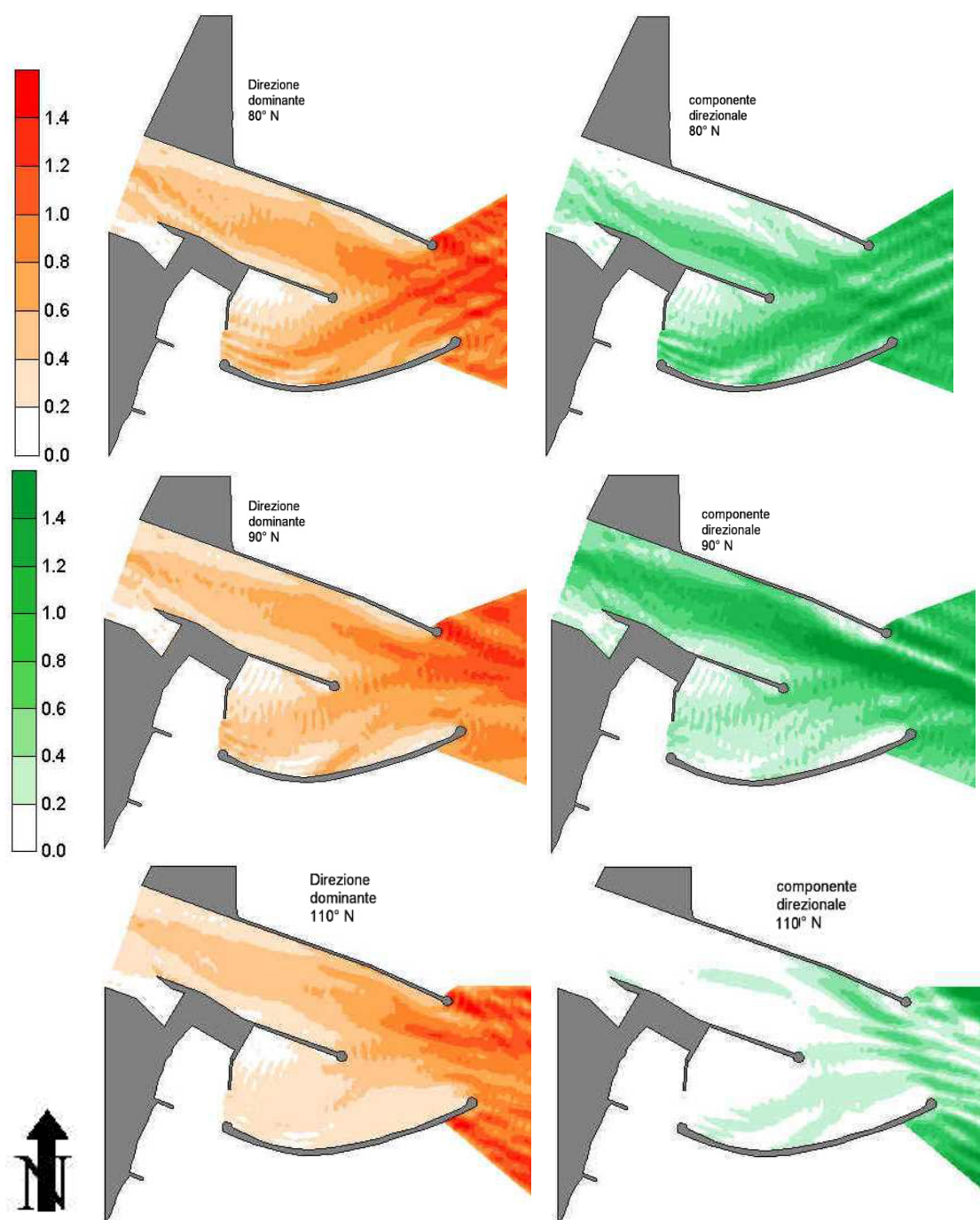



FIG. 3.12 - CONFIGURAZIONE DI PROGETTO - RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DEI CAMPI D'ONDA MONODIREZIONALI E DISPERSI IN DIREZIONE (80°N, 90°N E 110°N) IN ASSENZA DI FRANGIMENTO E  $T=8s$ , IN TERMINI DI COEFFICIENTE DI ATTENUAZIONE

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 34
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

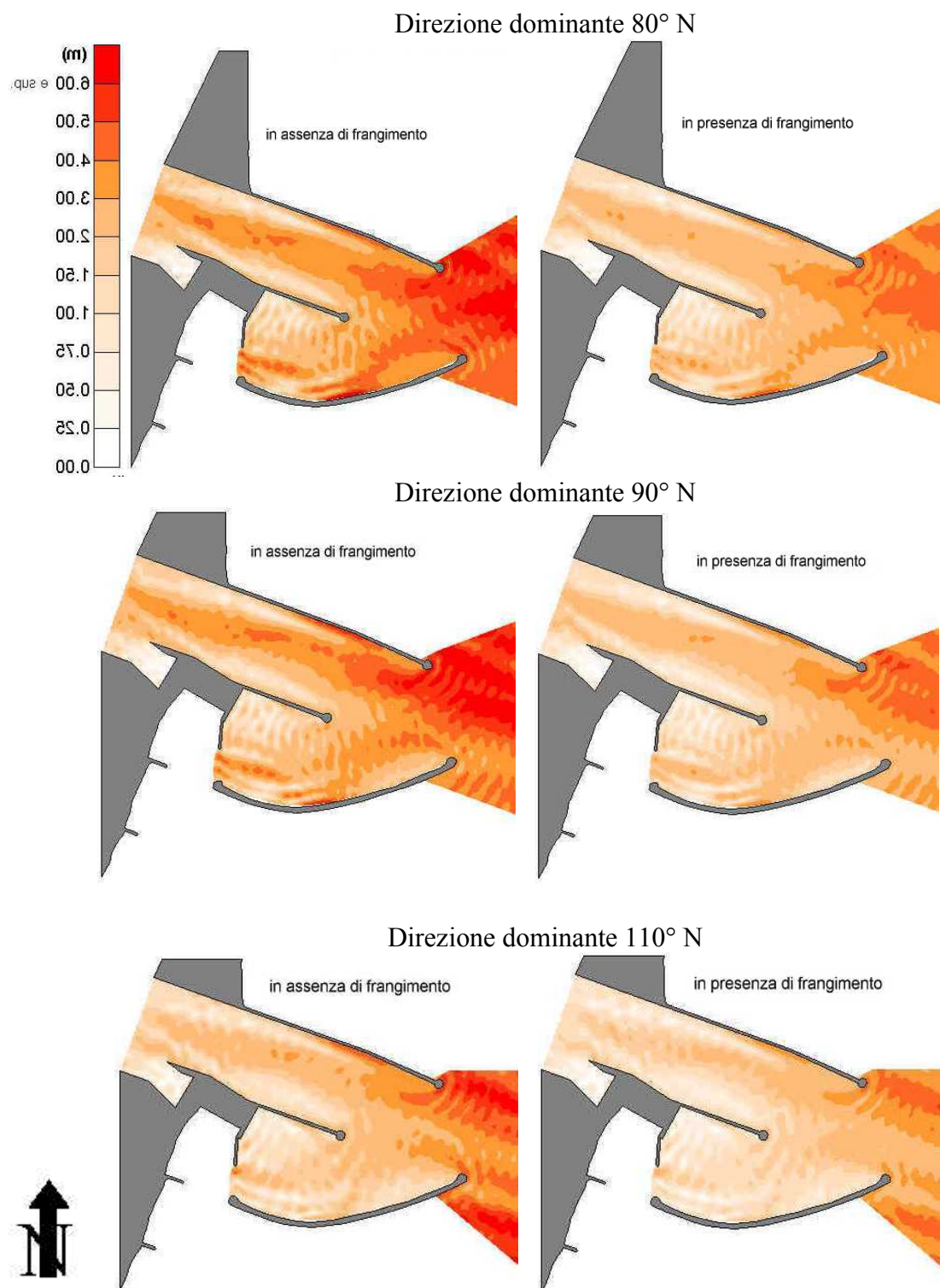



FIG. 3.13 - CONFIGURAZIONE DI PROGETTO - RISULTATI DELLE SIMULAZIONI (IN TERMINI DI ALTEZZA D'ONDA) DEI CAMPI D'ONDA DISPERSI IN DIREZIONE (80°N, 90°N E 110°N) IN ASSENZA E IN PRESENZA DI FRANGIMENTO. H 5.4 M E T=10.5S PER IL SETTORE DI BORA-LEVANTE, H 5.4 M E T=11.5 S PER IL SETTORE DI SCIROCCO

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 35
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Il modello fisico riproduce una superficie molto vasta e pari a  $3918\text{m}^2$  ( $25.08\text{ k m}^2$  prototipo) di cui l'80% è rappresentata dall'area di mare antistante la bocca, il 7% dall'area del canale di accesso alla conca di navigazione e della diga esterna, il restante 13% dall'area della laguna e dei litorali. Le dimensioni del modello sono tali da comprendere, sul lato mare, tutta l'estensione del canale di navigazione e permettono di riprodurre onde provenienti sia dal settore di bora-levante che da quello di scirocco (Fig. 3.14). La zona di posizionamento dei generatori d'onda, il cui fronte ha larghezza pari a 1920 m prototipo, è realizzata ad una profondità costante di -33.0 m e si raccorda alla zona modellata con un piano inclinato di 1:20.

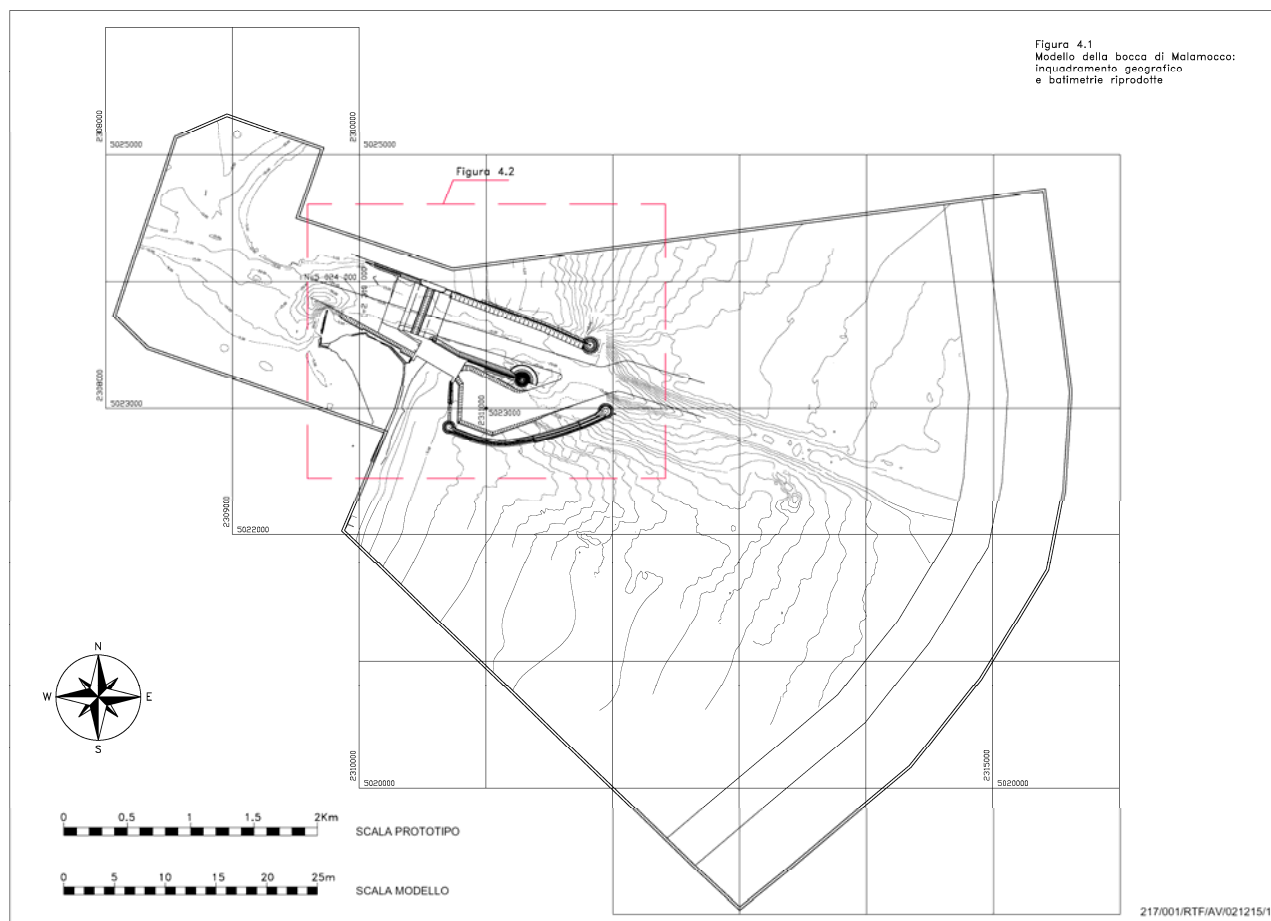


FIG. 3.14 - PLANIMETRIA DEL MODELLO FISICO IN SCALA 1:80 DELLA BOCCA DI MALAMOCCHO: INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E BATIMETRIE RIPRODOTTE

Il rilievo delle caratteristiche del moto ondoso è stato effettuato in 30 punti del modello. In generale si è registrato il moto ondoso di fronte al generatore, nell'area rappresentante il mare di fronte alla bocca, in prossimità della schiera di paratoie lato mare e lungo le opere di spalla. La seguente Fig. 3.15 mostra l'ubicazione delle sonde in prossimità della barriera.

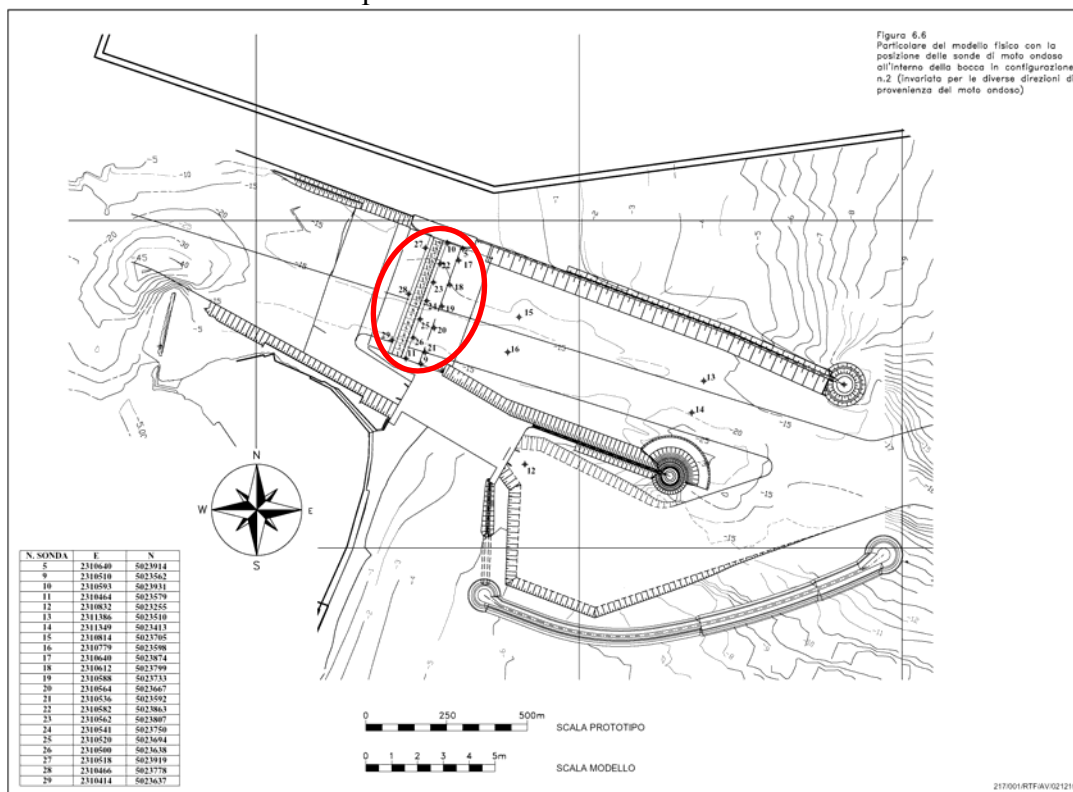



FIG. 3.15 - UBICAZIONE DELLE SONDE DI MOTO ONDOSO NEL MODELLO IN PROSSIMITÀ DELLA BARRIERA DI MALAMOCCO

Per i cassoni di alloggiamento delle paratoie si è fatto riferimento al valore dell'altezza d'onda significativa misurato nel corso delle prove nelle sonde disposte a 30 m dall'asse della barriera sul lato mare (sonde 11, 26, 25, 24, 23, 22, 10), per la spalla nord le altezze d'onda sono state dedotte dall'analisi dei risultati delle sonde 5, 10 e 17, mentre per la spalla sud dalle sonde 9, 11 e 21.

Le prove su modello fisico sono state eseguite considerando 3 direzioni di incidenza del moto ondoso all'esterno della bocca: 80°, 90° e 125°N.

Nella Fig. 3.16. si riportano i valori dell'altezza d'onda significativa massima e media in corrispondenza delle sonde posizionate a 30 m dall'asse della barriera.

I risultati delle prove su modello fisico hanno sostanzialmente confermato quanto osservato con il modello numerico: le onde maggiori alla barriera di Malamocco sono state misurate per il settore di Bora come evidenziato in Fig. 3.16 ed in corrispondenza della zona centrale della barriera.

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 37
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

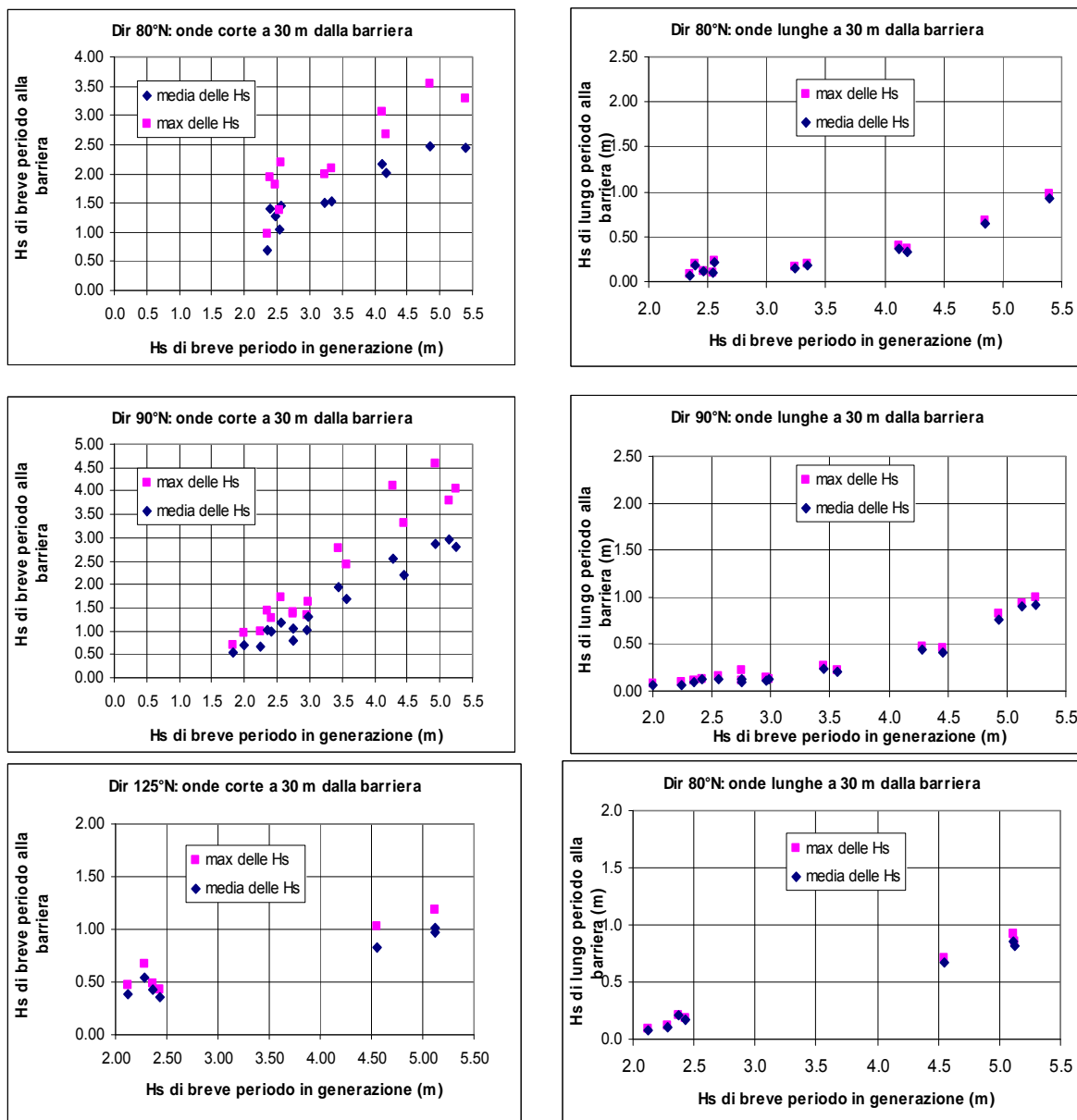


FIG. 3.16 - BARRIERA DI MALAMOCCO: RISULTATI DEL MODELLO FISICO NELLA CONFIGURAZIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO

Le Fig. 3.17 e Fig. 3.18 riportano le altezze d'onda misurate in prossimità della spalla nord e di quella sud rispettivamente.



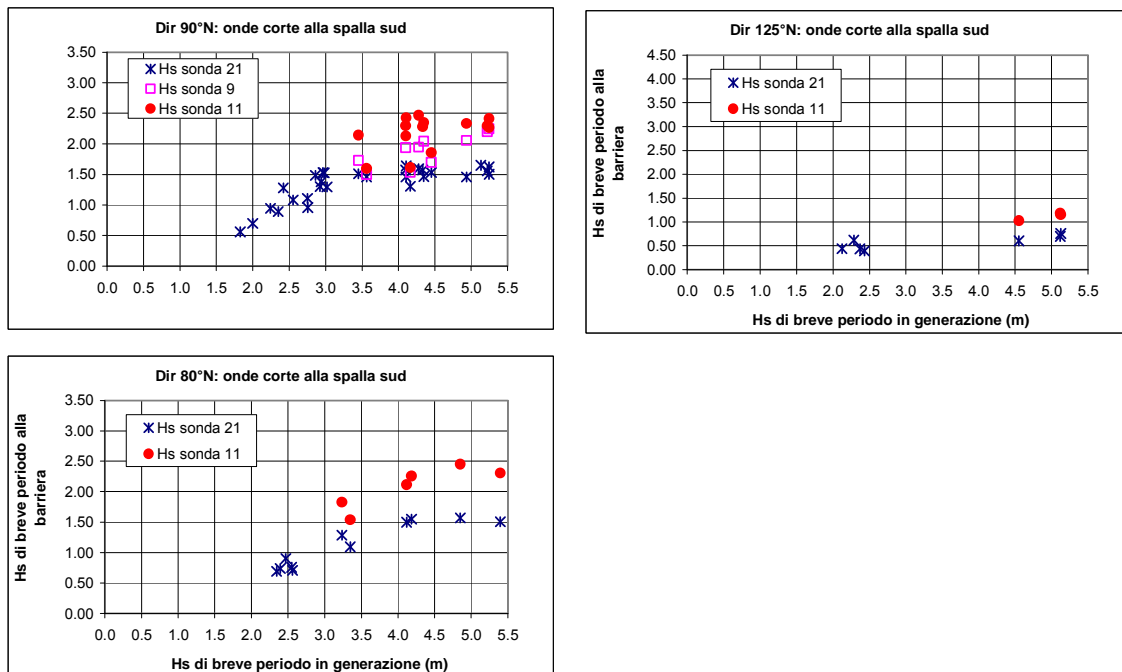


FIG. 3.17 - ONDE DI BREVE PERIODO MISURATE IN PROSSIMITÀ DELLA SPALLA NORD

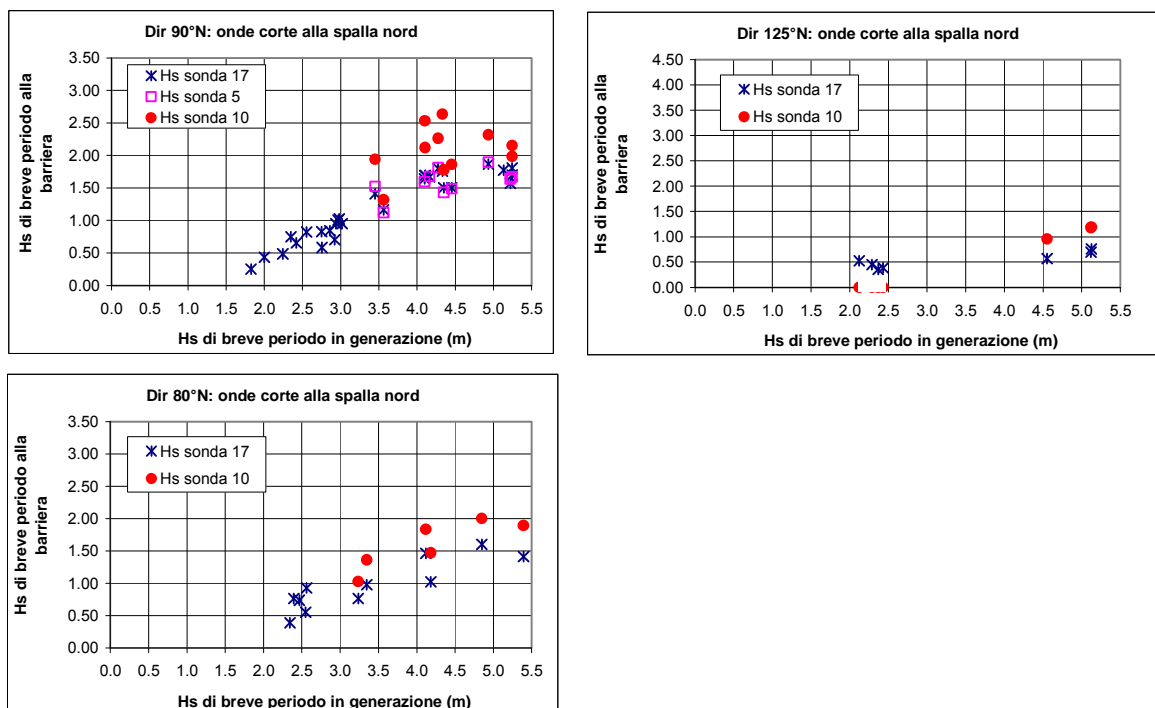


FIG. 3.18 - ONDE DI BREVE PERIODO MISURATE IN PROSSIMITÀ DELLA SPALLA SUD

Per una corretta interpretazione dei risultati del modello fisico nel quale viene riprodotta un'onda monodirezionale, bisogna tener conto della reale distribuzione direzionale dell'energia del moto ondoso. Come evidenziato dalle analisi eseguite con il modello *Gemma* la presenza del canale di accesso all'esterno della bocca influisce notevolmente sulla penetrazione del moto ondoso. La rifrazione indotta dalle sue variazioni batimetriche infatti tende a concentrare all'interno della bocca l'energia trasportata lungo le componenti di moto ondoso che si propagano lungo le direzioni di 80°-90°N, mentre tende a deviare al di fuori di esse l'energia trasportata dalle componenti comprese tra 110°-120°N.

In particolare per quanto riguarda la direzione di 80°N l'analisi direzionale porta ad una riduzione dei valori dell'onda monodirezionale lungo la barriera spostandosi da nord verso sud. Nel caso della direzione di 90°N la multidirezionalità mostra invece una maggiore riduzione al centro rispetto alle spalle. I coefficienti di dispersione direzionale quindi non variano solo in relazione alla direzione del moto ondoso all'esterno della bocca, ma anche alla posizione lungo l'asse di barriera come indicato nella seguente tabella.

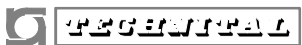
	Fattore di dispersione direzionale		
	80°N	90°N	125°N
<b>Spalla nord</b>	<b>1.1</b>	<b>0.8</b>	<b>2.0</b>
<b>Centro barriera</b>	<b>1.0</b>	<b>0.7</b>	<b>2.0</b>
<b>Spalla sud</b>	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>	<b>2.0</b>

TAB. 3.7 - VALORI DEL FATTORE DI DISPERSIONE DA APPLICARE AI RISULTATI DEL MODELLO FISICO

Applicando tali coefficienti ai valori sperimentali si ottiene, per il settore di bora un coefficiente di riduzione del moto ondoso di breve periodo dal punto M2 al centro barriera pari allo 0.7 e pari a 0.5 in corrispondenza delle spalle. Per il settore di scirocco il coefficiente di penetrazione può essere assunto pari al 0.43 lungo tutta la barriera.

L'onda di lungo periodo viene considerata costante lungo lo sviluppo della barriera sia per il settore di bora che per quello di scirocco.

Il confronto delle altezze d'onda misurate davanti e a tergo delle paratoie ha mostrato un elevato valore del coefficiente di trasmissione delle onde di breve periodo (dell'ordine del 90%) ed un ridotto coefficiente di trasmissione delle onde lunghe (dell'ordine del 20-30%). Si fa presente che i valori di altezza d'onda di lungo periodo sono stati dedotti dalle prove a paratoie sollevate e quindi rappresentano l'onda totale (incidente + riflessa) presente davanti alla barriera.

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 40
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

In conclusione per la progettazione dei cassoni della barriera di Malamocco si adotteranno i valori di altezza riportati nelle seguenti tabelle.


STATISTICA COMBINATA ALLA PIATTAFORMA			STATISTICA COMBINATA IN M2				STATISTICA ALLA BARRIERA			
Tr (anni)	liv (m)	Hs (m)	BORA		SCIROCCO		BORA		SCIROCCO	
			Tp (s)	Hs M2 (m)	Tp (s)	Hs M2 (m)	Hs (m) corta	Hs (m) lunga	Hs (m) corta	Hs (m) lunga
5	<0.7	4.4	8.4	4.0	9.4	4.0	2.8	0.4	1.7	0.4
5	1.00	4.0	8.0	3.7	9.0	3.7	2.6	0.3	1.6	0.3
5	1.18	3.0	6.9	2.8	7.8	2.8	2.0	0.2	1.2	0.2
10	<0.75	4.7	8.7	4.3	9.8	4.3	3.0	0.5	1.8	0.5
10	1.00	4.4	8.4	4.0	9.4	4.0	2.8	0.4	1.7	0.4
10	1.30	3.5	7.5	3.3	8.4	3.3	2.3	0.2	1.4	0.2
100	<0.8	5.6	9.5	4.9	10.6	4.9	3.4	0.8	2.1	0.8
100	1.30	5.0	8.9	4.5	10.1	4.5	3.2	0.6	1.9	0.6
100	1.50	4.6	8.6	4.2	9.7	4.2	2.9	0.5	1.8	0.5
100	1.65	4.0	8.0	3.7	9.0	3.7	2.6	0.3	1.6	0.3
300	<1.00	6.0	9.8	5.2	11.0	5.2	3.6	0.9	2.2	0.9
300	1.50	5.5	9.4	4.8	10.6	4.8	3.4	0.7	2.1	0.7
300	1.70	5.0	8.9	4.5	10.1	4.5	3.2	0.6	1.9	0.6
300	1.85	4.0	8.0	3.7	9.0	3.7	2.6	0.3	1.6	0.3
1000	<1.25	6.4	10.1	5.4	11.4	5.4	3.8	1.0	2.3	1.0
1000	1.70	6.0	9.8	5.2	11.0	5.2	3.6	0.9	2.2	0.9
1000	2.00	5.0	8.9	4.5	10.1	4.5	3.2	0.6	1.9	0.6
1000	2.05	4.0	8.0	3.7	9.0	3.7	2.6	0.3	1.6	0.3

TAB. 3.8 - STATISTICA COMBINATA ONDE E LIVELLI PER I CASSONI DI SOGLIA DELLA BARRIERA DI MALAMOCCHO

STATISTICA COMBINATA ALLA PIATTAFORMA			STATISTICA COMBINATA IN M2				ALLE SPALLE NORD E SUD			
Tr (anni)	liv (m)	Hs (m)	BORA		SCIROCCO		BORA/LEVANTE		SCIROCCO	
			Tp (s)	Hs M2 (m)	Tp (s)	Hs M2 (m)	Hs (m) corta	Hs (m) lunga	Hs (m) corta	Hs (m) lunga
5	<0.7	4.4	8.4	4.0	9.4	4.0	2.0	0.4	1.7	0.4
5	1.00	4.0	8.0	3.7	9.0	3.7	1.9	0.3	1.6	0.3
5	1.18	3.0	6.9	2.8	7.8	2.8	1.4	0.2	1.2	0.2
10	<0.75	4.7	8.7	4.3	9.8	4.3	2.2	0.5	1.8	0.5
10	1.00	4.4	8.4	4.0	9.4	4.0	2.0	0.4	1.7	0.4
10	1.30	3.5	7.5	3.3	8.4	3.3	1.7	0.2	1.4	0.2
100	<0.8	5.6	9.5	4.9	10.6	4.9	2.5	0.8	2.1	0.8
100	1.30	5.0	8.9	4.5	10.1	4.5	2.3	0.6	1.9	0.6
100	1.50	4.6	8.6	4.2	9.7	4.2	2.1	0.5	1.8	0.5
100	1.65	4.0	8.0	3.7	9.0	3.7	1.9	0.3	1.6	0.3
300	<1.00	6.0	9.8	5.2	11.0	5.2	2.6	0.9	2.2	0.9
300	1.50	5.5	9.4	4.8	10.6	4.8	2.4	0.7	2.1	0.7
300	1.70	5.0	8.9	4.5	10.1	4.5	2.3	0.6	1.9	0.6
300	1.85	4.0	8.0	3.7	9.0	3.7	1.9	0.3	1.6	0.3
1000	<1.25	6.4	10.1	5.4	11.4	5.4	2.7	1.0	2.3	1.0
1000	1.70	6.0	9.8	5.2	11.0	5.2	2.6	0.9	2.2	0.9
1000	2.00	5.0	8.9	4.5	10.1	4.5	2.3	0.6	1.9	0.6
1000	2.05	4.0	8.0	3.7	9.0	3.7	1.9	0.3	1.6	0.3

TAB. 3.9 - STATISTICA COMBINATA ONDE E LIVELLI PER I CASSONI DELLA SPALLA NORD E DELLA SPALLA SUD DI MALAMOCCHO



 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 41
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

La FIG. 3.19 mostra infine l'andamento dei fronti d'onda dedotto dalle simulazioni con il modello *Gemma* per  $T=8$  s: all'interno della bocca i fronti d'onda si presentano quasi sempre paralleli ai moli piegando leggermente in prossimità di quest'ultimi. Per le verifiche delle opere in prossimità della spalla si può adottare un angolo di incidenza delle onde rispetto alle opere al massimo pari a  $30^\circ$ .

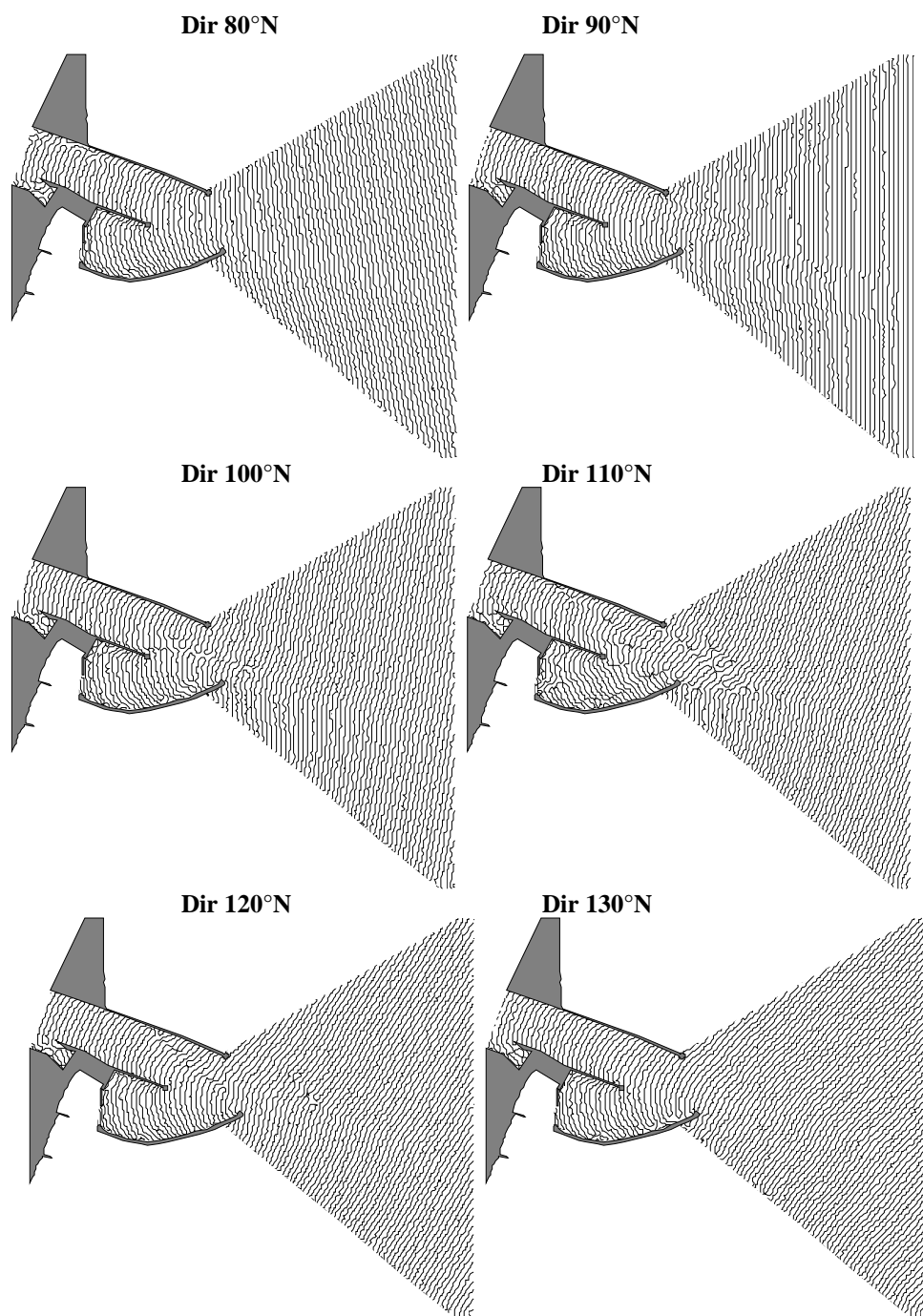



FIG. 3.19 - FRONTI D'ONDA ALL'INTERNO DELLA BOCCA DI MALAMOCCO (MODELLO *GEMMA*)

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 42
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

### 3.3.2. Onde frequenti

L'analisi delle onde frequenti è stata effettuata sulla base delle misure registrate all'interno della bocca di Malamocco in due diversi periodi.

Le misure alla stazione 7 (di coordinate 2310295 E, 5023966 N), ubicata a circa 200m lato laguna rispetto all'asse di barriera e a circa 80m dal molo nord nel periodo da ottobre 1987 ad aprile 1994, con alcune interruzioni nel periodo estivo, per un totale di dati equivalente a 4 anni di registrazioni complete. Le registrazioni sono state effettuate con cadenza trioraria e durata di 15 minuti.

Nella Fig. 3.20 vengono riportati i valori misurati nella stazione 7 in funzione dell'altezza d'onda al largo (in corrispondenza della Piattaforma Acqua Alta), mentre la figura successiva mostra la relazione tra altezza d'onda significativa ed il corrispondente periodo, e tra altezza d'onda significativa ed altezza d'onda massima.

Considerando solo le onde con  $H_s > 0.5\text{m}$  si ottiene  $H_{\max}/H_s = 1.61$ , valore leggermente inferiore a quello teorico corrispondente alla distribuzione di Rayleigh:  $H_{\max} = H_s (0.5 \ln N)^{1/2}$ , con  $N$ =numero di onde relativo alla singola registrazione, che, per i dati in esame, risulta pari a 1.68.

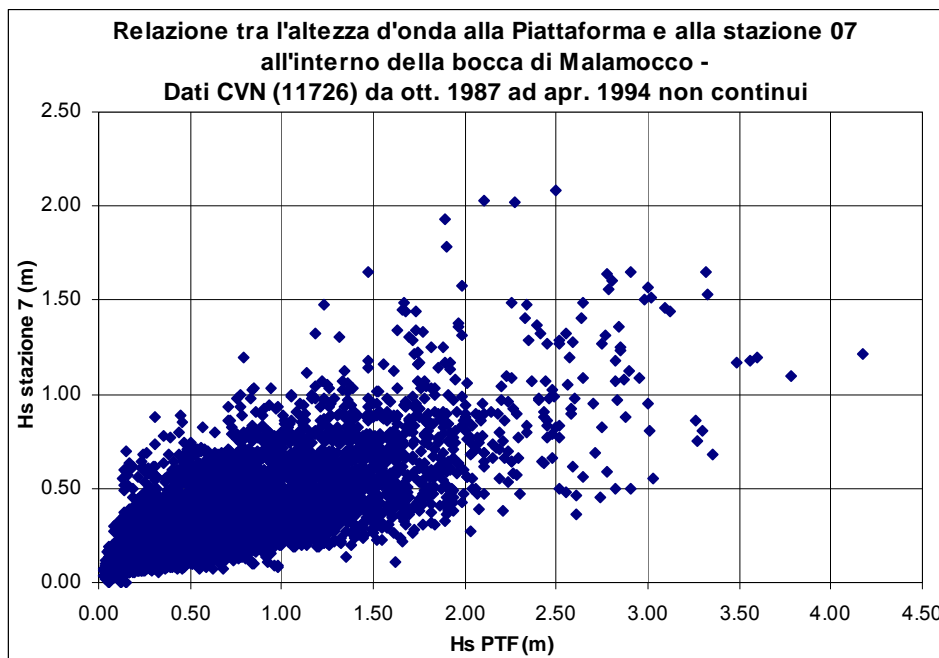



FIG. 3.20 - RIDUZIONE DI  $H_s$  DAL LARGO ALLA STAZIONE 7 DI MALAMOCCO

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 43
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

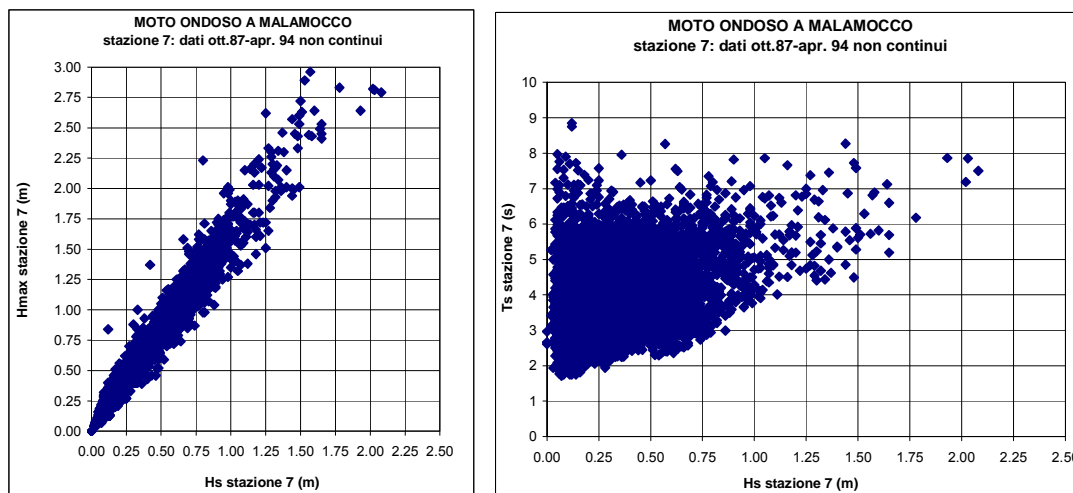



FIG. 3.21 - STAZIONE 7 DI MALAMOCCO RELAZIONE TRA HS E TS (A SINISTRA) E TRA HS E HMAX (A DESTRA)

Poiché le prove eseguite su modello fisico e le simulazioni con modello numerico hanno evidenziato che il moto ondoso lungo la futura barriera presenta, per gli eventi provenienti dal settore di bora, delle notevoli concentrazioni nella zona centro-nord della barriera rispetto all'estremità nord (ubicazione stazione 7), si è ricostruito un nuovo campione di dati che fosse rappresentativo delle peggiori condizioni di moto ondoso che si possono verificare nell'area della barriera e della protezione dei fondali. L'onda con ricorrenza annuale risulta pari a 2.30 m.

L'effetto della costruzione della diga esterna è quello di ridurre le onde provenienti da scirocco.

Nelle tabelle seguenti si riporta la frequenza campionaria congiunta dell'altezza d'onda Hs e del corrispondente periodo Ts, per il campione di dati modificato incrementando le altezze d'onda provenienti dal settore di bora. Le tabelle si riferiscono sia all'intero campione di dati, sia suddividendo il campione in periodo invernale (da ottobre a marzo) ed estivo (da aprile a settembre).

 <b>REGIONE DEL VENETO</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 44
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	


$$H_s \text{ barriera} = \text{MAX}[H_s \text{ staz.07}, \text{MIN}(0.8 * H_{sptf}, 2 * H_{staz.07})]$$

N° tot dati registrati		Valore centrale della classe Hs (m)											Tot. parz.
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	≥ 2.125	≥ 2.375	≥ 2.625	
Ts (s)	< 0.125	< 0.375	< 0.625	< 0.875	< 1.125	< 1.375	< 1.625	< 1.875	< 2.125	< 2.375	< 2.625	< 2.875	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	230	414	24	4	0	0	0	0	0	0	0	0	672
3	1000	3437	612	123	26	12	2	0	0	0	0	0	5212
4	440	1946	737	264	116	36	16	1	1	0	0	0	3557
5	125	628	423	249	129	58	30	9	14	8	1	1	1675
6	41	147	108	68	55	37	23	5	1	3	3	0	491
7	9	33	11	13	6	4	8	5	4	3	0	0	96
8	6	3	3	0	2	1	3	0	3	0	0	0	21
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tot. Parz.	1853	6608	1918	721	334	148	82	20	23	14	4	1	11726
Tot. Cum.		8461	10379	11100	11434	11582	11664	11684	11707	11721	11725	11726	

% dati registrati		Valore centrale della classe Hs (m)											Tot. parz.
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	≥ 2.125	≥ 2.375	≥ 2.625	
Ts (s)	< 0.125	< 0.375	< 0.625	< 0.875	< 1.125	< 1.375	< 1.625	< 1.875	< 2.125	< 2.375	< 2.625	< 2.875	
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.96	3.53	0.20	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.73
3	8.53	29.31	5.22	1.05	0.22	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.45
4	3.75	16.60	6.29	2.25	0.99	0.31	0.14	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	30.33
5	1.07	5.36	3.61	2.12	1.10	0.49	0.26	0.08	0.12	0.07	0.01	0.01	14.28
6	0.35	1.25	0.92	0.58	0.47	0.32	0.20	0.04	0.01	0.03	0.03	0.00	4.19
7	0.08	0.28	0.09	0.11	0.05	0.03	0.07	0.04	0.03	0.03	0.00	0.00	0.82
8	0.05	0.03	0.03	0.00	0.02	0.01	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.18
9	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tot. Parz.	15.80	56.35	16.36	6.15	2.85	1.26	0.70	0.17	0.20	0.12	0.03	0.01	100
Tot. Cum.		72.16	88.51	94.66	97.51	98.77	99.47	99.64	99.84	99.96	99.99	100.00	
% sup		27.84	11.49	5.34	2.49	1.23	0.53	0.36	0.16	0.04	0.01	0.00	

N° ore all'anno		Valore centrale della classe Hs (m)											Tot. parz.
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	≥ 2.125	≥ 2.375	≥ 2.625	
Ts (s)	< 0.125	< 0.375	< 0.625	< 0.875	< 1.125	< 1.375	< 1.625	< 1.875	< 2.125	< 2.375	< 2.625	< 2.875	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	172	309	18	3	0	0	0	0	0	0	0	0	502
3	747	2568	457	92	19	9	1	0	0	0	0	0	3894
4	329	1454	551	197	87	27	12	1	1	0	0	0	2657
5	93	469	316	186	96	43	22	7	10	6	1	1	1251
6	31	110	81	51	41	28	17	4	1	2	2	0	367
7	7	25	8	10	4	3	6	4	3	2	0	0	72
8	4	2	2	0	1	1	2	0	2	0	0	0	16
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tot. Parz.	1384	4937	1433	539	250	111	61	15	17	10	3	1	8760
Tot. Cum.		6321	7754	8292	8542	8652	8714	8729	8746	8756	8759	8760	
sup		2439	1006	468	218	108	46	31	14	4	1	0	

TAB. 3.10 - ONDE IN CORRISPONDENZA DELLA FUTURA BARRIERA DI MALAMOCCO  
DEDOTTE DALLE REGISTRAZIONI ALLA STAZIONE 7: STATISTICA ANNUALE

 <b>REGIONE DEL VENETO</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 45
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	


$$Hs \text{ barriera} = \text{MAX}[Hs \text{ staz.07}, \text{MIN}(0.8 * Hs_{\text{ptf}}, 2 * Hs_{\text{staz.07}})]$$

N° tot dati registrati in inverno		Valore centrale della classe Hs (m)											Tot. parz.
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	≥ 2.125	≥ 2.375	≥ 2.625	
Ts (s)	< 0.125	< 0.375	< 0.625	< 0.875	< 1.125	< 1.375	< 1.625	< 1.875	< 2.125	< 2.375	< 2.625	< 2.875	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	201	211	13	3	0	0	0	0	0	0	0	0	428
3	866	1703	275	91	23	12	2	0	0	0	0	0	2972
4	416	1297	406	157	89	27	15	1	1	0	0	0	2409
5	117	492	317	186	93	37	26	8	14	8	1	1	1300
6	37	116	84	52	45	31	20	4	1	3	3	0	396
7	9	27	10	11	3	4	7	5	3	3	0	0	82
8	5	2	3	0	2	1	3	0	3	0	0	0	19
9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tot. Parz.	1653	3848	1108	500	255	112	73	18	22	14	4	1	7608
Tot. Cum.		5501	6609	7109	7364	7476	7549	7567	7589	7603	7607	7608	

% dati registrati in inverno		Valore centrale della classe Hs (m)											Tot. parz.
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	≥ 2.125	≥ 2.375	≥ 2.625	
Ts (s)	< 0.125	< 0.375	< 0.625	< 0.875	< 1.125	< 1.375	< 1.625	< 1.875	< 2.125	< 2.375	< 2.625	< 2.875	
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2.64	2.77	0.17	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.63
3	11.38	22.38	3.61	1.20	0.30	0.16	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.06
4	5.47	17.05	5.34	2.06	1.17	0.35	0.20	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	31.66
5	1.54	6.47	4.17	2.44	1.22	0.49	0.34	0.11	0.18	0.11	0.01	0.01	17.09
6	0.49	1.52	1.10	0.68	0.59	0.41	0.26	0.05	0.01	0.04	0.04	0.00	5.21
7	0.12	0.35	0.13	0.14	0.04	0.05	0.09	0.07	0.04	0.04	0.00	0.00	1.08
8	0.07	0.03	0.04	0.00	0.03	0.01	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.25
9	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tot. Parz.	21.73	50.58	14.56	6.57	3.35	1.47	0.96	0.24	0.29	0.18	0.05	0.01	100.00
Tot. Cum.		72.31	86.87	93.44	96.79	98.26	99.22	99.46	99.75	99.93	99.99	100.00	
% sup		27.69	13.13	6.56	3.21	1.74	0.78	0.54	0.25	0.07	0.01	0.00	

N° ore all'anno in inverno		Valore centrale della classe Hs (m)											Tot. parz.
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	≥ 2.125	≥ 2.375	≥ 2.625	
Ts (s)	< 0.125	< 0.375	< 0.625	< 0.875	< 1.125	< 1.375	< 1.625	< 1.875	< 2.125	< 2.375	< 2.625	< 2.875	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	116	121	7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	246
3	499	980	158	52	13	7	1	0	0	0	0	0	1711
4	239	747	234	90	51	16	9	1	1	0	0	0	1387
5	67	283	183	107	54	21	15	5	8	5	1	1	748
6	21	67	48	30	26	18	12	2	1	2	2	0	228
7	5	16	6	6	2	2	4	3	2	2	0	0	47
8	3	1	2	0	1	1	2	0	2	0	0	0	11
9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tot. Parz.	952	2215	638	288	147	64	42	10	13	8	2	1	4380
Tot. Cum.		3167	3805	4093	4240	4304	4346	4356	4369	4377	4379	4380	
sup		1213	575	287	140	76	34	24	11	3	1	0	

TAB. 3.11 - ONDE IN CORRISPONDENZA DELLA FUTURA BARRIERA DI MALAMOCCO  
DEDOTTE DALLE REGISTRAZIONI ALLA STAZIONE 7: STATISTICA INVERNALE

 <b>REGIONE DEL VENETO</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 46
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	


$H_s \text{ barriera} = \text{MAX}[H_s \text{ staz.07}, \text{MIN}(0.8 * H_{sptf}, 2 * H_{s \text{ staz.07}})]$

N° tot dati registrati in estate		Valore centrale della classe $H_s$ (m)								Tot. parz.
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	
$H_s$ (m)	$\geq 0.00$	$\geq 0.125$	$\geq 0.375$	$\geq 0.625$	$\geq 0.875$	$\geq 1.125$	$\geq 1.375$	$\geq 1.625$	$\geq 1.875$	
$T_s$ (s)	$< 0.125$	$< 0.375$	$< 0.625$	$< 0.875$	$< 1.125$	$< 1.375$	$< 1.625$	$< 1.875$	$< 2.125$	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	29	203	11	1	0	0	0	0	0	244
3	134	1734	337	32	3	0	0	0	0	2240
4	24	649	331	107	27	9	1	0	0	1148
5	8	136	106	63	36	21	4	1	0	375
6	4	31	24	16	10	6	3	1	0	95
7	0	6	1	2	3	0	1	0	1	14
8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tot. Parz.	200	2760	810	221	79	36	9	2	1	4118
Tot. Cum.		2960	3770	3991	4070	4106	4115	4117	4118	

% dati registrati in estate		Valore centrale della classe $H_s$ (m)								Tot. parz.
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	
$H_s$ (m)	$\geq 0.00$	$\geq 0.125$	$\geq 0.375$	$\geq 0.625$	$\geq 0.875$	$\geq 1.125$	$\geq 1.375$	$\geq 1.625$	$\geq 1.875$	
$T_s$ (s)	$< 0.125$	$< 0.375$	$< 0.625$	$< 0.875$	$< 1.125$	$< 1.375$	$< 1.625$	$< 1.875$	$< 2.125$	
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.70	4.93	0.27	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.93
3	3.25	42.11	8.18	0.78	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	54.40
4	0.58	15.76	8.04	2.60	0.66	0.22	0.02	0.00	0.00	27.88
5	0.19	3.30	2.57	1.53	0.87	0.51	0.10	0.02	0.00	9.11
6	0.10	0.75	0.58	0.39	0.24	0.15	0.07	0.02	0.00	2.31
7	0.00	0.15	0.02	0.05	0.07	0.00	0.02	0.00	0.02	0.34
8	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tot. Parz.	4.86	67.02	19.67	5.37	1.92	0.87	0.22	0.05	0.02	100
Tot. Cum.		71.88	91.55	96.92	98.83	99.71	99.93	99.98	100.00	
% sup		28.12	8.45	3.08	1.17	0.29	0.07	0.02	0.00	

N° ore all'anno in estate		Valore centrale della classe $H_s$ (m)								Tot. parz.
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	
$H_s$ (m)	$\geq 0.00$	$\geq 0.125$	$\geq 0.375$	$\geq 0.625$	$\geq 0.875$	$\geq 1.125$	$\geq 1.375$	$\geq 1.625$	$\geq 1.875$	
$T_s$ (s)	$< 0.125$	$< 0.375$	$< 0.625$	$< 0.875$	$< 1.125$	$< 1.375$	$< 1.625$	$< 1.875$	$< 2.125$	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	31	216	12	1	0	0	0	0	0	260
3	143	1844	358	34	3	0	0	0	0	2383
4	26	690	352	114	29	10	1	0	0	1221
5	9	145	113	67	38	22	4	1	0	399
6	4	33	26	17	11	6	3	1	0	101
7	0	6	1	2	3	0	1	0	1	15
8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tot. Parz.	213	2936	862	235	84	38	10	2	1	4380
Tot. Cum.		3148	4010	4245	4329	4367	4377	4379	4380	
sup		1232	370	135	51	13	3	1	0	

TAB. 3.12 - ONDE IN CORRISPONDENZA DELLA FUTURA BARRIERA DI MALAMOCCO  
DEDOTTE DALLE REGISTRAZIONI ALLA STAZIONE 7: STATISTICA ESTIVA

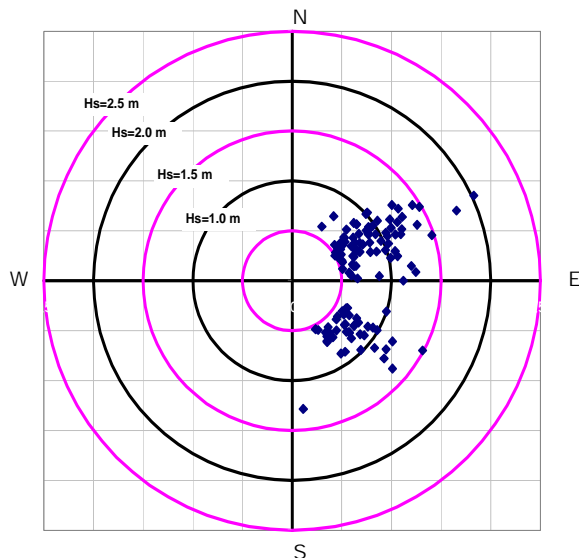
	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 47
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Per quanto riguarda le mareggiate in Fig. 3.22 si riporta la distribuzione stagionale delle altezze d'onda al picco per le mareggiate che hanno superato il valore  $H_s=0.5\text{m}$  per almeno 6 ore, in funzione della direzione di provenienza del moto ondoso al largo. Ancora una volta si osserva che le mareggiate più intense provengono dal settore di scirocco e si verificano nel periodo invernale.

#### BARRIERA DI MALAMOCCO (dati dedotti dalla stazione 7)

distribuzione dei valori di  $H_s$  al picco per le mareggiate  
con  $H_s \text{ picco} > 0.5\text{m}$  e durata  $> 3\text{ore}$   
in funzione della direzione del moto ondoso al largo (PTF)

Dati estivi (4118) relativi al periodo da gen.89 ad apr.94



distribuzione dei valori di  $H_s$  al picco per le mareggiate  
con  $H_s \text{ picco} > 0.5\text{m}$  e durata  $> 3\text{ore}$   
in funzione della direzione del moto ondoso al largo (PTF)

Dati invernali (7608) relativi al periodo da gen.89 ad apr.94

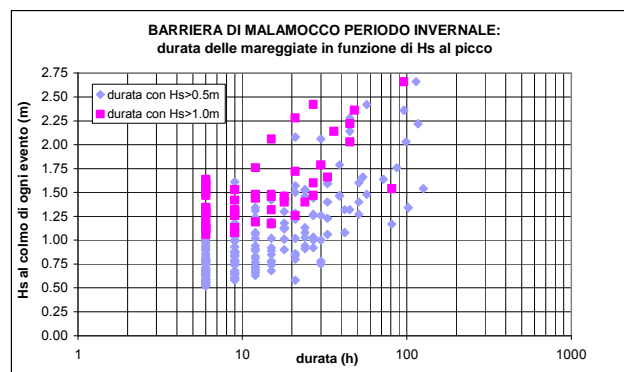
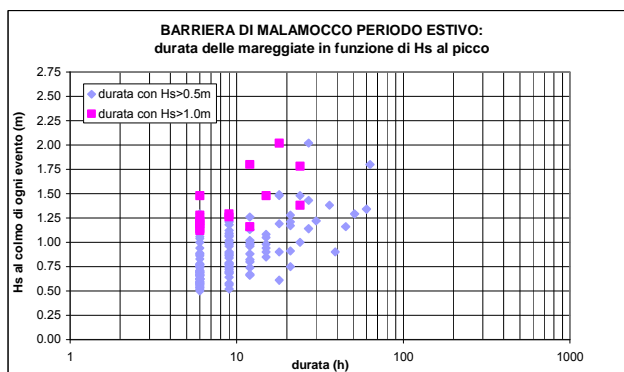
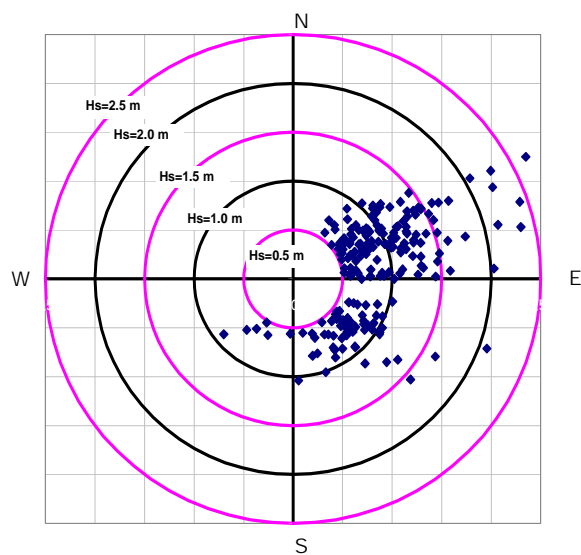



FIG. 3.22 - MALAMOCCO: DISTRIBUZIONE DIREZIONALE E STAGIONALE DEL VALORE DELL'ALTEZZA D'ONDA AL PICCO PER GLI EVENTI CON  $H_s$  AL PICCO  $> 0.5\text{m}$  E LORO DURATA. VALORI DEDOTTI DALLE REGISTRAZIONI ALLA STAZIONE 7

 <b>REGIONE DEL VENETO</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 48
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Tenuto conto di quanto precedentemente esposto, nel dimensionamento dei cassoni di soglia si può adottare per l'onda con ricorrenza annuale il valore  $H_s=2.10\text{m}$ .

Adottando il coefficiente di riduzione tra massima altezza d'onda lungo la sezione di barriera e altezza d'onda ai due lati evidenziato per le onde estreme, l'onda con ricorrenza annuale alle spalle risulta pari ad 1.5m.


Il periodo di picco associato a tali altezze d'onda varia tra 7.8 e 8.3 s.

Sulla base delle misure effettuate all'interno della bocca nel periodo 1987-1994, adottando la relazione  $T_p=1.1T_s$ , i valori più probabili del periodo di picco da associare a prefissate altezze d'onda in prossimità della barriera di Malamocco sono quelli riportati nella seguente tabella.

<b>MALAMOCCO</b>	
<b>Hs (m)</b>	<b>Tp (s)</b>
<b>0.75</b>	4.8 ÷ 5.5
<b>1.00</b>	5.5 ÷ 6.2
<b>1.25</b>	6.2 ÷ 6.8
<b>1.50</b>	6.8 ÷ 7.8
<b>annuale 2.1</b>	7.8 ÷ 8.3

TAB. 3.13 - RELAZIONE TRA ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA E PERIODO DI PICCO ALLA BARRIERA DI MALAMOCCO DEDOTTA DALLE MISURE EFFETTUATE NEL PERIODO 1987-1994



 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 49
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Lo strumento installato a Malamocco nell'ambito della 1<sup>a</sup> perizia di variante e suppletiva dello studio B.6.96/II [Rif. 3] si trova all'esterno della zona della protezione del fondale sul lato mare al centro del canale di bocca (punto di coordinate 2307904 E, 5012319 N), come indicato in Fig. 3.23 ed è operativo dal 25 giugno 2009. Attualmente le misure vengono acquisite nell'ambito dello studio B.6.96/II fase, 2<sup>a</sup> perizia di variante e suppletiva [Rif. 4]

Lo strumento, posizionato sul fondo, è un correntometro acustico profilante ADCP implementato con il firmware per le misure sul moto ondoso e fornisce contemporaneamente informazioni sulla velocità della corrente e sull'altezza d'onda ogni mezz'ora.

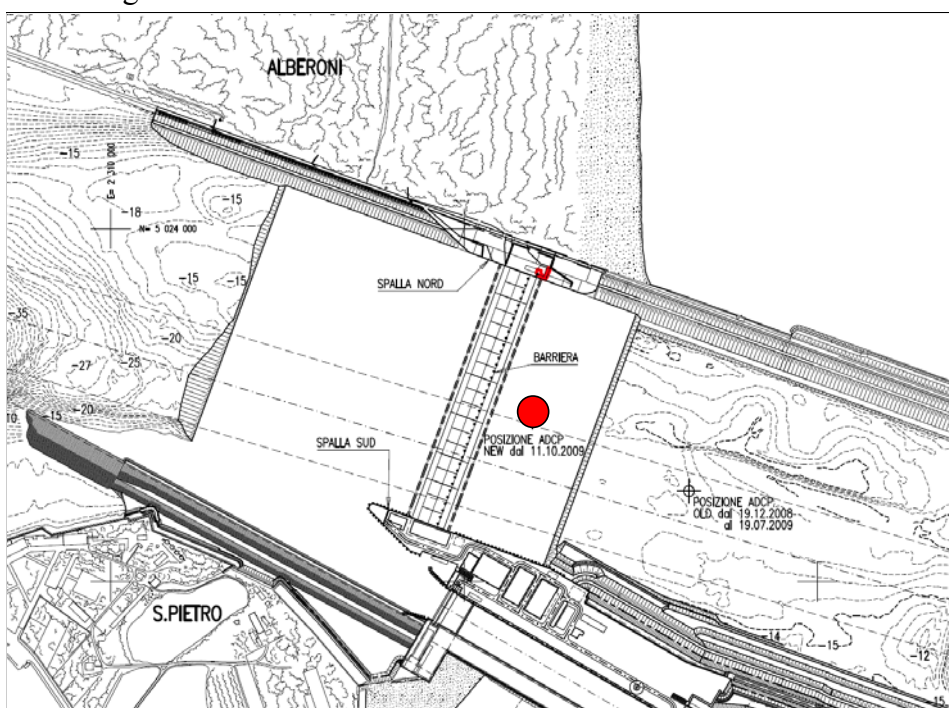


FIG. 3.23 - UBICAZIONE DELLO STRUMENTO INSTALLATO A MALAMOCCO

Lo spettro del moto ondoso viene derivato dallo spettro delle velocità orbitali in prossimità della superficie, dalla sua elaborazione vengono estratti i parametri sintetici di altezza d'onda spettrale ( $H_{m0}$ ), periodo di picco ( $T_p$ ) e periodo medio ( $T_m$ ). Poiché lo strumento è anche dotato di Tracking acustico superficiale, lo spettro dell'altezza d'onda può essere derivato anche dall'analisi diretta dell'oscillazione della superficie libera.

La Fig. 3.24 riporta la riduzione dell'altezza d'onda da largo (misurata con analogo strumento ubicato in prossimità della piattaforma Acqua Alta) a riva suddivisa per il settore di bora-levante e quello di scirocco.

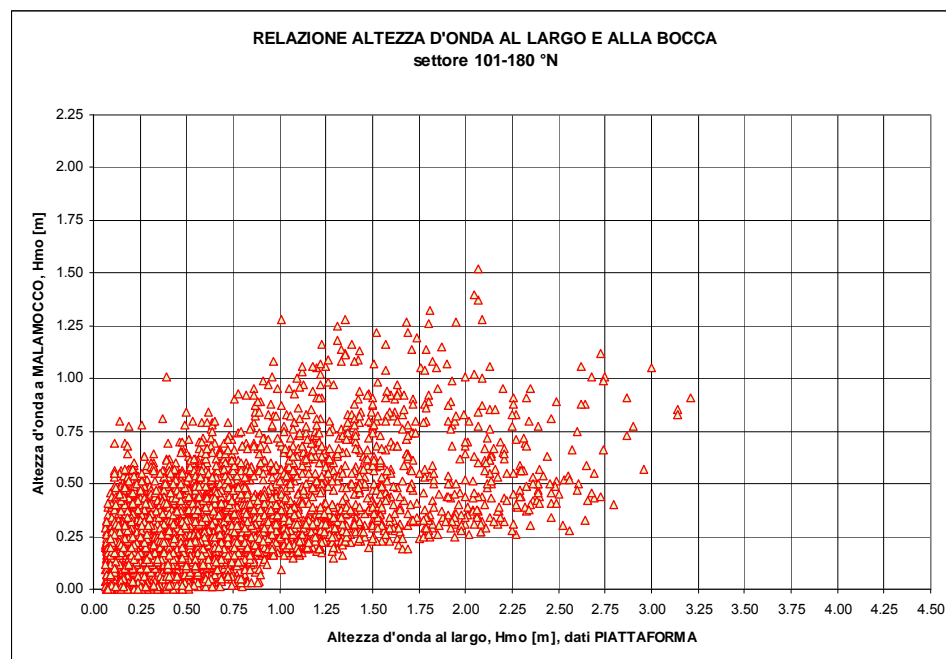
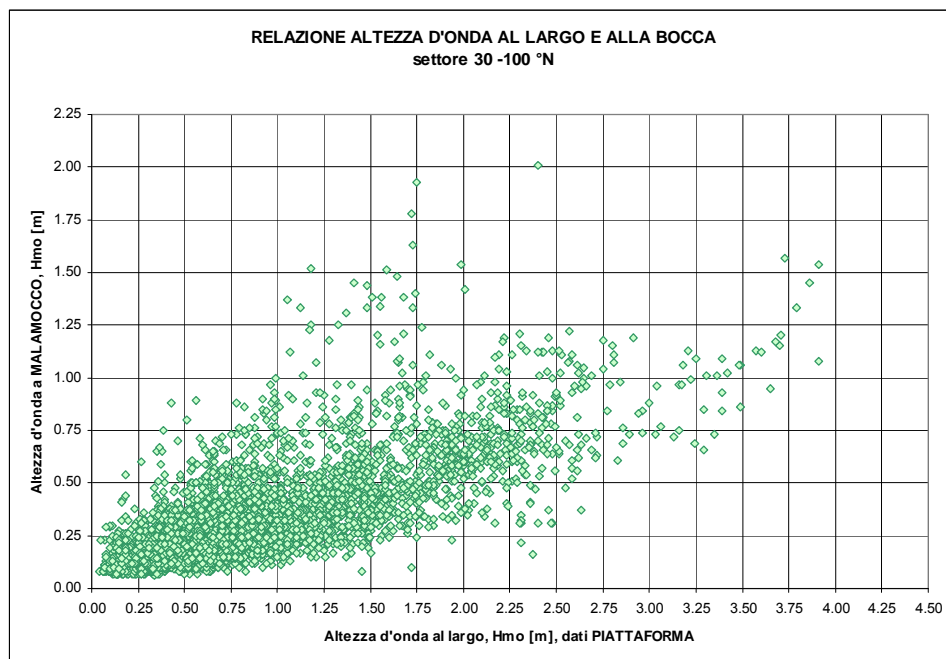



FIG. 3.24 - RIDUZIONE DI HS DAL LARGO ALLA BARRIERA DI MALAMOCCO PER IL SETTORE DI BORA-LEVANTE (SOPRA) E DI SCIROCCO (SOTTO) - DATI STUDIO B.6.96/II FASE 1<sup>a</sup> E 2<sup>a</sup> PERIZIA DI VARIANTE E SUPPLETIVA PERIODO: DICEMBRE 2008 - GENNAIO 2011

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 51
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

La Fig. 3.25 riporta gli scatter plots dei valori del periodo dell'onda (sopra il periodo di picco, sotto il periodo medio) dedotto dalle misure filtrate dell'ADCP, in funzione dell'altezza d'onda significativa.

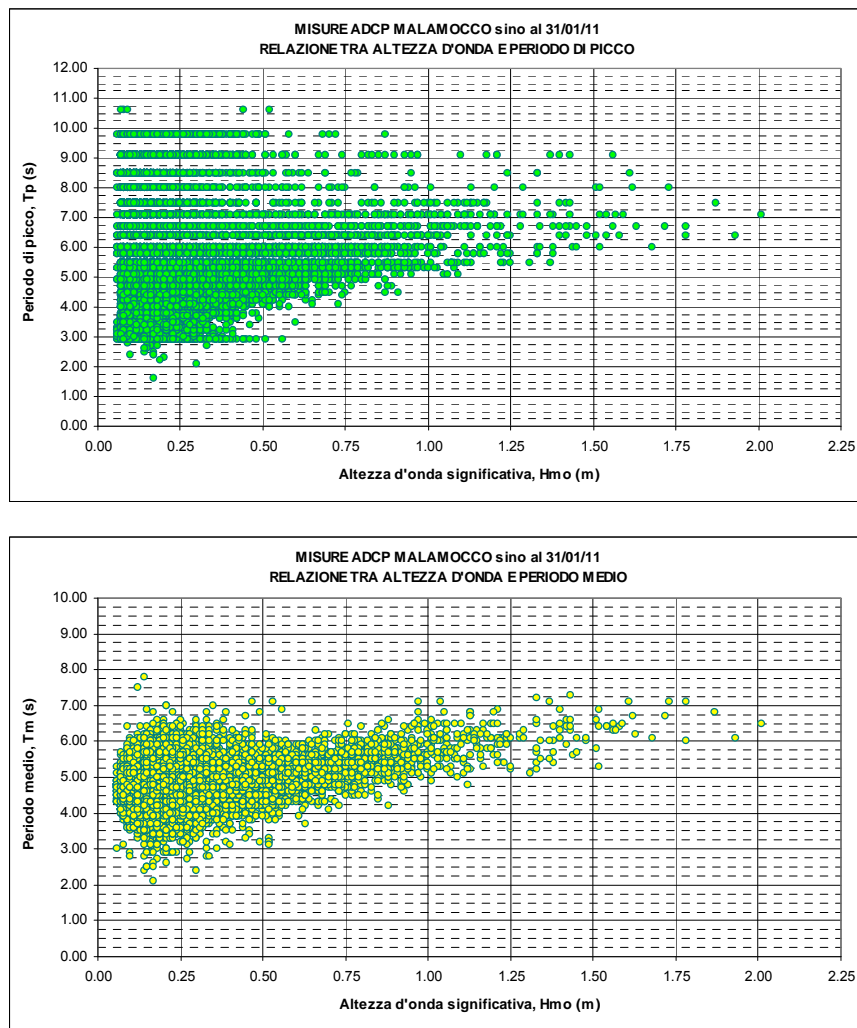



FIG. 3.25 - VALORI DI ALTEZZA D'ONDA E DEL PERIODO DEDOTTI DALLE REGISTRAZIONI DELL'ADCP: IN ALTO IL PERIODO DI PICCO, IN BASSO IL PERIODO MEDIO - DATI STUDIO B.6.96/II FASE 1<sup>a</sup> E 2<sup>a</sup> PERIZIA DI VARIANTE E SUPPLETIVA PERIODO: DICEMBRE 2008 - GENNAIO 2011

Alla luce di tali dati e tenuto conto che per i cassoni di spalla le azioni dovute al moto ondoso aumentano all'aumentare del periodo (si veda il paragrafo 7.2.2) si ritiene opportuno, per l'analisi della fase di appoggio temporaneo dei cassoni di spalla sui perni, associare all'altezza d'onda  $H_s=0.75m$ , un valore del periodo di picco pari a 6.2 s, dunque maggiore di quello riportato in Tab. 3.13.

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 52
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Infine la seguente figura riporta le contemporanee misure di altezza d'onda e velocità della corrente acquisite nel periodo di misura (dal 19/12/2008 al 31/01/2011): si osserva l'effetto della corrente in riflusso che tende ad aumentare l'altezza d'onda.

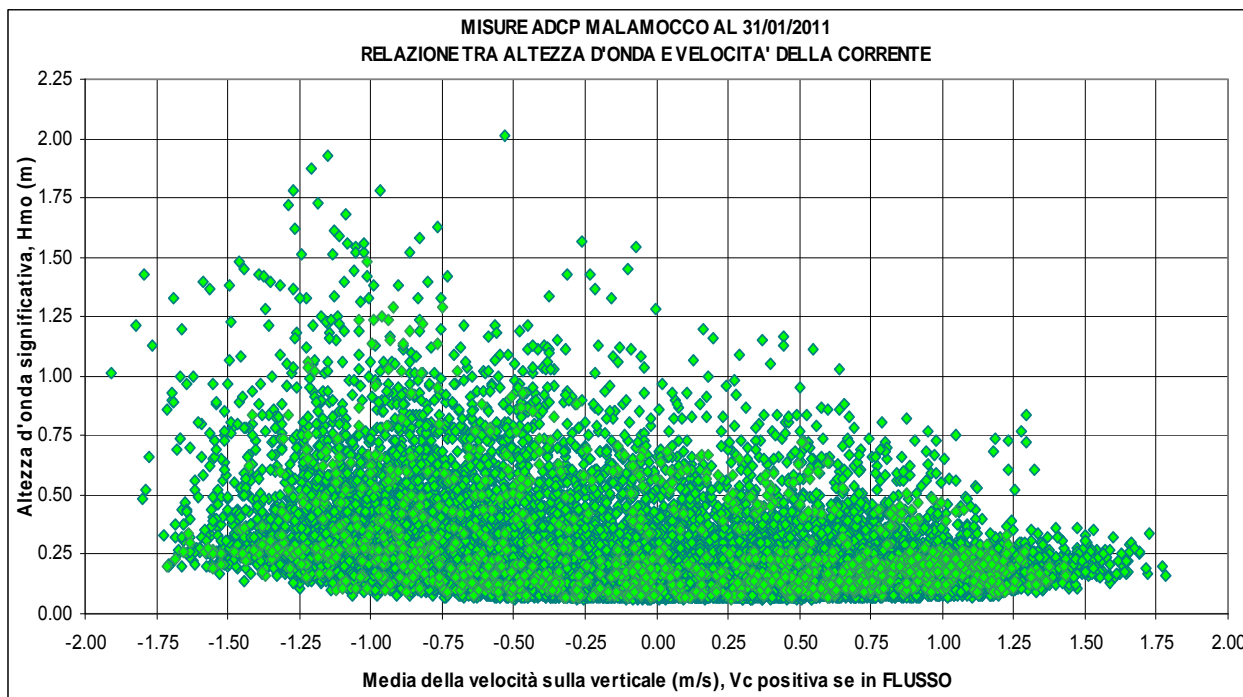


FIG. 3.26 - MISURE DI ALTEZZA D'ONDA E VELOCITÀ DELLA CORRENTE ACQUISITE DALL'ADCP ALLA BOCCA DI MALAMOCCO - DATI STUDIO B.6.96/II FASE 1<sup>^</sup> E 2<sup>^</sup> PERIZIA DI VARIANTE E SUPPLETIVA PERIODO: DICEMBRE 2008 - GENNAIO 2011

## 4. MAREE E PARAMETRI IDRODINAMICI

### 4.1. Livelli di marea

Nel progetto il livello dell'acqua è riferito al livello medio mare (l.m.m), il cui riferimento (0.00 m s l.m.m.) attualmente si trova 23 cm sopra il livello misurato a Punta della Salute, dove è collocato il mareografo storico di Venezia. Nella situazione attuale il livello a Punta della Salute durante la marea è praticamente uguale (a parte uno sfasamento temporale) a quello delle bocche di porto: pertanto nel dimensionamento delle opere in esame si farà riferimento alla statistica dei livelli misurati a Punta della Salute, per i quali si hanno a disposizione le registrazioni orarie a partire dal 1955. (Fig. 4.1).

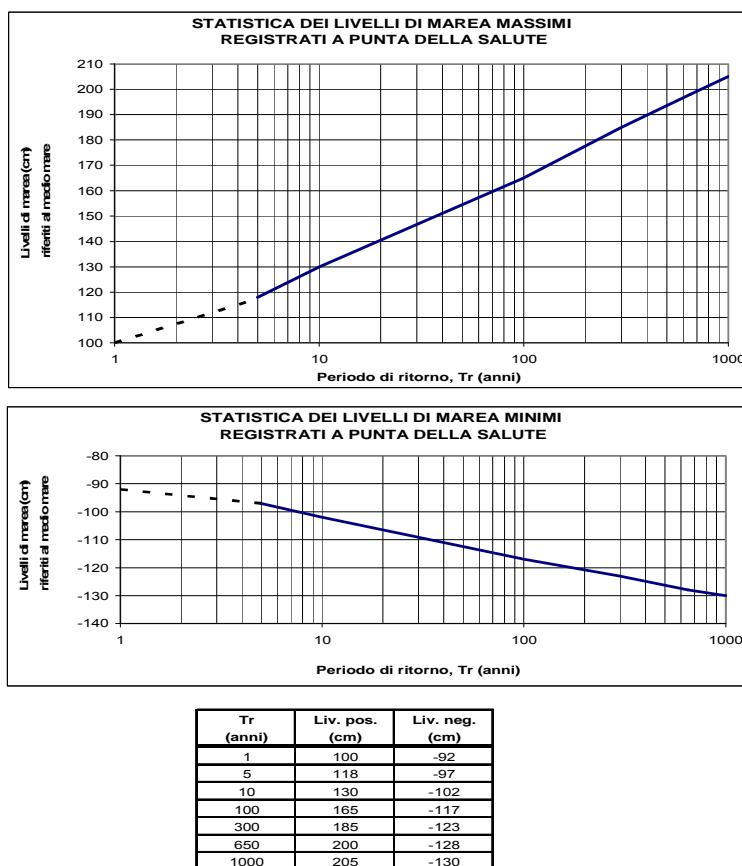



FIG. 4.1 - STATISTICA DEI LIVELLI DI MAREA MASSIMI E MINIMI REGISTRATI A PUNTA DELLA SALUTE

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 54
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Considerando le singole registrazioni orarie del campione a disposizione, si è ricavata la statistica campionaria dei livelli di marea e si è definita la frequenza di superamento dei livelli di marea riportata in Fig. 4.2.

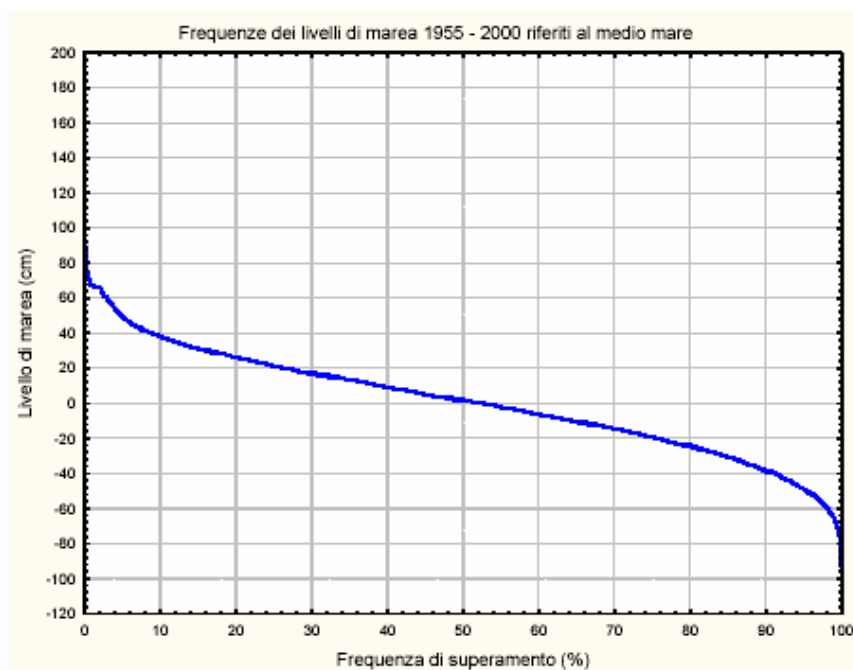




FIG. 4.2 - FREQUENZA DI SUPERAMENTO DEI LIVELLI REGISTRATI A PUNTA DELLA SALUTE

Ai livelli di marea positivi va poi aggiunto l'eustatismo il cui valore massimo considerato nel progetto delle opere mobili è di 60 cm. Tale valore viene utilizzato nelle verifiche a SLU e in condizioni eccezionali in corrispondenza di eventi millenari.

Per le verifiche in condizioni operative massime si fa riferimento allo scenario previsto per il 2100 assumendo, in accordo con il documento del Co.Ri.La del novembre 1999 "Scenari di crescita del livello del mare per la Laguna di Venezia", un incremento del livello medio mare di 22 cm.

In questo documento infatti lo Scenario Probabile Cautelativo (SPC) di crescita relativa del livello medio mare a Venezia (somma di 1.5 – 1.7 mm/anno di eustatismo + 0.4 mm/anno di subsidenza naturale), calcolato a partire dal 1990, prevede una crescita di 22 cm per il 2100 [Rif. 5].


 	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 55
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Nel 2006 il PIANC ha emesso le linee guida per la progettazione delle *Storm surge barriers* (Barriere per le acque alte) e ha fissato il valore di riferimento dell'innalzamento del livello medio mare al 2100 a +40cm [Rif. 6]. Il PIANC ha dedotto la curva di crescita del livello dalle informazioni pubblicate in IPCC TAR 2001 [Rif. 7] che indicavano valori dell'eustatismo compresi tra 10 cm e 90 cm circa.

Più recentemente IPCC 2007 ha fornito nuove informazioni, a livello globale, sulla stima dei livelli del mare nel 2100. Tenendo conto di tutti gli scenari di sviluppo adottati nello studio, i valori dell'eustatismo variano tra 18 e 59 cm e quindi all'interno del range (compreso tra 10 e 90 cm) identificato precedentemente in IPCC 2001 ed utilizzato dal PIANC.

I valori identificati da IPCC 2007 risultano dunque inferiori al valore massimo di crescita del livello medio mare di 60 cm considerato nel progetto definitivo e utilizzato per le verifiche a SLU delle opere già progettate.

Per il calcolo dei carichi ciclici cui saranno sottoposti gli elementi di connessione tra le paratoie ed i cassoni di alloggiamento durante il funzionamento delle barriere è stata considerata una crescita non lineare del livello medio del mare di 60 cm in 100 anni.

 <b>MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 56
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## 4.2. Gradiente medio di marea

Il parametro strettamente collegato alle portate che transitano nei canali delle bocche di porto è il gradiente medio della marea definito come il rapporto tra l'ampiezza di marea e il tempo che intercorre tra il raggiungimento del cavo e quello della cresta, se si è in fase di flusso, o quello tra la cresta ed il cavo, se si è in fase di riflusso. Il gradiente medio di marea è stato caratterizzato statisticamente esaminando la serie storica di 50 anni di registrazioni di livello a Punta della Salute relativa al periodo 1955-2004.

Il gradiente medio di marea è definito, nelle fasi di flusso e riflusso, dalla relazione:

$$gr_{flusso, riflusso} = \frac{h_{max} - h_{min}}{t_{hmax} - t_{hmin}}$$

in cui  $h_{max}$  e  $h_{min}$  sono rispettivamente le altezze massime e minime di marea consecutive in un ciclo di marea, mentre  $t_{hmax}$  e  $t_{hmin}$  sono i corrispondenti tempi nei quali si sono verificati gli eventi di massimo/minimo di marea.

Quando l'andamento dei livelli si discosta dallo schema teorico sinusoidale il valore del gradiente dipende dai criteri adottati nella definizione dei livelli massimi e minimi consecutivi che rappresentano gli estremi della fase di marea crescente o decrescente, conseguentemente anche l'analisi statistica dei gradienti dipende da questi criteri.

Nella Fig. 4.3 si riporta l'analisi statistica effettuata sul campione delle misure orarie del mareografo storico di Punta della Salute nel periodo 1955-2004. Il calcolo è stato effettuato sia considerando separatamente gli eventi di flusso e quelli di riflusso sia unendo i due campioni. Si è inoltre valutata la statistica dei valori estremi, a partire da tempi di ritorno di 5 anni, applicando il metodo di Gumbel ai valori massimi annuali. Si è osservato che solo per eventi frequenti i valori in riflusso risultano leggermente superiori e che tale tendenza si inverte per valori del periodo di ritorno superiori ai 5 anni.

Per tale motivo e per una maggiore snellezza operativa, si è stabilito di far riferimento ad un'unica statistica, quella dei gradienti medi in flusso di cui si riportano i risultati in Fig. 4.4.

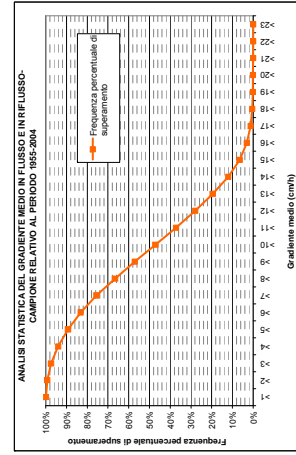
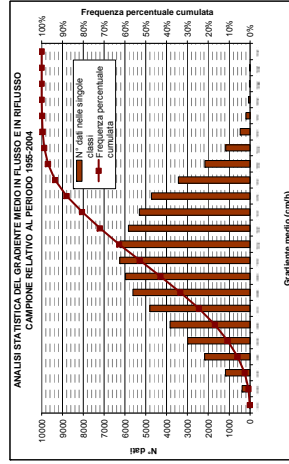
Nell'ipotesi di marea semidiurna l'evento con ricorrenza annuale è caratterizzato da una frequenza di superamento pari allo 0.13%, cui corrisponde un gradiente medio pari a 18.7 cm/h.



periodo 1955\_2004

### FLUSSO + RIFLUSSO

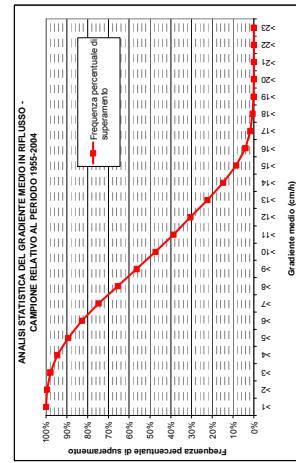
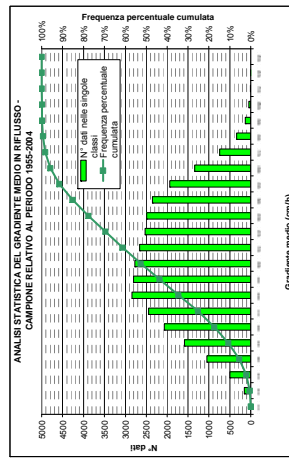
gradiente medio (cm/h)	N° dati per classe	% dati cumuli	% dati per classe	N° dati cumuli	% dati cumuli	+F	grad med (cm/h)
<-1	376	4.10	0.60%	376	0.60%	99.39%	>1
<-2	1172	12.92	1.86%	1548	2.52%	97.48%	>2
<-3	2176	23.78	3.46%	3724	5.98%	94.02%	>3
<-4	2697	29.35	4.77%	6421	10.74%	89.26%	>4
<-5	3424	37.42	6.11%	10845	16.85%	83.15%	>5
<-6	3842	41.84	6.85%	14687	23.70%	76.30%	>6
<-7	4626	50.22	8.95%	21313	33.43%	66.35%	>7
<-8	5972	64.99	9.95%	27285	42.93%	57.07%	>8
<-9	6242	67.65	9.95%	33527	52.88%	47.14%	>9
<-10	6234	67.65	9.91%	39761	62.79%	37.22%	>10
<-11	5540	59.81	8.29%	45301	71.07%	27.85%	>11
<-12	4540	49.19	6.29%	50841	77.36%	22.63%	>12
<-13	3442	37.15	4.53%	54283	81.89%	18.10%	>13
<-14	3442	37.15	4.53%	57725	86.33%	11.87%	>14
<-15	3442	37.15	4.53%	61167	90.86%	8.49%	>15
<-16	2161	23.21	2.85%	63328	93.71%	6.06%	>16
<-17	1167	12.57	1.55%	64495	95.26%	4.74%	>17
<-18	1167	12.57	1.55%	65662	96.81%	3.19%	>18
<-19	1167	12.57	1.55%	66829	98.36%	1.64%	>19
<-20	66	0.71%	0.03%	66895	98.36%	0.04%	>20
<-21	18	0.19%	0.03%	66913	98.36%	0.01%	>21
<-22	7	0.07%	0.01%	66920	98.36%	0.00%	>22
<-23	1	0.01%	0.00%	66921	98.36%	0.00%	>23
<-24	1	0.01%	0.00%	66922	98.36%	0.00%	>24
Totale	6303						



periodo 1955\_2004

### RIFLUSSO

gradiente medio riflusso	N° dati per classe	% dati cumuli	% dati per classe	N° dati cumuli	% dati cumuli	+F	grad med (cm/h)
<-1	152	1.87	0.45%	152	0.45%	99.55%	>1
<-2	498	6.33	1.61%	645	1.61%	97.94%	>2
<-3	1043	13.08	3.40%	1698	4.25%	94.69%	>3
<-4	1587	19.68	5.19%	3285	8.14%	91.55%	>4
<-5	2024	25.24	7.00%	5309	13.14%	88.41%	>5
<-6	2444	30.32	8.24%	7753	19.38%	79.03%	>6
<-7	2808	35.00	9.12%	10561	26.50%	72.53%	>7
<-8	3442	42.88	10.12%	14003	34.62%	65.41%	>8
<-9	4118	51.20	11.44%	18121	44.06%	55.34%	>9
<-10	4118	51.20	11.44%	22239	55.50%	44.46%	>10
<-11	2661	32.92	8.64%	24900	61.32%	38.68%	>11
<-12	2024	25.24	7.00%	26924	66.32%	33.68%	>12
<-13	1587	19.68	5.19%	28511	71.51%	28.49%	>13
<-14	1043	13.08	3.40%	29554	74.91%	24.72%	>14
<-15	1598	19.80	6.29%	31152	78.20%	21.80%	>15
<-16	1342	16.59	4.36%	32494	82.56%	18.44%	>16
<-17	742	9.19	2.41%	33236	84.97%	15.51%	>17
<-18	742	9.19	2.41%	33978	87.38%	12.60%	>18
<-19	111	1.38	0.33%	34089	88.76%	11.22%	>19
<-20	48	0.59%	0.16%	34137	89.35%	0.65%	>20
<-21	10	0.12%	0.03%	34147	89.47%	0.04%	>21
<-22	3	0.03%	0.01%	34150	89.47%	0.01%	>22
<-23	1	0.01%	0.00%	34151	89.47%	0.00%	>23
<-24	1	0.01%	0.00%	34152	89.47%	0.00%	>24
Totale	30726						



periodo 1955\_2004

### FLUSSO

gradiente medio (cm/h)	N° dati per classe	% dati cumuli	% dati per classe	N° dati cumuli	% dati cumuli	+F	grad med (cm/h)
<-1	225	2.50	0.70%	225	0.70%	99.30%	>1
<-2	678	7.50	2.11%	903	2.81%	97.19%	>2
<-3	1128	12.50	3.52%	2031	6.33%	93.86%	>3
<-4	1410	15.56	4.39%	3441	10.72%	89.20%	>4
<-5	1778	19.56	5.94%	5219	16.66%	83.26%	>5
<-6	2142	23.56	7.13%	7361	22.79%	75.13%	>6
<-7	2732	30.00	8.67%	10093	31.46%	68.46%	>7
<-8	3142	34.56	9.86%	13235	41.32%	57.60%	>8
<-9	3472	38.33	10.82%	16707	52.14%	46.86%	>9
<-10	3472	38.33	11.14%	20179	63.28%	35.62%	>10
<-11	2097	23.00	6.33%	22276	69.61%	30.27%	>11
<-12	1410	15.56	4.39%	23686	74.00%	25.88%	>12
<-13	1128	12.50	3.52%	24814	77.52%	22.36%	>13
<-14	678	7.50	2.11%	25492	79.63%	19.84%	>14
<-15	1508	16.56	4.69%	27000	84.32%	15.15%	>15
<-16	1410	15.56	4.39%	28410	88.71%	12.76%	>16
<-17	818	8.94	2.55%	29228	91.26%	8.20%	>17
<-18	423	4.63	1.31%	29651	92.57%	7.23%	>18
<-19	148	1.61	0.43%	29799	93.00%	6.80%	>19
<-20	18	0.19%	0.06%	29817	93.19%	0.81%	>20
<-21	8	0.08%	0.02%	29825	93.27%	0.07%	>21
<-22	4	0.04%	0.01%	29829	93.31%	0.00%	>22
<-23	0	0.00%	0.00%	29829	93.31%	0.00%	>23
<-24	0	0.00%	0.00%	29829	93.31%	0.00%	>24
Totale	3203						

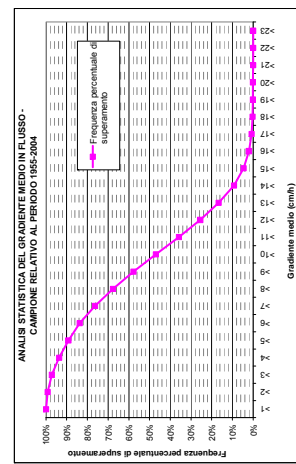
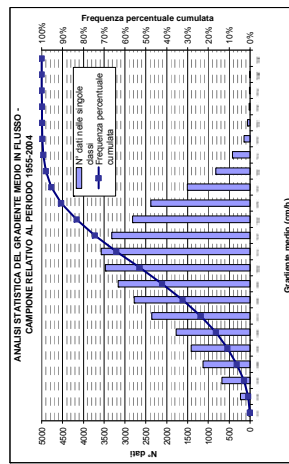


FIG. 4.3 - ANALISI STATISTICA DEI GRADIENTI MEDI DI MAREA (DAI LIVELLI ORARI MISURATI A PUNTA DELLA SALUTE NEL PERIODO 1955-2004)

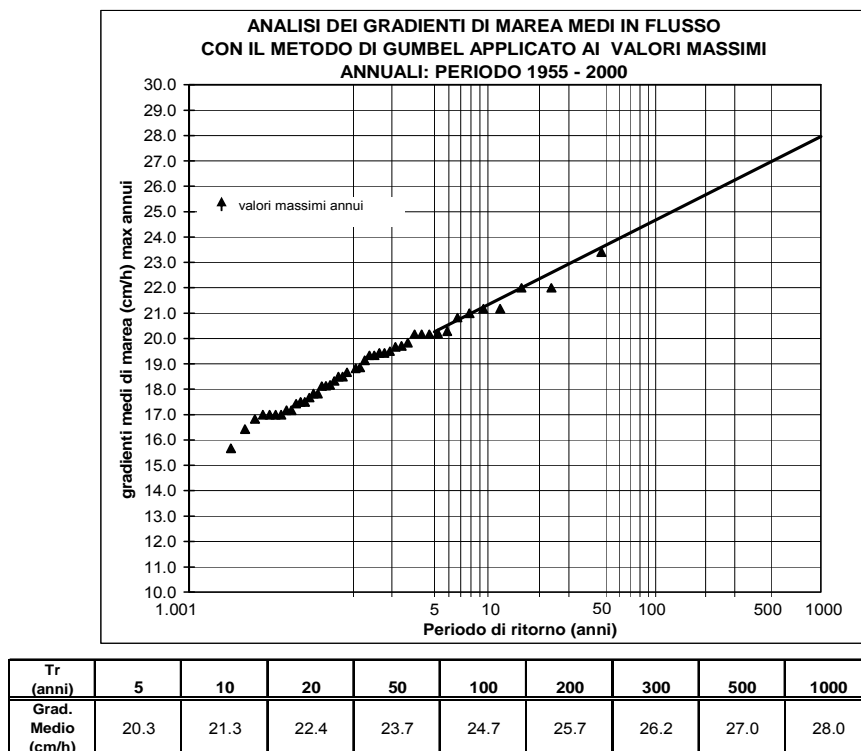



FIG. 4.4 - PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E VALORI ESTREMI DEL GRADIENTE IN FLUSSO

#### 4.3. Velocità della corrente nella zona di barriera

Non avendo a disposizione misure dirette di corrente di marea in corrispondenza delle barriere e tenuto conto che comunque la realizzazione delle opere alle bocche modifica la distribuzione delle portate e delle velocità rispetto alla situazione in assenza di interventi, la valutazione della velocità della corrente in corrispondenza delle sezioni di barriera è stata effettuata utilizzando il modello numerico *Delft3D-Flow* della laguna di Venezia a partire da maree di caratteristiche prefissate. Tale modello si basa su una schematizzazione a maglia curvilinea e le equazioni del moto sono risolte secondo un algoritmo di calcolo alle differenze finite.

Si rammenta che il modello della laguna di Venezia è stato calibrato sulla base dei volumi complessivi scambiati tra mare e laguna nella configurazione delle bocche antecedente l'inizio dei lavori e continuamente verificato, seguendo l'evoluzione delle opere alle bocche, per quanto riguarda i livelli [Rif. 8] e [Rif. 9].

La determinazione della portata e del conseguente campo di moto è stata effettuata in condizioni di moto vario. Le simulazioni sono state eseguite con un'onda di marea semplificata di tipo sinusoidale con periodo di 12 ore e livello medio coincidente con il livello medio mare, per diversi valori del gradiente medio a seconda del periodo di ritorno considerato. Ovviamente nel trasferire i

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 59
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

risultati di queste simulazioni alle maree reali si introducono inevitabilmente delle approssimazioni legate all'effettiva forma della marea. Infatti la portata alle bocche di porto (e quindi la velocità della corrente) dipende non solo dalla forma dell'onda di marea considerata, ma anche dal ciclo di marea precedente (inerzia del sistema). Ai fini della progettazione si è essenzialmente interessati ad una valutazione statistica della velocità per cui le approssimazioni legate all'effettiva forma della marea risultano accettabili. Al contrario durante le fasi operative della posa dei cassoni ciò che conta è l'effettivo valore della velocità presente durante le operazioni che non può prescindere dalla forma dell'onda di marea e dai cicli di marea precedenti.

Il modello è stato applicato sia alla laguna nella configurazione antecedente la costruzione delle opere complementari (definita per semplicità situazione attuale) sia alla configurazione finale corrispondente alla realizzazione di tutte le opere alle bocche per la regolazione dei flussi di marea. E' stato in tal modo possibile individuare delle relazioni di tipo lineare tra il gradiente medio della marea in input e la portata massima transitante alle bocche di porto.

Le misure dirette di portata eseguite negli ultimi 3 anni nell'ambito dello studio C.1.5 [Rif. 10] insieme con le contemporanee misure dei livelli a Punta della Salute hanno permesso di verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti con il modello numerico in situazione attuale, confrontandoli con i valori sperimentali. In Fig. 4.5 si riportano i risultati nel canale di bocca di Malamocco.

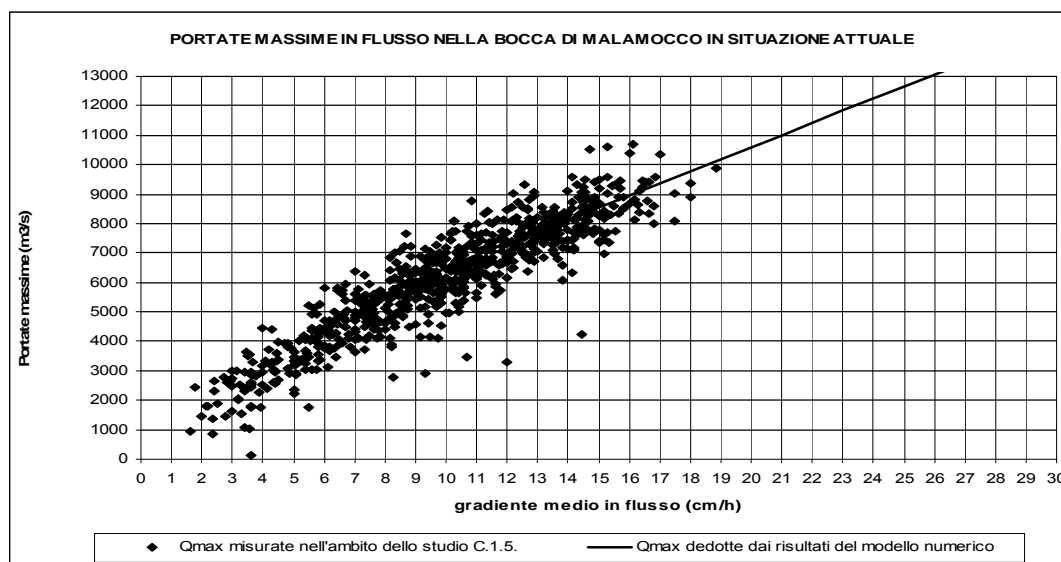



FIG. 4.5 - CONFRONTO TRA I DATI SPERIMENTALI E LA RELAZIONE ADOTTATA TRA GRADIENTE MEDIO E PORTATA MASSIMA NEL CANALE DI MALAMOCCO NELLA CONFIGURAZIONE ANTECEDENTE LA COSTRUZIONE DELLE OPERE MOBILI

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 60
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	


Successivamente il modello dell'intera laguna è stato applicato alla configurazione con gli interventi per tenere conto degli effetti indotti dalla presenza delle opere in termini di portata e sull'idrodinamica locale.

Per ogni simulazione eseguita si sono individuati gli istanti in cui si verificano le massime portate entranti e uscenti nelle singole bocche di porto e per tali istanti si è valutato il massimo valore della velocità della corrente nella zona di barriera interessata dalla protezione dei fondali. (A fine capitolo si riportano i risultati relativi ad alcune di queste simulazioni, corrispondenti a periodi di ritorno pari a 1, 100 e 1000 anni).

In condizioni di flusso si osserva una distribuzione abbastanza uniforme nella zona della barriera con un incremento delle velocità in corrispondenza del centro. In condizioni di riflusso si osserva una concentrazione sul lato meridionale, dovuta alla deviazione del flusso a causa della presenza dello sperone lato laguna della spalla sud.

Nei diagrammi della Fig. 4.6 si riportano gli andamenti delle velocità, in condizione di massimo flusso e di massimo riflusso, lungo la sezione di barriera (indicata in rosso in figura) rapportati al valore massimo per 3 diversi valori dei gradienti. Per comodità nei diagrammi è indicata anche la posizione dei diversi cassoni di soglia.

Si osserva che la distribuzione della velocità lungo la sezione è molto simile nei 3 casi esaminati.

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 61
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Sezione di  
barriera

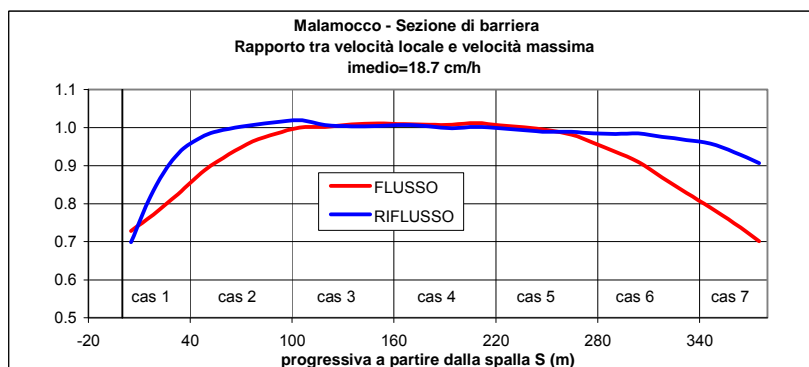
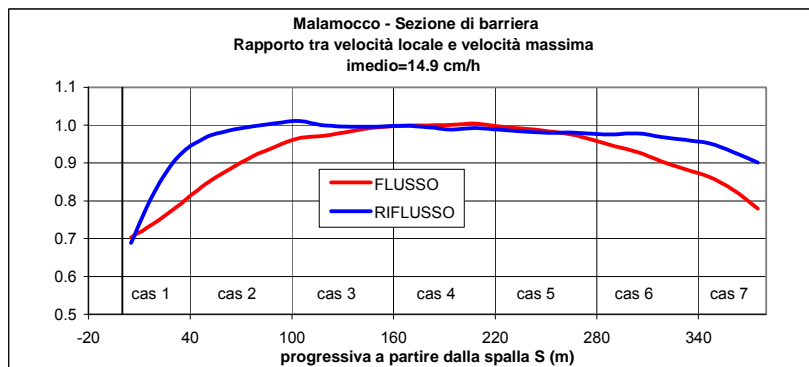
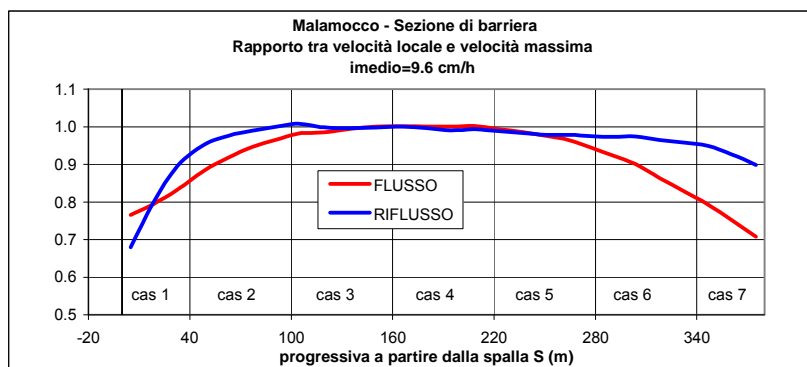
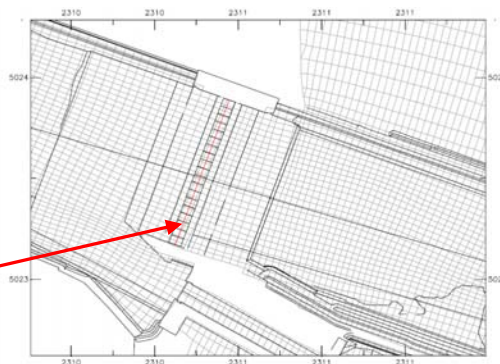



FIG. 4.6 - RAPPORTO TRA VELOCITÀ LOCALE E VELOCITÀ MASSIMA IN CORRISPONDENZA DELLA SEZIONE DI BARRIERA

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 62
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Le simulazioni eseguite hanno pertanto permesso di individuare una relazione media tra gradiente di marea e velocità massima (nel ciclo di marea) della corrente nella zona di barriera. Tale relazione è diagrammata in Fig. 4.7.

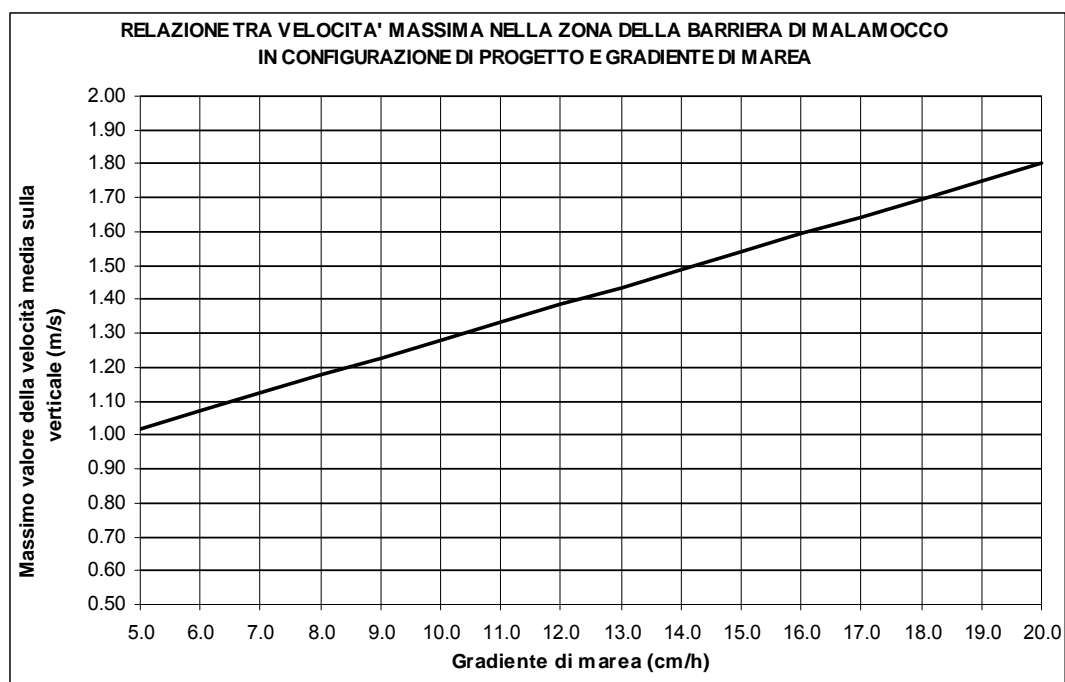


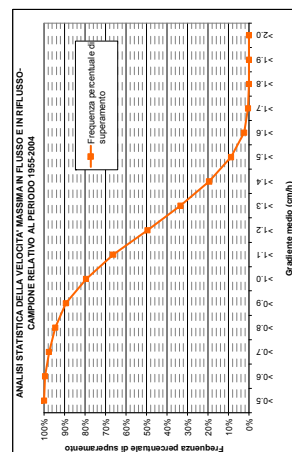
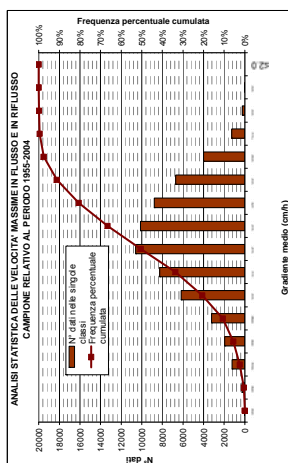
FIG. 4.7 - VELOCITÀ MASSIMA NELLA ZONA DI BARRIERA IN FUNZIONE DEL GRADIENTE DI MAREA

Applicando tale relazione alla serie storica dei gradienti di marea si è giunti a caratterizzare statisticamente la velocità massima (nel ciclo di marea) della corrente nella zona di barriera, come indicato in Fig. 4.8.

In maniera analoga si è definita la statistica dei valori estremi della velocità della corrente. In Fig. 4.9 è riportata la statistica del valore massimo, nel tempo e nello spazio, della velocità media lungo la verticale nell'area della barriera, da considerarsi come statistica di riferimento per le zone in prossimità della barriera.

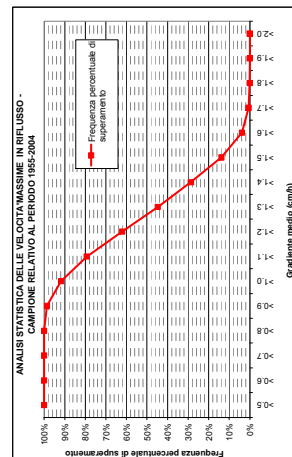
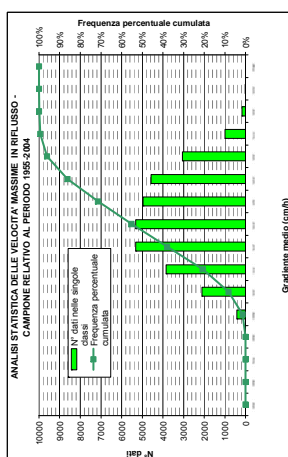
# FLUSSO + RIFLUSSO

velocità max nel ciclo (m/s)	N° dati per classe	% dati cumulati	% dati per classe	N° dati cumulati	1-F	vel max (m/s)
<0,5	8	0,01%	0,01%	8	99,99%	>0,5
<0,6	275	283	0,44%	291	99,55%	>0,6
<0,7	1243	1258	1,98%	1539	97,57%	>0,7
<0,8	3253	3273	5,04%	4812	92,53%	>0,8
<0,9	3253	6723	10,14%	8035	82,39%	>0,9
<1,0	6191	12914	19,58%	14105	72,81%	>1,0
<1,1	6264	21178	31,44%	20369	61,37%	>1,1
<1,2	10575	31753	46,92%	32404	49,29%	>1,2
<1,3	10111	41864	61,93%	42875	53,22%	>1,3
<1,4	41864	51978	76,87%	56164	67,69%	>1,4
<1,5	6719	57988	85,91%	63707	87,72%	>1,5
<1,6	3965	61953	90,84%	65868	93,67%	>1,6
<1,7	1261	63214	93,77%	66875	97,43%	>1,7
<1,8	238	63452	94,89%	66875	98,62%	>1,8
<1,9	24	63476	94,91%	66875	99,86%	>1,9
<2,0	3	63479	94,92%	66878	99,99%	>2,0
totale	23652					



# RIFLUSSO

velocità max nel ciclo (m/s)	N° dati per classe	% dati cumulati	% dati per classe	N° dati cumulati	1-F	vel max (m/s)
<0,5	0	0,00%	0,00%	0	100,00%	>0,5
<0,6	0	0,00%	0,00%	0	100,00%	>0,6
<0,7	0	0,00%	0,00%	0	100,00%	>0,7
<0,8	418	1,35%	1,35%	418	98,65%	>0,8
<0,9	2118	6,87%	8,22%	2536	91,78%	>0,9
<1,0	3049	9,59%	17,81%	5585	79,28%	>1,0
<1,1	5320	17,28%	35,09%	10905	62,01%	>1,1
<1,2	5318	17,27%	52,36%	16223	44,74%	>1,2
<1,3	1701	5,29%	57,65%	17924	37,03%	>1,3
<1,4	2048	6,29%	63,94%	20002	28,75%	>1,4
<1,5	4574	14,15%	78,09%	24576	13,79%	>1,5
<1,6	3039	9,33%	87,42%	27615	6,21%	>1,6
<1,7	905	2,79%	89,37%	28520	0,83%	>1,7
<1,8	173	0,53%	90,90%	28693	0,05%	>1,8
<1,9	30793	94,91%	94,91%	30793	0,01%	>1,9
<2,0	3	0,01%	94,92%	30796	0,00%	>2,0
totale	30796					



# SEZIONE DI BARRIERA DI MALAMOCCO FLUSSO

velocità max nel ciclo (m/s)	N° dati per classe	% dati cumulati	% dati per classe	N° dati cumulati	1-F	vel max (m/s)
<0,5	8	0,02%	0,02%	8	99,98%	>0,5
<0,6	275	0,86%	0,88%	283	99,12%	>0,6
<0,7	1243	3,77%	4,64%	1518	95,25%	>0,7
<0,8	3253	9,83%	14,47%	4771	85,42%	>0,8
<0,9	3253	9,83%	24,30%	8024	75,58%	>0,9
<1,0	4076	12,39%	36,69%	12100	63,44%	>1,0
<1,1	4415	13,09%	49,78%	16515	53,88%	>1,1
<1,2	5255	15,39%	65,17%	21770	37,57%	>1,2
<1,3	2446	7,19%	72,36%	24216	22,87%	>1,3
<1,4	4793	14,04%	86,40%	29009	11,93%	>1,4
<1,5	2145	6,18%	92,58%	31154	3,85%	>1,5
<1,6	927	2,69%	95,27%	32081	0,23%	>1,6
<1,7	266	0,78%	96,05%	32347	0,05%	>1,7
<1,8	59	0,17%	96,22%	32406	0,01%	>1,8
<1,9	11	0,03%	96,25%	32417	0,00%	>1,9
<2,0	3	0,01%	96,26%	32420	0,00%	>2,0
totale	32420					

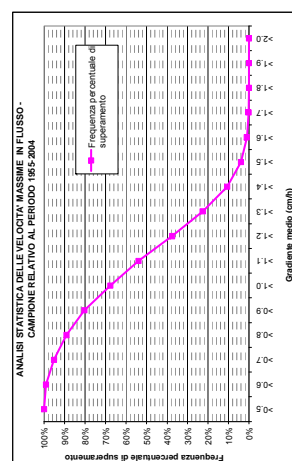
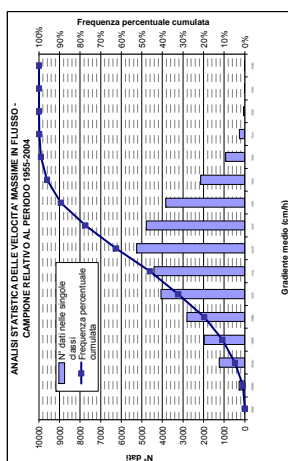
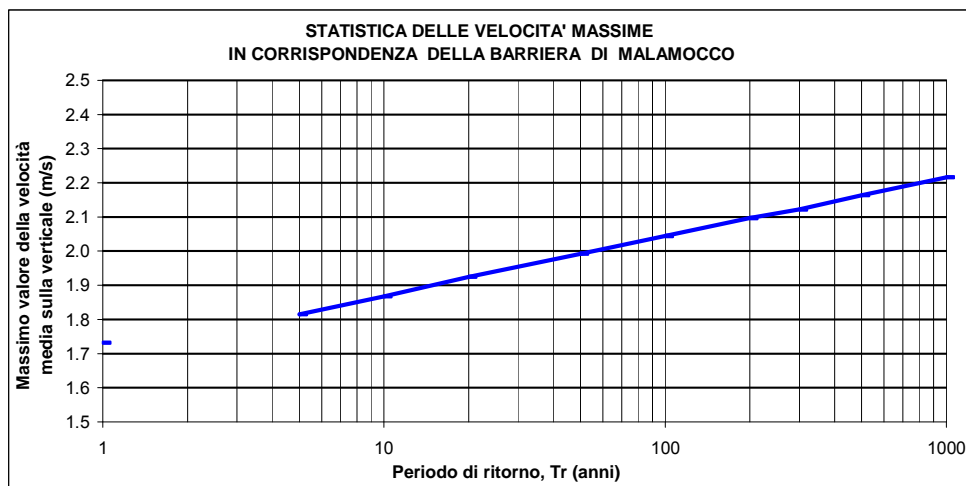


FIG. 4.8 - ANALISI STATISTICA DELLA VELOCITÀ MASSIMA NELLA ZONA DELLA BARRIERA DI MALAMOCCO DESUNTA DALL'ANALISI DEI GRADIENTI MEDI DI MAREA (DAI LIVELLI ORARI MISURATI A PUNTA DELLA SALUTE NEL PERIODO 1955-2004)

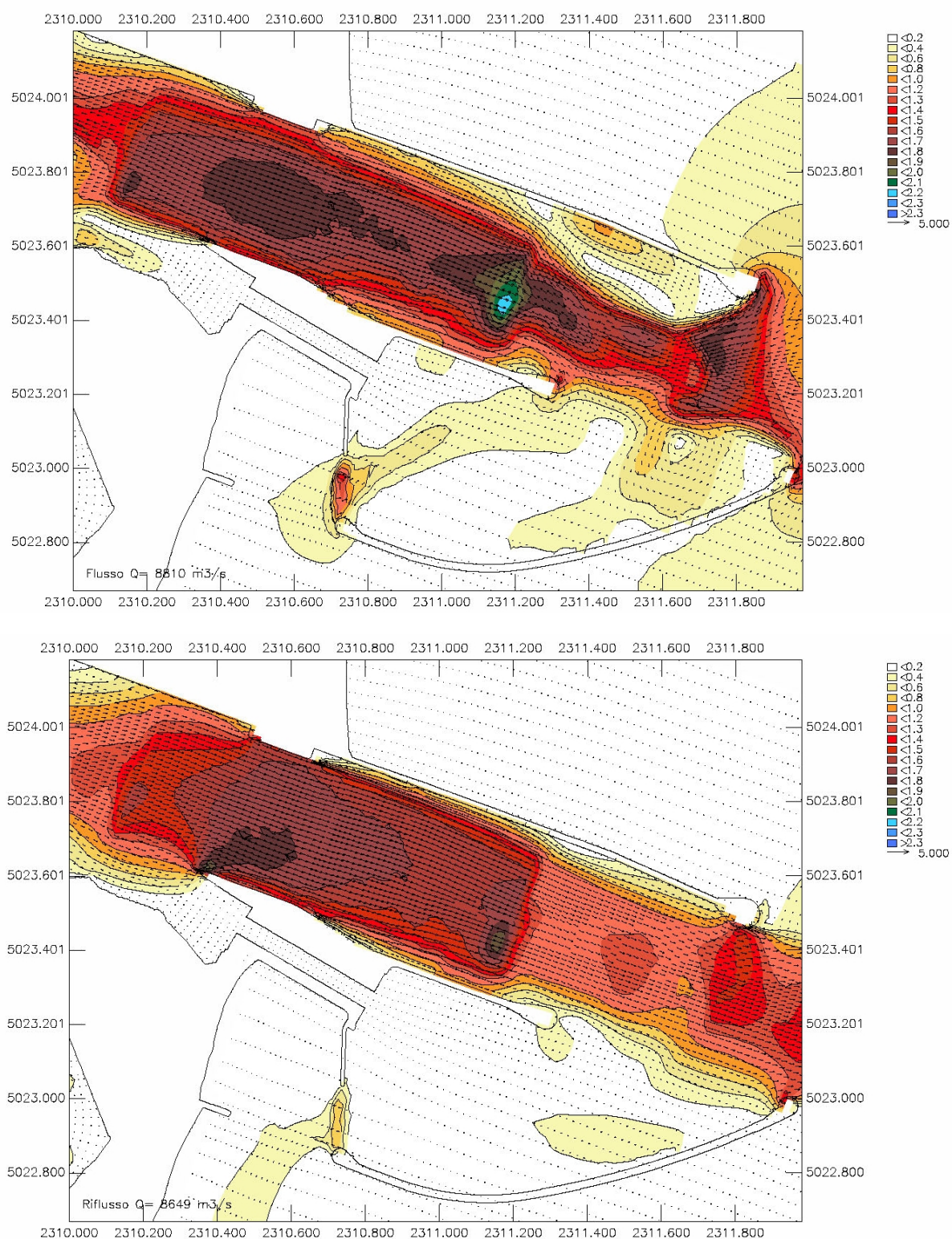


freq. Sup. (%)	Tr (anni)	i medio (cm/h)	Velocità (m/s)
50.00%		9.60	1.26
5.00%		14.90	1.53
0.13%	1	18.70	1.73
	5	20.30	1.82
	10	21.30	1.87
	50	23.70	1.99
	100	24.70	2.04
	1000	28.00	2.22

FIG. 4.9 - STATISTICA DELLE VELOCITÀ MASSIME, MEDIANE SULLA VERTICALE, IN CORRISPONDENZA DELLA ZONA DELLA BARRIERA DI MALAMOCCO

Si ricorda infine che le velocità della corrente sinora riportate sono velocità medie sulla verticale. Per quanto riguarda la distribuzione della velocità lungo la verticale, per i canali è verosimile assumere una dipendenza logaritmica della velocità con la profondità, con termini variabili da punto a punto in funzione della scabrezza del fondale. All'aumentare della scabrezza si incrementa la resistenza al fondo e di conseguenza il profilo si discosta maggiormente da una distribuzione uniforme e aumenta il rapporto fra la velocità massima e la velocità media lungo la verticale. Cautelativamente, dalla letteratura si assume che tale rapporto sia costante e pari a 1.22.





**FIG. 4.10 - CAMPO DI VELOCITÀ IN PROSSIMITÀ DELLA BARRIERA DI MALAMOCCHO PER UN EVENTO CON RICORRENZA ANNUALE (SOPRA FLUSSO, SOTTO RIFLUSO)**

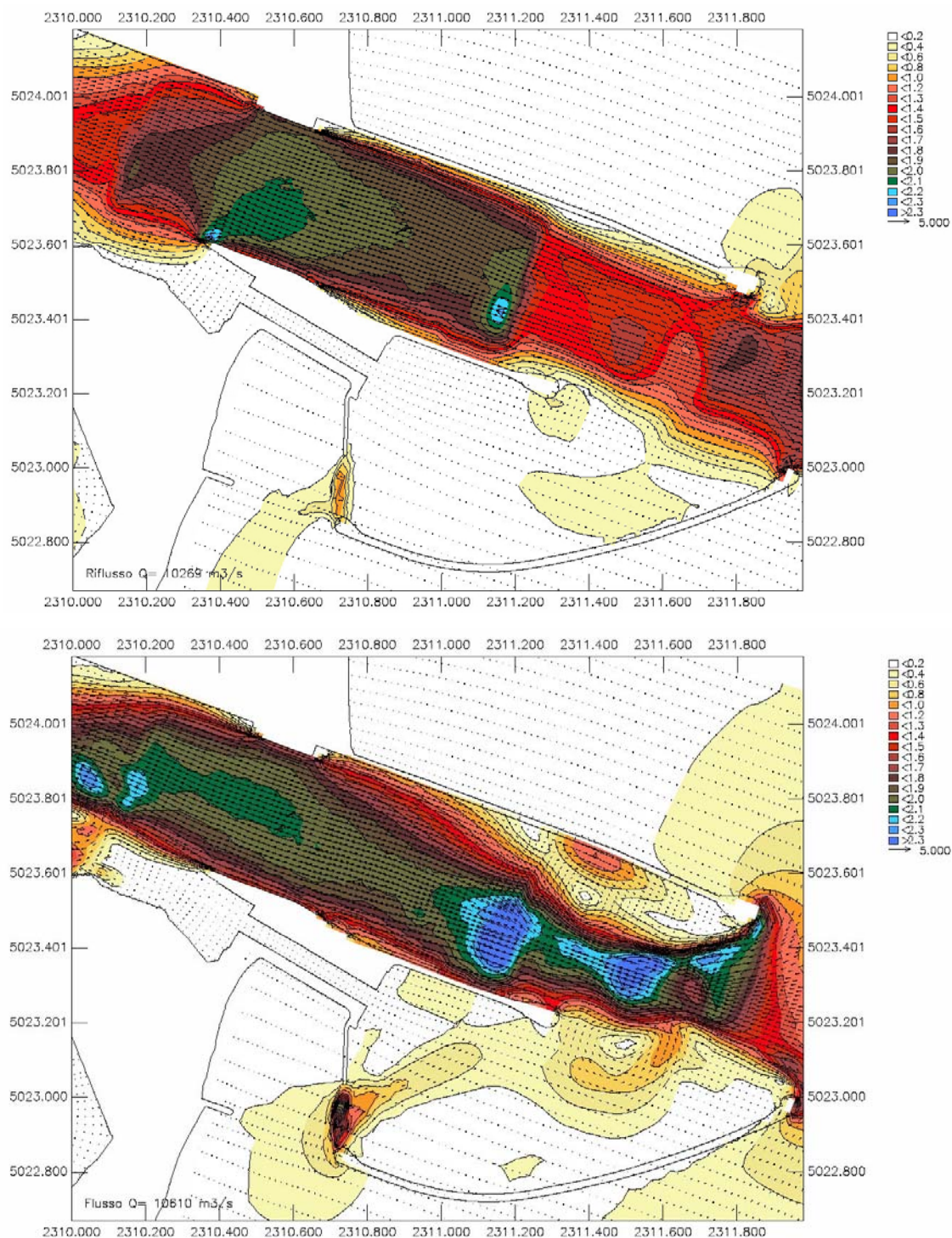


FIG. 4.11 - CAMPO DI VELOCITÀ IN PROSSIMITÀ DELLA BARRIERA DI MALAMOCCHO PER UN EVENTO CON PERIODO DI RITORNO  $T_r=100$  ANNI (SOPRA FLUSSO, SOTTO RIFLUSSO)



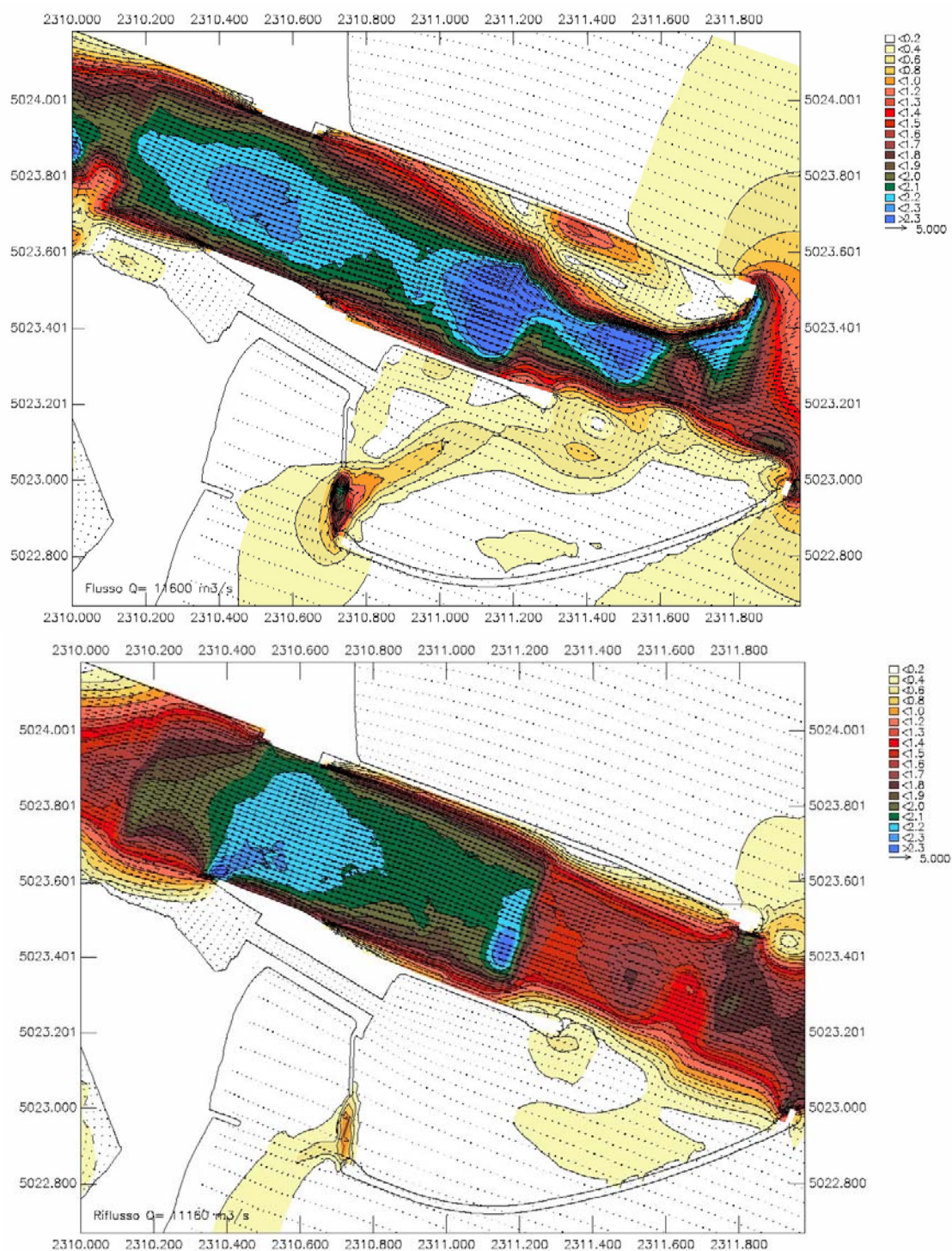



FIG. 4.12- CAMPO DI VELOCITÀ IN PROSSIMITÀ DELLA BARRIERA DI MALAMOCCHO PER UN EVENTO CON PERIODO DI RITORNO  $T_r=1000$  ANNI (SOPRA FLUSSO, SOTTO RIFLUSSO)

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 68
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Nell'ambito del presente progetto si è provveduto a valutare, in via preliminare, la bontà della correlazione tra gradiente e velocità massima della corrente nel ciclo di marea definita con il modello numerico, utilizzando le misure di corrente eseguite nell'ambito dello studio B.6.96/II con lo strumento descritto nel paragrafo 3.3.2.

Innanzitutto per poter trasferire le misure eseguite con l'ADCP alla sezione di barriera, è necessario definire il coefficiente di trasposizione da applicare alle misure per poter trasporre il dato alla barriera. Per tale operazione si sono utilizzati i campi di moto ottenuti con il modello idrodinamico *Delft3D* a moto vario nella configurazione finale con gli interventi ipotizzando che la velocità nella posizione dell'ADCP non varia fra la situazione delle opere al momento della misura e la situazione con gli interventi finali. Nel caso in esame il coefficiente di trasposizione è risultato pari a 1.

Successivamente, dalla nuova serie di dati di velocità, si sono estratti i valori massimi (in modulo) nel ciclo di marea e sono stati diagrammati in funzione del gradiente medio di marea corrispondente registrato a Punta della Salute.

Il campione dei gradienti è stato suddiviso in classi di ampiezza di 1cm/h, per ogni classe compresa tra 7 e 15 cm/h è stata eseguita un'analisi statistica dei corrispondenti valori della velocità massima in barriera: la Fig. 4.13 riporta le regressioni lineari che interpolano i dati con diversa probabilità di superamento.

Si osserva che i valori di velocità valutati a partire dalla regressione delle misure in flusso risultano minori della relazione di progetto per valori del gradiente medio < 16 cm/h, in riflusso per valori < 14 cm/h. Di seguito si riportano, per diverse probabilità di superamento, i valori dei gradienti medi associati al valore limite di  $V_{cmax}=1.45\text{m/s}$  assunto per la posa dei cassoni di soglia.

MALAMOCCO		MISURE gradiente medio [cm/h] associato a Vcmax 1.45 m/s	
		FLUSSO	RIFLUSSO
		probabilità di non superamento	
50%	14		13.5
90%	12		11.5
95%	11.5		11

TAB. 4.1 - ANALISI STATISTICA DELLA RELAZIONE TRA IL GRADIENTE MEDIO DI MAREA E LE MISURE DI VELOCITÀ DELLA CORRENTE

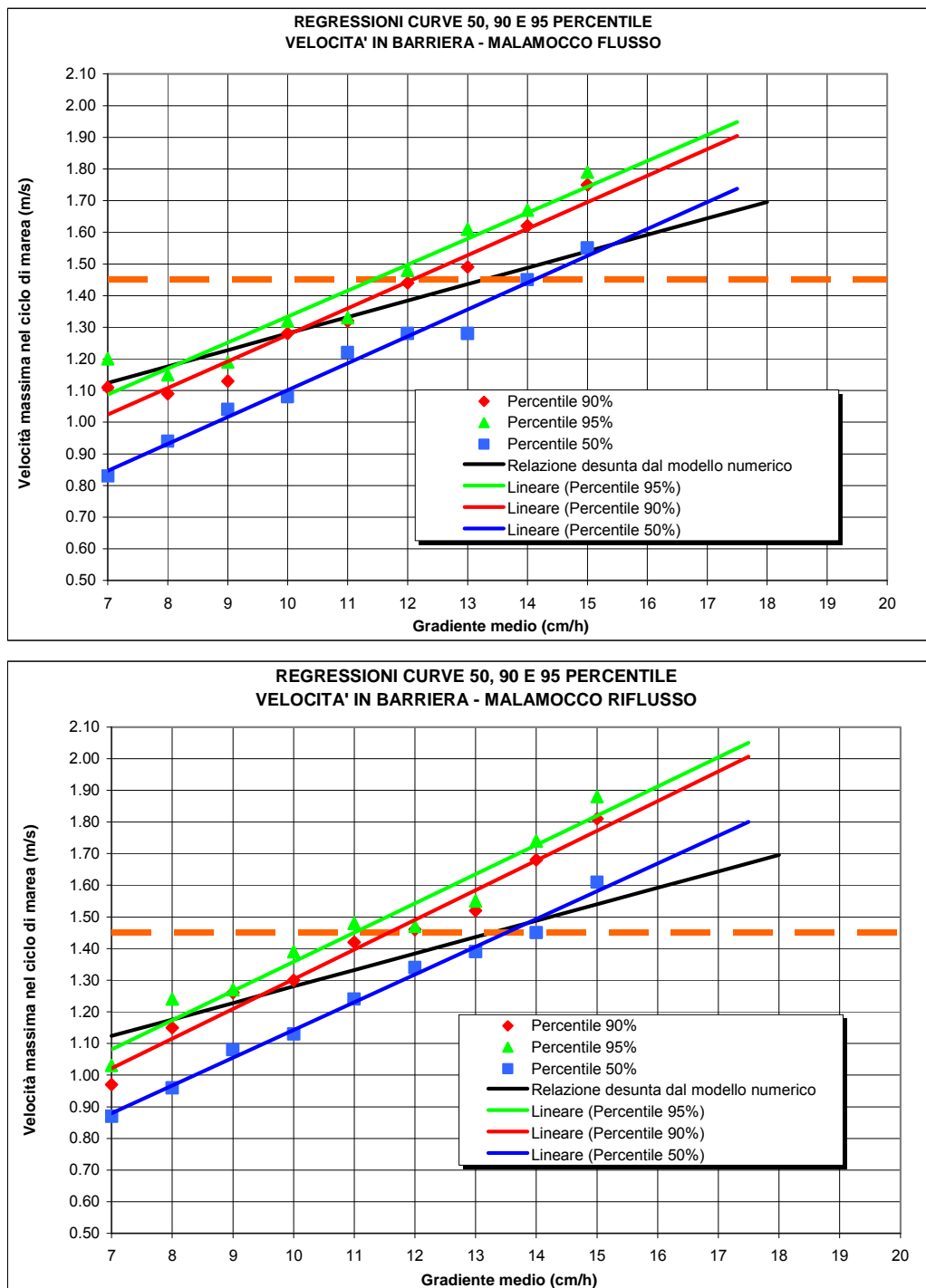



FIG. 4.13 - BOCCA DI MALAMOCCO: VELOCITÀ MISURATA (MEDIA SULLA VERTICALE) CON FATTORE DI TRASPOSIZIONE – REGRESSIONI CURVE 50,90 E 95 PERCENTILE IN FLUSSO (SOPRA) E RIFLUSSO (SOTTO)

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 70
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## 5. TEMPERATURA SALINITA' E DENSITA' DELL'ACQUA DI MARE

Per un arco di tempo di circa due anni a partire dal dicembre 1988 sono stati raccolti ed elaborati i dati di temperatura e salinità dell'acqua in corrispondenza della bocche. Le misure sono state effettuate mediante strumenti posizionati sul fondale con cadenza di acquisizione oraria.


Più recentemente sono state eseguite alcune campagne di misura in cui si sono acquisite con continuità, tra l'altro, la temperatura e la salinità dell'acqua all'interno delle bocche. Inoltre nell'ambito dello studio C.2.2/VII [Rif. 8] sono state eseguite misure a diverse profondità per indagare su una possibile variazione di tali parametri lungo la verticale.

### 5.1. Temperatura dell'acqua di mare

Di seguito si riporta la distribuzione mensile dei valori della temperatura dell'acqua registrata in corrispondenza della bocca di Malamocco.

MESE	Tmax °C	Tmin °C	Tmed °C
<b>Gen.</b>	10	4	7
<b>Feb.</b>	10	1	6
<b>Mar.</b>	13	6	10
<b>Apr.</b>	15	11	13
<b>Mag.</b>	22	13	17
<b>Giu.</b>	25	18	21
<b>Lug.</b>	26	18	23
<b>Ago.</b>	27	22	24
<b>Sett.</b>	25	19	22
<b>Ott.</b>	21	10	17
<b>Nov.</b>	18	7	13
<b>Dic.</b>	13	5	8

TAB. 5.1 - DISTRIBUZIONE MENSILE DELLA TEMPERATURA DELL'ACQUA ALLA BOCCA DI MALAMOCCHO

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 71
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Il massimo valore della temperatura è stato registrato ad agosto e risulta pari a circa 27°C, mentre la minima si è registrata in febbraio e risulta pari a circa 1°C.

I valori medi superano i 20°C nei mesi estivi (da giugno a settembre), mentre d'inverno (da dicembre a marzo) risultano inferiori ai 10°C.

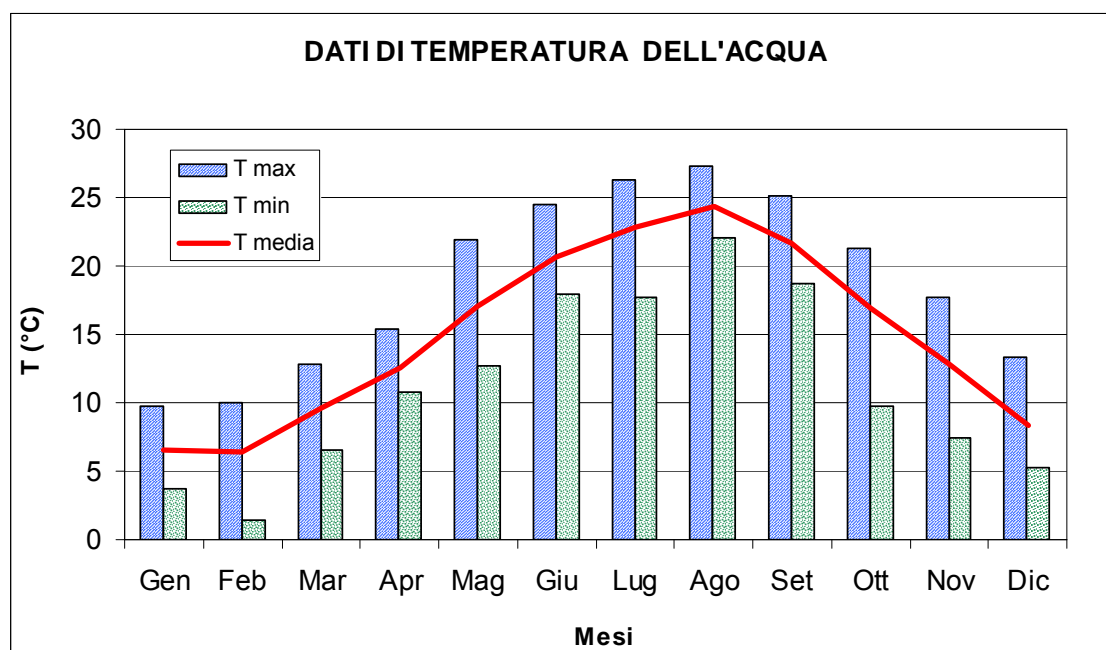


FIG. 5.1 - DISTRIBUZIONE MENSILE DELLA TEMPERATURA DELL'ACQUA ALLA BOCCA DI MALAMOCCO

## 5.2. Salinità

I valori della distribuzione mensile della salinità, espressa in psu, sono riportati nella Tab. 5.2 e diagrammati in Fig. 5.2.

La variabilità mensile dei valori massimi e minimi ha un'escursione contenuta entro i 10 psu: i valori massimi della salinità variano tra 40 e 50 psu, mentre quelli minimi variano tra i 23 e i 32 psu circa.

Il valore medio si mantiene pressoché costante nell'anno e pari a 38 psu.

MESE	Smax psu	Smin psu	Smed psu
Gen.	40.98	32.10	38.22
Feb.	43.50	29.38	37.96
Mar.	41.50	28.00	38.46
Apr.	46.76	20.73	37.86
Mag.	47.98	20.65	36.37
Giu.	48.46	32.30	37.97
Lug.	40.98	30.26	37.75
Ago.	44.95	23.18	37.23
Sett.	47.94	24.30	37.38
Ott.	48.91	29.43	37.59
Nov.	40.10	28.90	37.24
Dic.	47.06	28.20	37.62

TAB. 5.2 - DISTRIBUZIONE MENSILE DELLA SALINITÀ DELL'ACQUA ALLA BOCCA DI MALAMOCCO

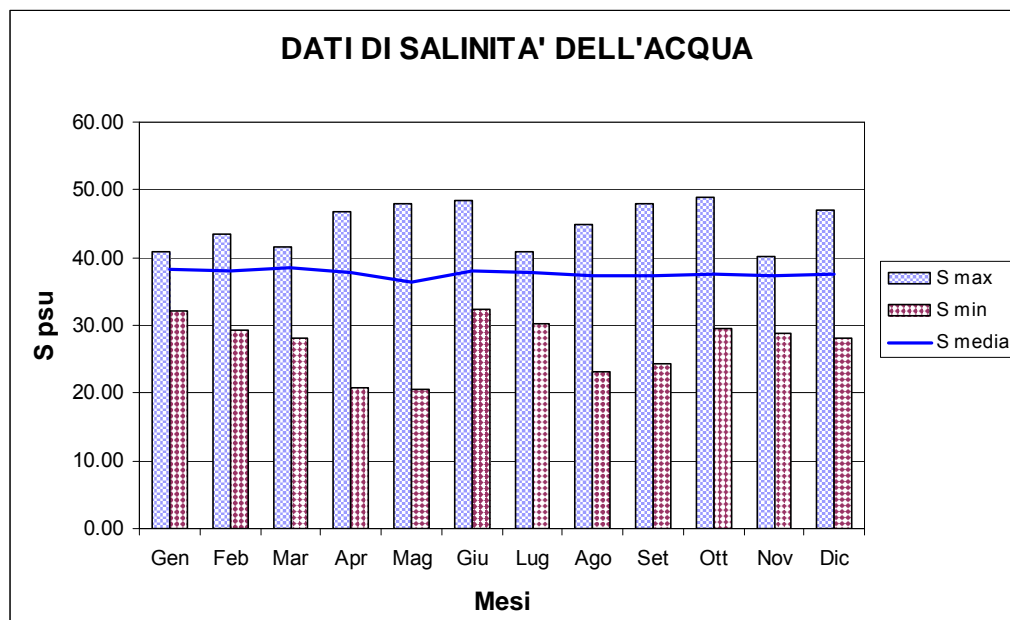



FIG. 5.2 - DISTRIBUZIONE MENSILE DELLA SALINITÀ DELL'ACQUA ALLA BOCCA DI MALAMOCCO



 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 73
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

### 5.3. Densità dell'acqua di mare

La valutazione della densità dell'acqua di mare alla bocca di Malamocco è stata effettuata a partire dalle registrazioni di temperatura e salinità, data la limitata profondità alla bocca, il calcolo è stato effettuato trascurando l'incremento di densità legato all'aumento di pressione dovuto alla colonna d'acqua [Rif. 11].

A titolo di esempio la figura seguente mostra le isopicniche (curve a densità costante) espresse in  $\text{kg/m}^3$  nel caso di temperatura dell'acqua variabile tra  $0^\circ$  e  $29^\circ\text{C}$  e salinità variabile tra 20 e 50 PSU.

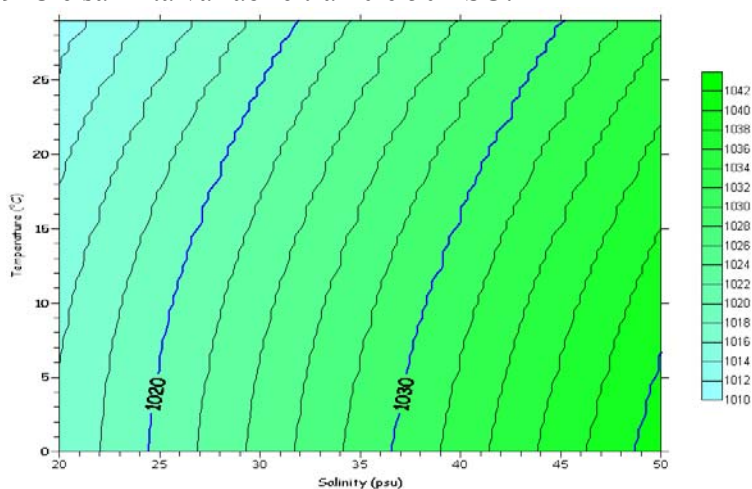


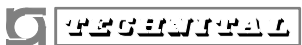
FIG. 5.3 - CURVE A DENSITA' COSTANTE ( $\text{kg/m}^3$ ) IN FUNZIONE DELLA SALINITA' E DELLA TEMPERATURA DELL'ACQUA DI MARE

L'analisi dei dati acquisiti alla -8.5m nel periodo 2003-2007 mostra che in generale la temperatura e la salinità dell'acqua variano poco con la marea e di conseguenza anche la densità. Esistono tuttavia dei periodi in cui si osserva un sensibile decremento della salinità con marea uscente ed un conseguente decremento della densità dell'acqua. Con molta probabilità tale circostanza si verifica in concomitanza con gli eventi di pioggia ed è dovuto all'apporto di acque dolci in laguna da parte dei corsi d'acqua in essa affluenti.

In tal caso le variazioni di densità durante un ciclo di marea risultano al massimo dell'ordine dei  $5 \text{ kg/m}^3$ .

In assoluto i valori di temperatura e salinità registrati nel periodo in esame comportano una variabilità della densità compresa tra  $1020$  e  $1028 \text{ kg/m}^3$ , con valor medio pari a  $1024 \text{ kg/m}^3$ .

Per quanto riguarda la variabilità lungo la verticale è stata registrata una variabilità molto ridotta, mediamente dell'ordine di  $2 \text{ kg/m}^3$ .

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 74
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## 6. TEMPERATURA E UMIDITÀ ARIA


Sono stati raccolti ed elaborati i dati di temperatura dell'aria ed umidità relativa registrati alla stazione meteorologica dell'Istituto Bioclimatologico del Lido (lat. N 45°26', long. E 12°19'25") con intervallo di acquisizione di 1 ora per il periodo 1978-1987.

### 6.1. Temperatura dell'aria

La Tab. 6.1 contiene i valori della temperatura massima e minima mensile e dell'umidità dell'aria associata, mentre la Fig. 6.1 riporta, sempre su base mensile, i valori medi dei due parametri.

MESE	Tmax °C	U %	Tmin °C	U %
<b>Gen.</b>	13.20	47.00	-9.20	64.00
<b>Feb.</b>	17.70	34.00	-5.20	77.00
<b>Mar.</b>	18.10	38.00	-4.80	56.00
<b>Apr.</b>	20.80	44.00	0.50	82.00
<b>Mag.</b>	27.10	60.00	6.00	78.00
<b>Giu.</b>	30.40	50.00	10.90	85.00
<b>Lug.</b>	32.40	70.00	12.40	100.00
<b>Ago.</b>	34.80	45.00	11.20	80.00
<b>Sett.</b>	29.40	25.00	10.40	94.00
<b>Ott.</b>	24.00	50.00	3.80	68.00
<b>Nov.</b>	21.10	74.00	-1.80	74.00
<b>Dic.</b>	14.00	95.00	-5.00	81.00

TAB. 6.1 - VALORI DELLA TEMPERATURA MASSIMA E MINIMA MENSILE E CORRISPONDENTI VALORI DELL'UMIDITÀ RELATIVA (DATI ISTITUTO BIOCLIMATOLOGICO DEL LIDO PERIODO 1978-1987)

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 75
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Come evidenziato nella Fig. 6.1 il massimo valore della temperatura è stato registrato ad agosto e risulta pari a circa 35°C, mentre la minima si è registrata in gennaio e risulta pari a circa -9.°C.

I valori medi superano i 20°C nei mesi estivi (da giugno a settembre), mentre d'inverno (da dicembre a febbraio) risultano inferiori ai 5°C.

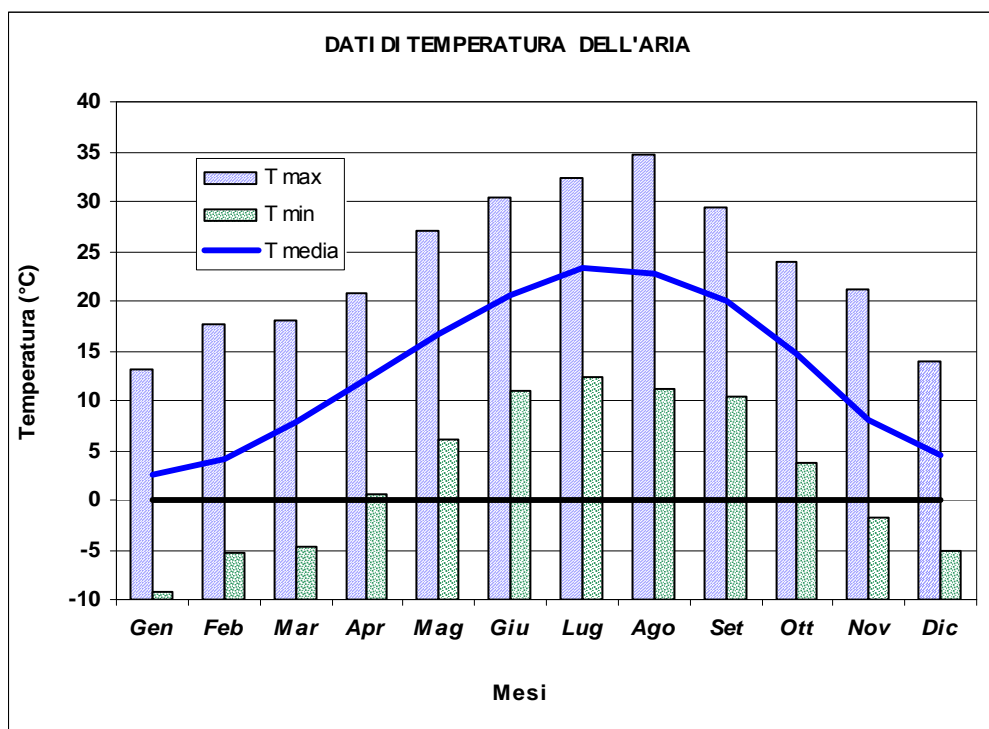



FIG. 6.1 - VALORI DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA SU BASE MENSILE (DATI ISTITUTO BIOCLIMATOLOGICO DEL LIDO PERIODO 1978-1987)


 <b>PROGETTA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 76
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## 6.2. Umidità dell'aria

L'umidità media mensile varia dal 76%, in luglio, al 87% in dicembre come indicato in Tab. 6.2.

<b>MESE</b>	<b>Tmed °C</b>	<b>Umed %</b>
<b>Gen.</b>	2.63	82.74
<b>Feb.</b>	4.08	80.58
<b>Mar.</b>	7.89	82.67
<b>Apr.</b>	12.06	79.91
<b>Mag.</b>	16.59	80.14
<b>Giu.</b>	20.61	78.87
<b>Lug.</b>	23.26	76.34
<b>Ago.</b>	22.73	77.45
<b>Sett.</b>	19.97	81.09
<b>Ott.</b>	14.78	84.14
<b>Nov.</b>	8.13	85.08
<b>Dic.</b>	4.57	87.12

TAB. 6.2 - VALORI MEDI MENSILI DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA E DELL'UMIDITÀ RELATIVA (DATI ISTITUTO BIOCLIMATOLOGICO DEL LIDO PERIODO 1978-1987)

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 77
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## 7. AZIONI DEL MOTO ONDO SO SUL CASSONE DI SPALLA

### 7.1. Premessa

Il presente capitolo contiene la descrizione della metodologia utilizzata per la stima delle azioni dinamiche dovute al moto ondoso sul cassone di spalla nord della barriera di Malamocco da utilizzarsi nelle verifiche di stabilità e della resistenza strutturale dell'opera. In particolare verrà illustrata la metodologia per definire il quantitativo di zavorra minimo per la fase di appoggio temporaneo e i diagrammi di distribuzione delle sovrappressioni dovute al passaggio dell'onda di progetto sia nella fase di costruzione della barriera che in quella di esercizio.


Il cassone di spalla della barriera di Malamocco, dal punto di vista del comportamento idraulico, rientra nella tipologia delle dighe a parete verticale destinate a riflettere l'onda incidente (ovvero a creare dinanzi all'opera un processo di moto stazionario). Come indicato nel paragrafo 3.3.2 delle "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" [Rif. 12] la condizione necessaria per la stazionarietà dell'onda di fronte alla parete verticale è che l'altezza libera della parete misurata sotto il livello dell'acqua ( $d$ ) si mantenga sempre superiore o pari a  $1.5H$  (con  $H=H_{1/100}=1.67H_s$ ). Tale condizione è sempre verificata per la spalla nord di Malamocco, per la quale  $d=14m$  e, come si può dedurre dalla Tab. 3.9,  $\max [H(Tr=1000 \text{ anni})] = 1.67 \cdot 2.7 = 4.5m$  (e quindi  $d > 1.5H = 6.8m$ ).

Il calcolo delle azioni risultanti dovute alle onde può quindi essere effettuato facendo riferimento al diagramma di pressioni valido in condizioni di moto ondoso regolare cilindrico definito dalla teoria di Sainflou linearizzata assumendo, per l'altezza  $H$  il valore  $H_{1/20}=1.40 \cdot H_s$  per le verifiche in fase di cresta ed il valore  $H_{1/100}=1.67H_s$  per le verifiche in fase di cavo, per il periodo d'onda il valore di  $T_s$  (periodo caratteristico delle onde più alte).

La particolarità dei cassoni di spalla delle barriere, rispetto alle dighe a parete comunemente utilizzate nelle opere di difesa costiera, risiede nella diversa incidenza di attacco del moto ondoso sulla struttura.

Di norma infatti l'attacco del moto ondoso è perpendicolare e quindi il calcolo dell'azione orizzontale risultante sulla struttura viene effettuato moltiplicando la risultante verticale del diagramma di pressioni su di una fascia di larghezza unitaria (in caso di cresta o cavo) per la lunghezza della struttura stessa. Nel caso dei cassoni di spalla, invece, il fronte d'onda è parallelo alla struttura o la incide con un angolo modesto e la lunghezza della struttura è confrontabile con quella delle lunghezze d'onda in gioco.

Rispetto al caso di attacco ortogonale (per cui l'angolo  $\beta$  tra la normale alla struttura e la direzione di incidenza dell'onda risulta pari a  $0^\circ$ ), l'effetto di un attacco obliquo sulla risultante orizzontale agente sul cassone è duplice [Rif. 13].

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 78
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Il primo effetto, chiamato “*point-pressure force reduction*” è quello di una riduzione della risultante delle pressioni integrate sulla verticale dovuta ad una riflessione obliqua dell’onda incidente.

Il secondo effetto, chiamato “*peak delay reduction*” è dovuto al fatto che i picchi di pressione non si verificano contemporaneamente lungo tutta l’estensione della struttura.

Nelle condizioni in cui la direzione di propagazione del treno d’onde non sia ortogonale alla parete riflettente ma formi rispetto alla sua normale un angolo  $\beta$  diverso da  $0^\circ$  si genera una riflessione obliqua comunemente indicata con il termine di *clapotis gaufré*.

L’altezza d’onda  $H$  del *clapotis gaufré* è correlata con l’altezza  $H_i$  dell’onda incidente mediante la seguente formula, funzione dell’angolo  $\beta$  tra la normale alla struttura e la direzione di incidenza, come indicato da Scarsi e Stura [Rif. 14]:

$$\xi = \frac{H}{H_i} \sqrt{4 \cos^2 \beta + \sin^2 \beta}$$

Pertanto l’effetto del “*point-pressure force reduction*” può essere tenuto in conto sostituendo al valore del *clapotis totale* ( $=2 \cdot H_i$ ), il valore del *clapotis gaufré* ( $=\xi \cdot H_i$ ). Nella seguente figura viene diagrammato il fattore di riduzione, dato dal rapporto tra il *clapotis gaufré* ed il *clapotis totale* ( $=\xi/2$ ), per diversi valori dell’angolo  $\beta$ .

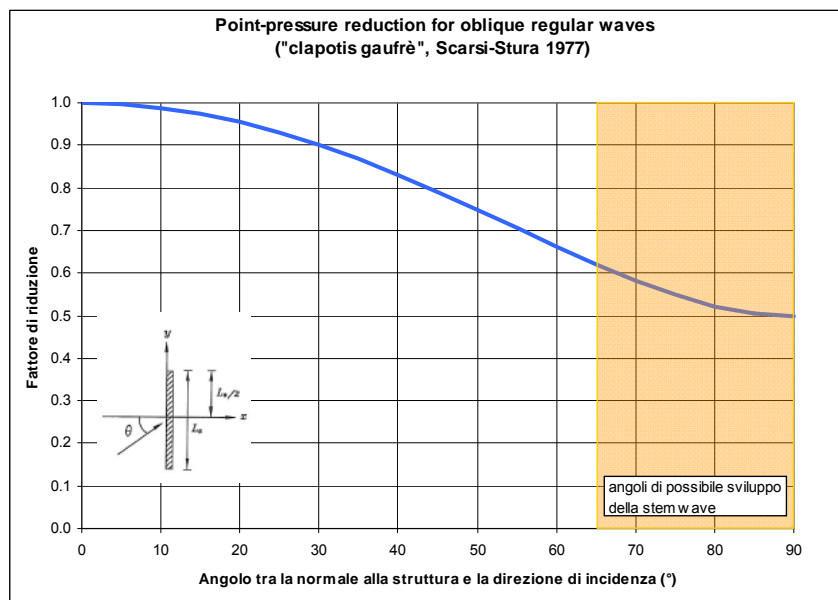



FIG. 7.1 - *POINT-PRESSURE FORCE REDUCTION* PER ONDE STAZIONARIE INCLINATE

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 79
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Tuttavia nel caso di onde debolmente inclinate (angolo  $\beta > 65^\circ$ ) è possibile che si instauri il fenomeno della *stem wave* per cui, in aggiunta alle onde incidenti e riflesse dalla parete, si manifesta una nuova onda che si propaga lungo la parete verticale. L'altezza della *stem wave* aumenta progressivamente lungo lo sviluppo della parete verticale e può raggiungere un valore pari al doppio dell'altezza d'onda incidente, in funzione della lunghezza della struttura rispetto alla lunghezza d'onda [Rif. 15]. In generale, perchè la *stem wave* possa svilupparsi completamente è necessario che la parete verticale abbia lunghezza pari a 5 volte la lunghezza dell'onda incidente.

Nel caso di onde regolari oblique non frangenti, il “*peak delay reduction*” può essere valutato con la formula di Battjes [Rif. 16] riportata nella seguente Fig. 7.2; in cui il fattore di riduzione è diagrammato in funzione del rapporto tra la lunghezza della struttura ( $L_s$ ) e la lunghezza d'onda locale ( $L$ ) corrispondente al periodo  $T$ . Si precisa che nell'esempio non è stato introdotto il “*point-pressure force reduction*”.

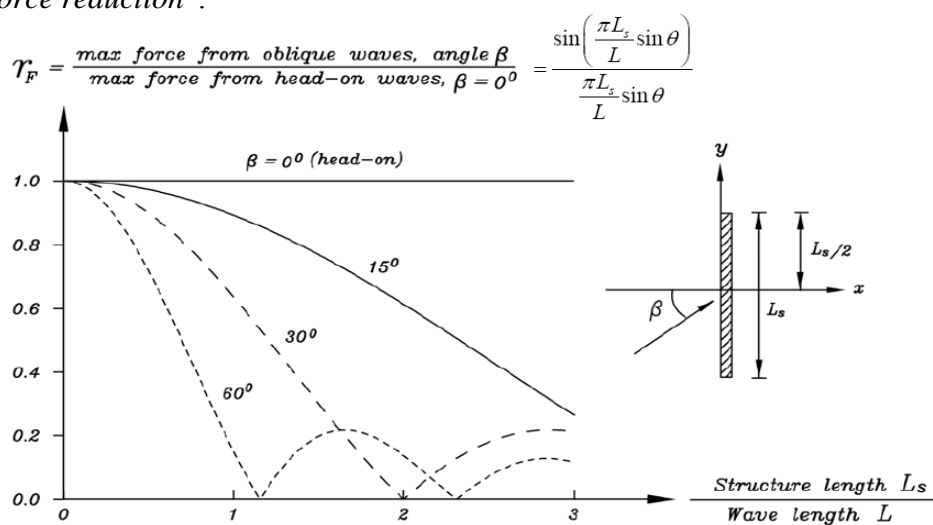


FIG. 7.2 - *PEAK-DELAY FORCE REDUCTION PER ONDE REGOLARI INCLINATE*

Nota la lunghezza ( $L_s$ ) della struttura e la profondità ( $d$ , costante) lungo cui si propaga l'onda è possibile diagrammare il coefficiente di riduzione in funzione del periodo della perturbazione monocromatica. Nel caso di Malamocco, per cui risulta  $L_s=63.2\text{m}$  e  $d=14\text{m}$ , si ottengono i valori diagrammati in Fig. 7.3.

Dalla Fig. 7.2 si osserva che, quando la proiezione della lunghezza della struttura sulla direzione di incidenza dell'onda ( $L_s \sin \beta$ ) è uguale ad un multiplo della lunghezza d'onda, la risultante orizzontale sulla struttura si annulla.

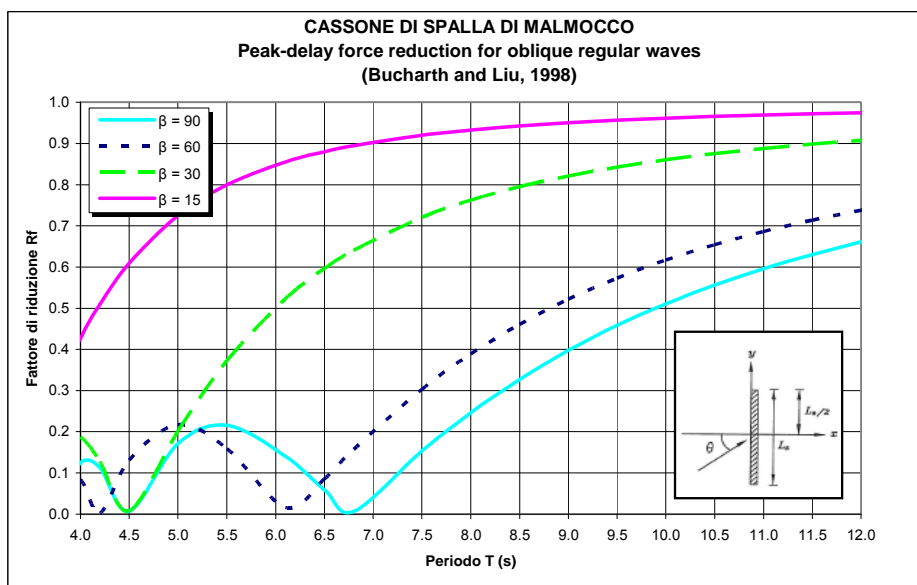


FIG. 7.3 - *PEAK-DELAY FORCE REDUCTION* PER IL CASSONE DI SPALLA DI MALAMOCCHO

Nel caso di onde irregolari oblique non frangenti, il “*peak delay reduction factor*” può essere valutato come suggerito da Burcharth e Liu [Rif. 17] sostituendo, nella formula di Battjes,  $L$  con  $L_p$  (lunghezza d’onda locale valutata a partire dal periodo di picco  $T_p$ ):

$$r_F(L_p, \theta) = \frac{\sin\left(\frac{\pi L_s}{L_p} \sin \theta\right)}{\frac{\pi L_s}{L_p} \sin \theta}$$

La differenza tra i 2 casi risiede solo nell’intorno dei valori di  $L_s / L$  per i quali il coefficiente di riduzione delle onde regolari si annulla (cioè per  $L_s \sin \beta = nL$ ); nel caso delle onde irregolari infatti ciò non accade mai, poichè sono costituite dalla sovrapposizione lineare di componenti di diverso periodo, come si può osservare nell’esempio di Fig. 7.4. Per questo motivo il fattore di riduzione, nel caso di onde irregolari va limitato inferiormente dal valore 0.2.

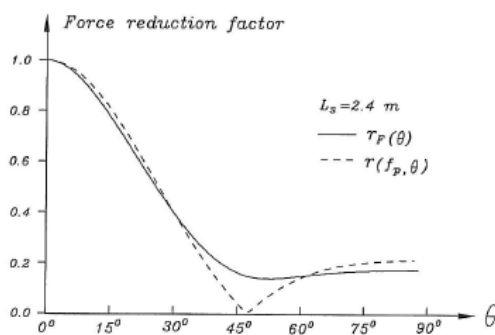



FIG. 7.4 - *CONFRONTO TRA IL PEAK-DELAY FORCE REDUCTION* PER ONDE REGOLARI E IRREGOLARI INCLINATE ( $H_s=0.16M$ ,  $T_p=12s$ ,  $D=0.3M$ ) AL VARIARE DELL’ANGOLO DI INCIDENZA



 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 81
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Durante la fase della costruzione della barriera le azioni del moto ondoso interessano tutte le facce del cassone, non solo quella sul lato canale. Quando il cassone di spalla viene posizionato all'interno del recesso di fondazione si trova circondato per tre dei suoi lati da un canale verticale di sezione rettangolare a superficie libera nel quale si propaga la perturbazione indotta dall'onda forzante transitante all'interno del canale di bocca e che investe direttamente il quarto lato del cassone, come indicato nello schema della figura seguente. Inoltre la continuità idraulica al di sotto del cassone nel fase di appoggio temporaneo su pins mette in comunicazione l'intero fondo del recesso, così da trasmettere la variazione di pressione dovuta alla variazione locale della superficie libera a tutto il resto del fondo del cassone. Pertanto nella fase di appoggio temporaneo le azioni dovute al moto ondoso non sono solo quelle che agiscono sulla faccia lato canale, ma quelle sull'intero perimetro del cassone.

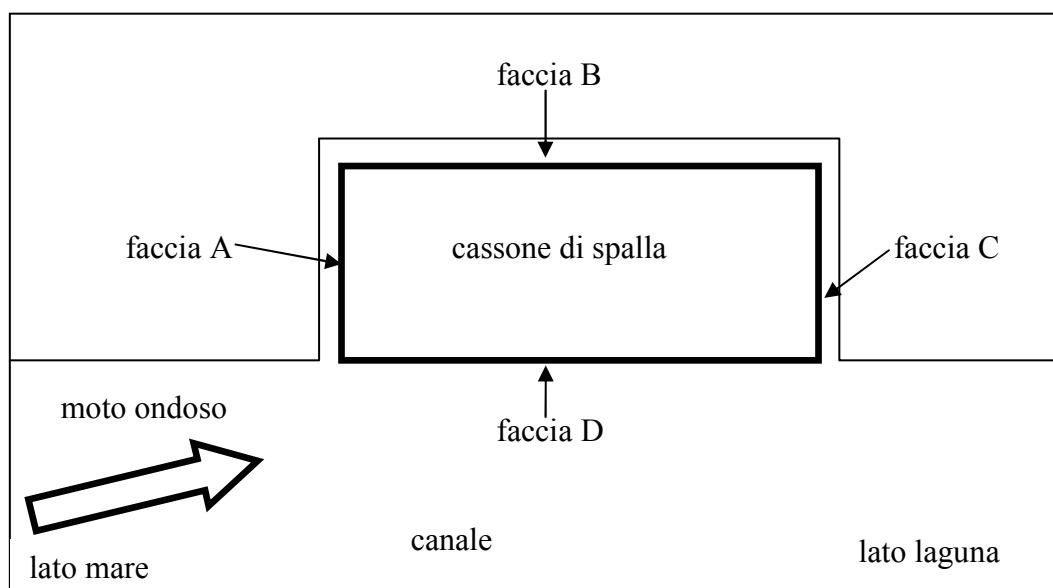



FIG. 7.5 - SCHEMA DEL CASSONE DI SPALLA ALL'INTERNO DEL RECESSO

Le azioni sul cassone nella fase di appoggio provvisorio sono state determinate sulla base dei risultati delle prove su modello fisico del cassone di spalla realizzato nell'ambito dello studio B.6.96/II come specificato di seguito.

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 82
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## 7.2. Il modello fisico del cassone di spalla nella fase di appoggio provvisorio

Per i cassoni di spalla la condizione di appoggio provvisorio su perni è stata analizzata nell'ambito dello Studio B.6.96/II ("Studio per il controllo della messa in opera del cassone di spalla mediante prove su modello fisico") [Rif. 18] e [Rif. 19].

### 7.2.1. Descrizione del modello fisico del cassone di spalla

Il modello del cassone di spalla in scala 1:15 è stato realizzato in un'area scoperta del Centro Sperimentale per Modelli Idraulici del Magistrato alle Acque di Voltabarozzo; il cassone di riferimento è quello della spalla Sud di Malamocco, avente dimensioni pari a 63.2 x 24.2 x 27.5m, con quota di estradosso alla +2.00m.

Il modello riproduce l'intera geometria tridimensionale del cassone di spalla posizionato all'interno del recesso, una porzione del canale di bocca comprendente, in senso trasversale, la trincea di alloggiamento dei cassoni di soglia e, in senso longitudinale, la parete verticale di accompagnamento della spalla, per una lunghezza di 180 m a monte del recesso e di 60 m a valle (Fig. 7.6 e Fig. 7.7).

Essendo prevista l'esecuzione di prove con diverse larghezze dei recessi, le opere civili del modello sono state realizzate in maniera da poter eseguire rapidamente e semplicemente le modifiche. Il modello del cassone di spalla è stato realizzato in modo da poterne variare l'altezza per poter riprodurre le differenti dimensioni verticali dei cassoni di spalla di San Nicolò e Chioggia.



FIG. 7.6 - PANORAMICA GENERALE DEL MODELLO FISICO

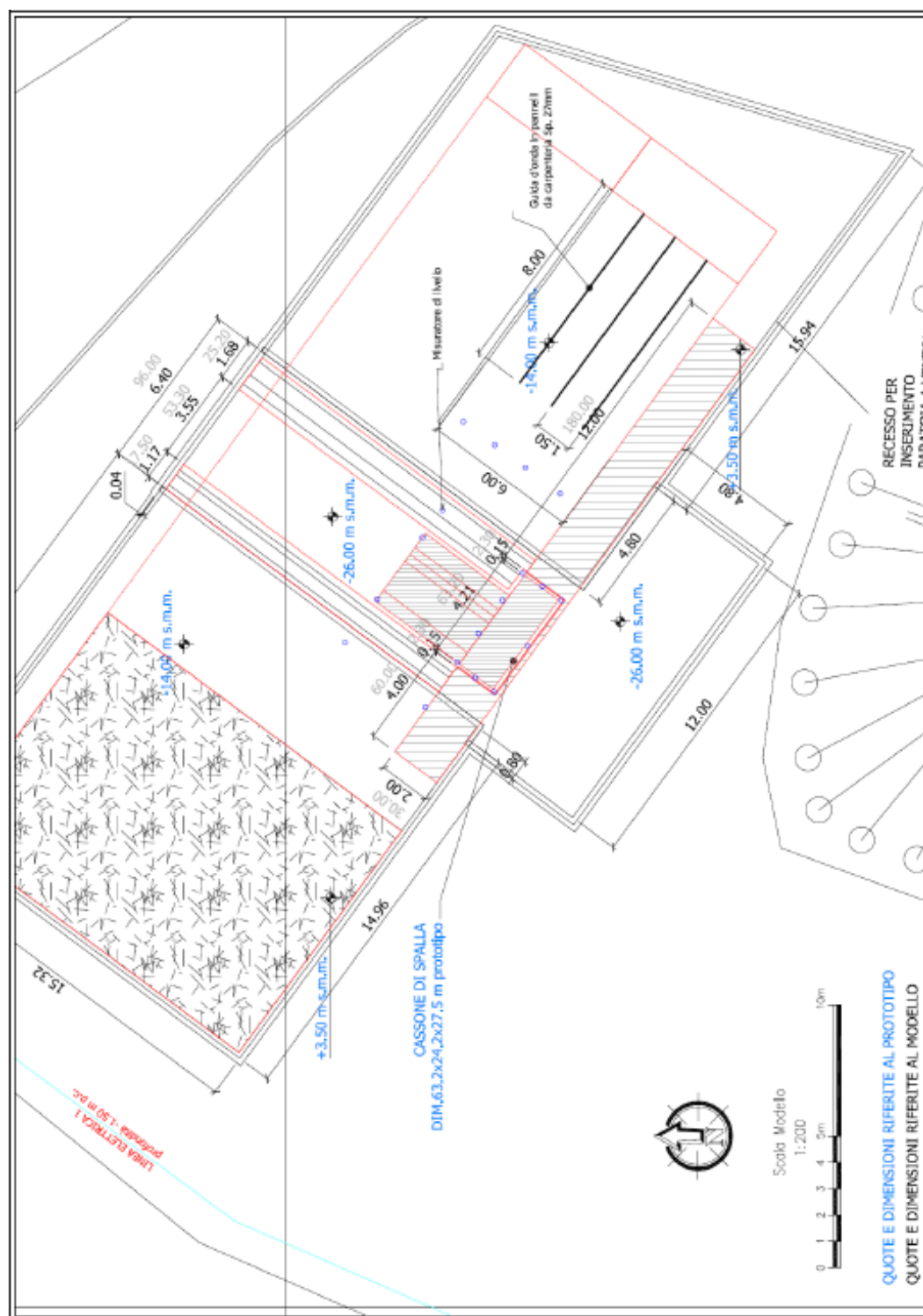



FIG. 7.7 - ALLESTIMENTO DEL MODELLO FISICO DEL CASSONE DI SPALLA IN SCALA 1:15

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 84
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Per la riproduzione del moto ondoso sono stati utilizzati dei generatori d'onda del tipo a pistone a movimento orizzontale disposti, nel corso delle varie prove, in due distinte posizioni in modo da poter riprodurre eventi con direzione di incidenza sia parallela all'asse della bocca, sia ruotata di 20°.

Per il rilievo del moto ondoso sono state utilizzate 18 sonde di tipo capacitivo a carica iniettata, di cui 8 disposte all'interno della vasca di prova per il controllo delle caratteristiche dell'onda generata e le restanti 10 lungo il perimetro del cassone di spalla, come indicato in blu in Fig. 7.8.

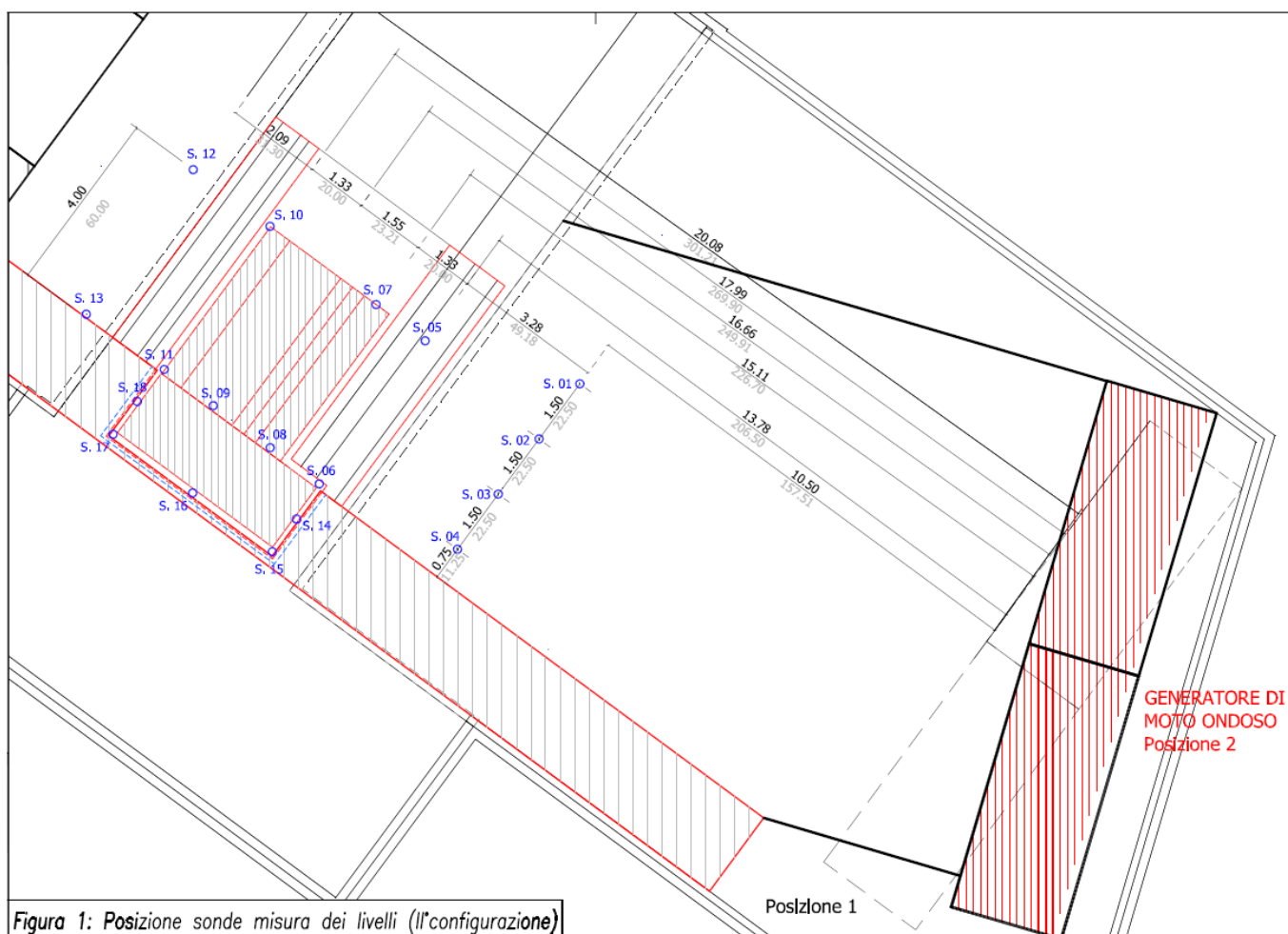



FIG. 7.8 - MODELLO FISICO DEL CASSONE DI SPALLA IN SCALA 1:15 – DISPOSIZIONE DELLE SONDE PER IL RILIEVO DEL MOTO ONDOSO (ONDA IN GENERIZIONE INCLINATA DI 20° RISPETTO ALL'ASSE DELLA BOCCA)

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 85
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Le prove hanno previsto la misura delle azioni dinamiche dovute alle onde che si propagano nel canale di bocca quando il cassone si trova all'interno del recesso in appoggio puntuale. Per la misura delle sollecitazioni, è stato utilizzato un sistema costituito da celle di carico a flessione connesse al cassone mediante bielle. Tale sistema garantisce la trasmissione delle sollecitazioni alla struttura, senza che il vincolo concorra ad assorbire, per attrito, la sollecitazione nelle direzioni mutuamente ortogonali. L'adozione di tale sistema di misura ha richiesto la realizzazione di un portale di sostegno, cui il modello del cassone risulta appeso per mezzo dell'assieme celle – bielle (Fig. 7.9).

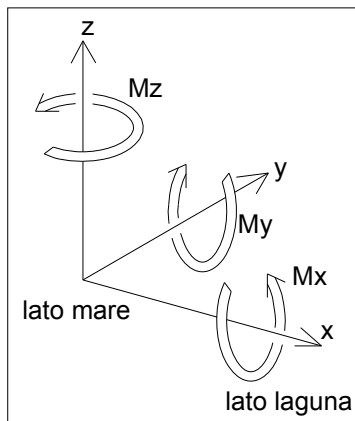
Per contro, la differente riproduzione del sistema di vincolo (che in prototipo è costituito da 4 appoggi su martinetti) comporta che, in alcune condizioni, si instaurino delle oscillazioni dell'intero sistema costituito dal cassone più il portale di sostegno. Tali oscillazioni inducono delle azioni idrodinamiche sul cassone che non si presentano in prototipo. Tuttavia è possibile individuare le frequenze di queste oscillazioni nel modello e dedurre il valore delle azioni attese nel prototipo mediante filtraggio dei segnali acquisiti nel corso delle prove.

Sulla superficie esterna del cassone sono stati disposti dei sensori di pressione di cui 10 lungo le superfici laterali del cassone alla quota di -9 m slmm, 4 sul fondo del cassone e i rimanenti disposti a diverse profondità (-2m slmm e -18 m slmm) in modo da misurare la variazione della pressione su alcune verticali. Le profondità indicate si riferiscono al tirante idrico di Malamocco.

La Fig. 7.10 illustra nella parte superiore la disposizione delle celle di misura delle sollecitazioni e le relative convenzioni di segno adottate, mentre nella parte inferiore viene riportata l'ubicazione dei sensori di pressione.

L'origine del sistema di riferimento delle azioni risultanti sul cassone è posta nel centro dell'impronta della fondazione (il centro della faccia E). Pertanto:

- il momento positivo lungo la direzione x tende a ribaltare il cassone verso il canale;
- il momento positivo lungo la direzione y tende a ribaltare il cassone verso la laguna;
- il momento positivo lungo la direzione z tende a ruotare il cassone in verso antiorario, nell'ipotesi di osservarlo dall'alto.







 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 86
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	



FIG. 7.9 - MODELLO FISICO DEL CASSONE DI SPALLA IN SCALA 1:15

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 87
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

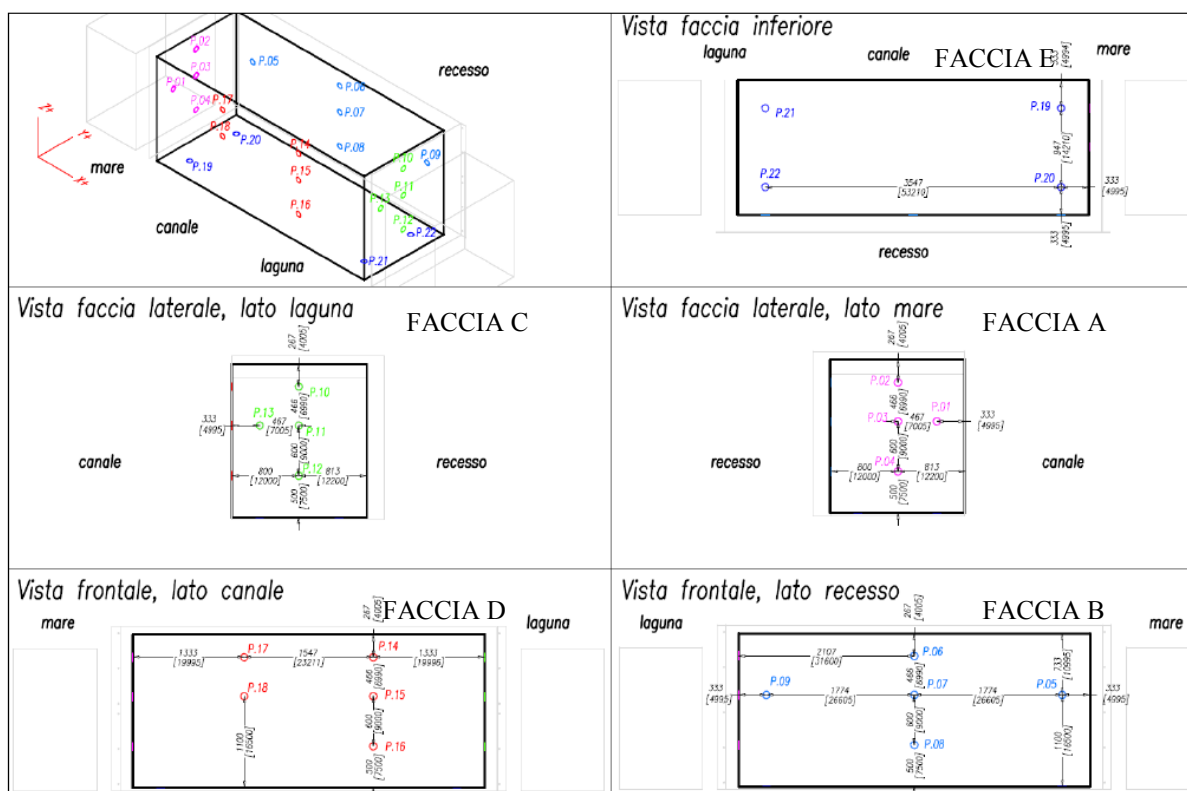
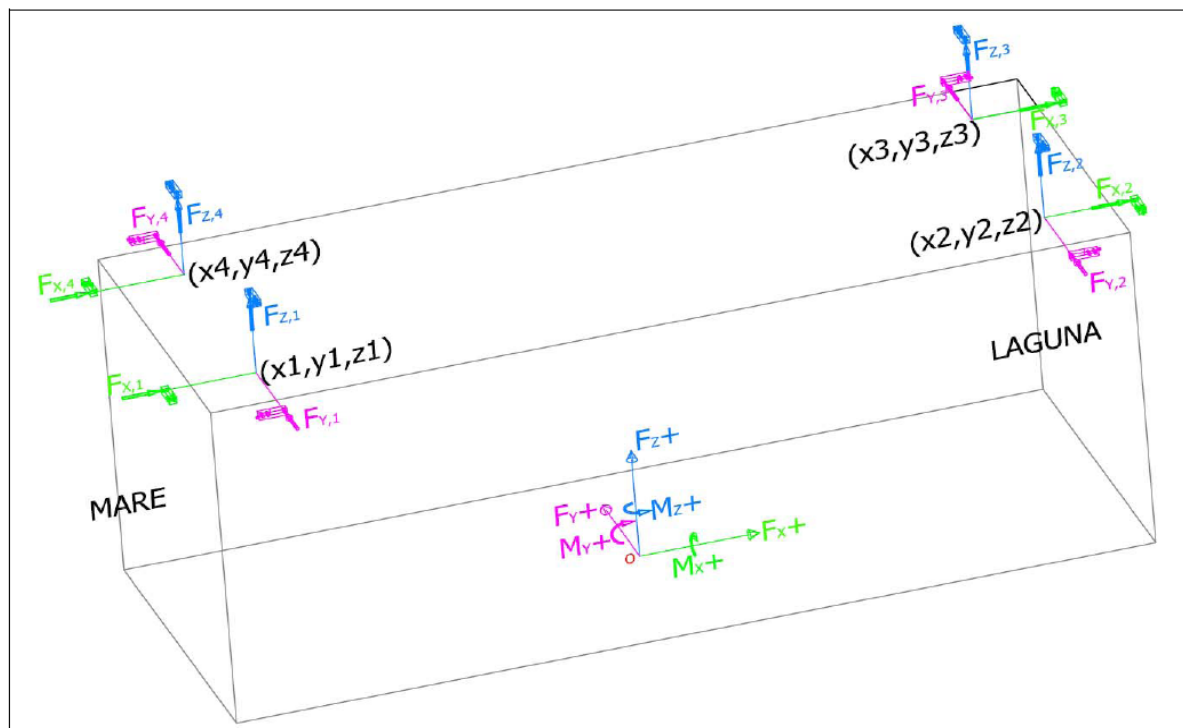



FIG. 7.10 - MODELLO FISICO DEL CASSONE DI SPALLA IN SCALA 1:15 – DISPOSIZIONE DELLE CELLE DI MISURA DELLE SOLLECITAZIONI (SOPRA) E DEI SENSORI DI PRESSIONE (SOTTO)

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 88
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

### 7.2.2. Prove eseguite e principali risultati conseguiti

Lo studio ha previsto l'esecuzione di 63 prove, con riproduzione di onde sia monocromatiche che policromatiche, caratterizzate da una distribuzione della densità di energia Jonswap standard, con direzione parallela all'asse di bocca e inclinata di 20°.

Per esaminare il problema nella sua complessità sono state considerate diverse configurazioni di tipo geometrico, riproducendo le dimensioni dei cassoni e le larghezze delle intercapedini dei cassoni di spalla sud di Malamocco, Chioggia e San Nicolò.

Alcune prove sono state eseguite con parziale chiusura dei recessi con l'obiettivo di verificare la riduzione del moto ondoso all'interno delle intercapedini e quindi delle azioni risultanti sul manufatto. In aggiunta sono state eseguite 3 prove con cassone bloccato per l'individuazione della frequenza propria di oscillazione del sistema riprodotto su modello fisico.


La geometria di riferimento adottata è stata quella del cassone di Malamocco per il quale si è eseguito il maggior numero di prove (47), variando le caratteristiche dell'onda incidente (Hs, Tp, direzione) e la configurazione dei recessi (come indicato in Fig. 7.11), di cui:

- 10 con onda monocromatica, parallela al canale, recessi aperti (R1);
- 11 con spettro Jonswap, onda parallela, recessi aperti (R1); di cui 2 in presenza del cassone di soglia adiacente;
- 1 con spettro Jonswap, onda parallela, chiusura recesso inferiore (R4);
- 6 con spettro Jonswap, onda parallela, recessi verticali chiusi sino alla -7m (R3);
- 6 con spettro Jonswap, onda parallela, recessi verticali chiusi sino al fondo trincea (R2);
- 4 con spettro Jonswap, onda inclinata di 20°, recessi aperti (R1); di cui 2 in presenza del cassone di soglia adiacente;
- 6 con spettro Jonswap, onda inclinata di 20°, recessi verticali chiusi sino alla -14m (R5); di cui 1 con chiusura solo recesso lato mare (R5m)
- 3 con spettro Jonswap, onda inclinata di 20°, recessi aperti (R1) e cassone bloccato

Nel corso delle prove con onda policromatica si sono riprodotte onde con altezza in generazione pari a 0.75m, 1.0m e 1.5m e periodo compreso tra 4.8s e 8.5s.

La Tab. 7.1 sintetizza le caratteristiche di tutte le prove eseguite.



 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 89
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

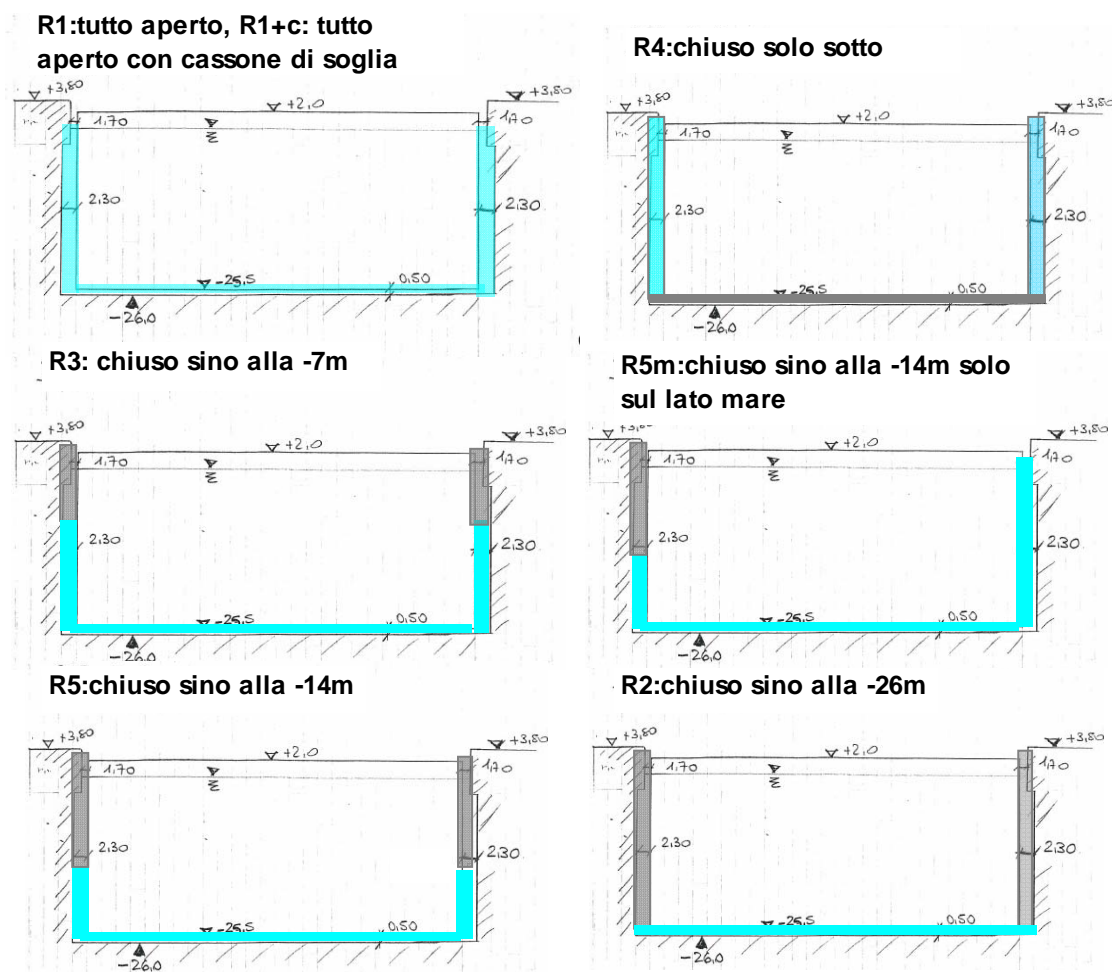
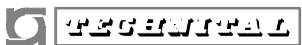



FIG. 7.11 - DIVERSE CONFIGURAZIONI DEI RECESSI ESAMINATE NEL MODELLO FISICO DEL CASSONE DI SPALLA SUD DI MALAMOCCO

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 90
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

GEOMETRIA CASSONE		codice	Nome	config. Recessi	cassone soglia	Hs [m]	Tp [s]	Dir [°]	livello [m]
CASSONE DI SPALLA MALAMOCCO SUD	PROVE CON ONDA REGOLARE PARALLELA	C2-01	Reg 047 100 00	R1	no	1.00	4.7	0	0.0
		C2-02	Reg 052 100 01	R1	no	1.00	5.2	0	0.0
		C2-03	Reg 056 100 02	R1	no	1.00	5.6	0	0.0
		C2-04	Reg 062 100 03	R1	no	1.00	6.2	0	0.0
		C2-05	Reg 067 100 04	R1	no	1.00	6.7	0	0.0
		C2-06	Reg 078 100 05	R1	no	1.00	7.8	0	0.0
		C2-07	Reg 085 100 06	R1	no	1.00	8.5	0	0.0
		C2-08	Reg 092 100 07	R1	no	1.00	9.2	0	0.0
		C2-09	Reg 100 100 08	R1	no	1.00	10.0	0	0.0
		C2-10	Reg 150 100 09	R1	no	1.00	15.0	0	0.0
	PROVE CON RECESSO APERTO (R1) E ONDA PARALLELA	C2-11	Jon 075 048 05pR1	R1	no	0.75	4.8	0	0.5
		C2-33	Jon 075 048 05pcR1	R1	SI	0.75	4.8	0	0.5
		C2-12	Jon 075 055 05pR1	R1	no	0.75	5.5	0	0.5
		C2-13	Jon 075 055 m05pR1	R1	no	0.75	5.5	0	-0.5
		C2-14	Jon 100 055 05pR1	R1	no	1.00	5.5	0	0.5
		C2-15	Jon 100 062 05pR1	R1	no	1.00	6.2	0	0.5
		C2-16	Jon 100 068 05pR1	R1	no	1.00	6.8	0	0.5
		C2-17	Jon 100 078 05pR1	R1	no	1.00	7.8	0	0.5
		C2-18	Jon 150 078 05pR1	R1	no	1.50	7.8	0	0.5
		C2-19	Jon 150 085 05pR1	R1	no	1.50	8.5	0	0.5
		C2-34	Jon 150 085 05pcR1	R1	SI	1.50	8.5	0	0.5
	RECESSO CHIUSO SINO ALLA -7 (R3)	C2-20	Jon 075 048 05pR3	R3	no	0.75	4.8	0	0.5
		C2-21	Jon 075 055 05pR3	R3	no	0.75	5.5	0	0.5
		C2-22	Jon 100 062 05pR3	R3	no	1.00	6.2	0	0.5
		C2-23	Jon 100 068 05pR3	R3	no	1.00	6.8	0	0.5
		C2-24	Jon 100 078 05pR3	R3	no	1.00	7.8	0	0.5
		C2-25	Jon 150 085 05pR3	R3	no	1.50	8.5	0	0.5
	RECESSO CHIUSO VERTICAL-MENTE (R2)	C2-31	Jon 075 048 05pR2	R2	no	0.75	4.8	0	0.5
		C2-26	Jon 075 055 05pR2	R2	no	0.75	5.5	0	0.5
		C2-27	Jon 100 062 05pR2	R2	no	1.00	6.2	0	0.5
		C2-28	Jon 100 068 05pR2	R2	no	1.00	6.8	0	0.5
		C2-29	Jon 100 078 05pR2	R2	no	1.00	7.8	0	0.5
		C2-30	Jon 150 085 05pR2	R2	no	1.50	8.5	0	0.5
	R4	C2-32	Jon 075 048 05pR4	R4	no	0.75	4.8	0	0.5
	ONDA INCLINATA DI 20° DIVERSE CONFIGURAZIONI DEI RECESSI	C2-35	Jon 075 048 05icR1	R1	SI	0.75	4.8	20	0.5
		C2-37	Jon 075 048 05iR1	R1	no	0.75	4.8	20	0.5
		C2-38	Jon 075 055 05iR1	R1	no	0.75	5.5	20	0.5
		C2-36	Jon 150 085 05icR1	R1	SI	1.50	8.5	20	0.5
		C2-39	Jon 075 048 05iR5m	R5m	no	0.75	4.8	20	0.5
		C2-40	Jon 075 048 05iR5	R5	no	0.75	4.8	20	0.5
		C2-41	Jon 075 055 05iR5	R5	no	0.75	5.5	20	0.5
		C2-42	Jon 100 062 05iR5	R5	no	1.00	6.2	20	0.5
		C2-43	Jon 100 068 05iR5	R5	no	1.00	6.8	20	0.5
		C2-44	Jon 150 085 05iR5	R5	no	1.50	8.5	20	0.5
	CAS-SONE BLOC-CATO	C2-61	Jon 075 048 05iR1 bloccato	R1	no	0.75	4.8	20	0.5
		C2-62	Jon 075 055 05iR1 bloccato	R1	no	0.75	5.5	20	0.5
		C2-63	Jon 100 062 05iR1 bloccato	R1	no	1.00	6.2	20	0.5
CHIOGGIA SUD	ONDA INCLINATA DI 20°	C2-45	Jon 075 048 05iRC1	RC1	no	0.75	4.8	20	0.5
		C2-46	Jon 075 055 05iRC1	RC1	no	0.75	5.5	20	0.5
		C2-47	Jon 075 048 m25iRC1	RC1	no	0.75	4.8	20	-2.5
		C2-48	Jon 075 055 m25iRC1	RC1	no	0.75	5.5	20	-2.5
		C2-49	Jon 075 048 m25iRC5	RC5	no	0.75	4.8	20	-2.5
		C2-50	Jon 075 055 m25iRC5	RC5	no	0.75	5.5	20	-2.5
		C2-51	Jon 100 068 m25iRC5	RC5	no	1.00	6.8	20	-2.5
		C2-52	Jon 150 085 m25iRC5	RC5	no	1.50	8.5	20	-2.5
BACINO APERTO SAN NICOLÒ SUD	ONDA INCLINATA DI 20°	C2-53	Jon 075 048 05iRSN1	RSN1	no	0.75	4.8	20	0.5
		C2-54	Jon 075 055 05iRSN1	RSN1	no	0.75	5.5	20	0.5
		C2-55	Jon 100 062 05iRSN1	RSN1	no	1.00	4.8	20	0.5
		C2-56	Jon 100 068 05iRSN1	RSN1	no	1.00	5.5	20	0.5
		C2-57	Jon 150 085 05iRSN1	RSN1	no	1.50	4.8	20	0.5
		C2-58	Jon 075 055 05iRSN3	RSN3	no	0.75	5.5	20	0.5
		C2-59	Jon 100 062 05iRSN3	RSN3	no	1.00	6.2	20	0.5
		C2-60	Jon 150 085 05iRSN3	RSN3	no	1.50	8.5	20	0.5

TAB. 7.1 - CARATTERISTICHE DELLE PROVE ESEGUITE SUL MODELLO FISICO DEL CASSONE DI SPALLA

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 91
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

In generale le prove con onda leggermente inclinata ( $20^\circ$ ) hanno evidenziato che l'altezza d'onda lungo il canale in prossimità del cassone raddoppia, in accordo con la teoria della stem wave per cui in caso di attacco debolmente obliquo ed in presenza di una parete verticale (in questo caso le strutture di sponda), l'onda che incide la parete via via aumenta sino a raggiungere il suo massimo dopo circa 5 lunghezze d'onda.

Il fenomeno (Mach effect) è stato confermato anche dalle analisi appositamente eseguite con modello numerico di diffrazione.

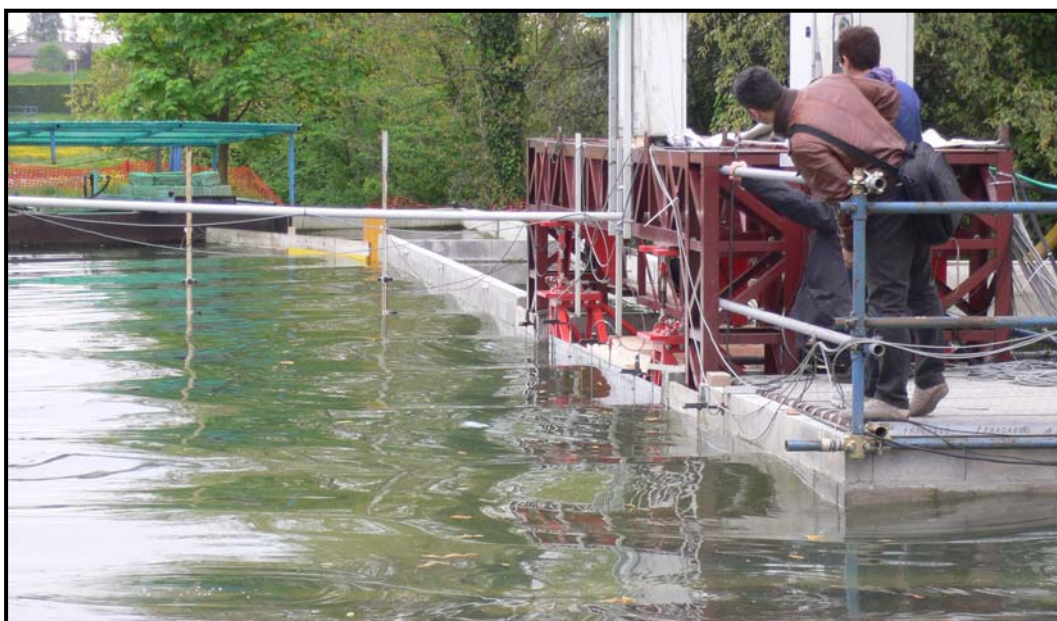


FIG. 7.12 - MODELLO FISICO DEL CASSONE DI SPALLA IN SCALA 1:15 – FORMAZIONE DELLA *STEM WAVE* NEL CASO DI ATTACCO INCLINATO ( $20^\circ$ ) DEL MOTO ONDOSO

All'interno del recesso l'onda presenta un andamento molto simile rispetto al caso con onda parallela e pari  $T_p$ , evidenziando una dipendenza lineare dell'onda all'interno rispetto a quella all'esterno.

Tale comportamento è stato osservato anche nel caso di onde parallele al canale, a parità di  $T_p$  e variandone  $H_s$ .

A titolo di esempio in Fig. 7.13 si riporta l'andamento di  $H_s$  lungo il perimetro del cassone per  $T_p=5.5s$  e configurazione R1 dei recessi. In alto si riporta il confronto con onda parallela tra il caso  $H_{s\text{ generazione}}=0.75m$  (a colori) e  $H_{s\text{ generazione}}=1.0m$  moltiplicando le altezze per il fattore 0.75 (in nero). Al centro è riportato il confronto tra onda inclinata con  $H_{s\text{ generazione}}=0.75m$  (a colori) e onda parallela  $H_{s\text{ generazione}}=0.75m$  moltiplicando le altezze per il fattore 2 (in nero).

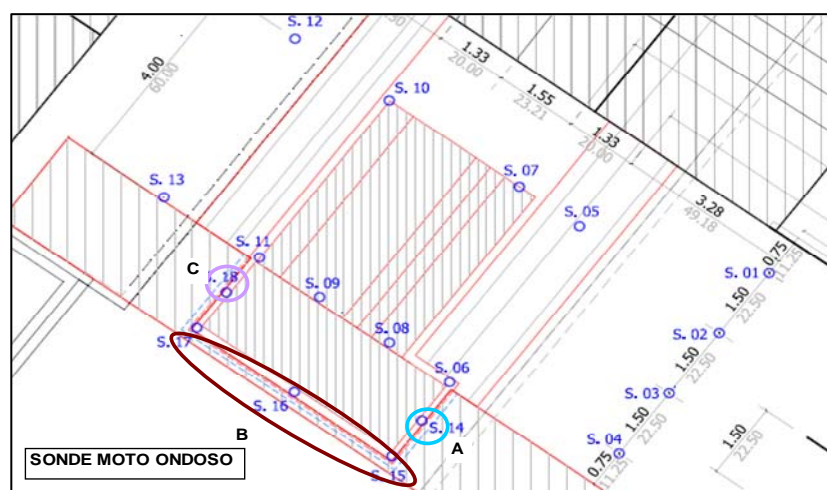
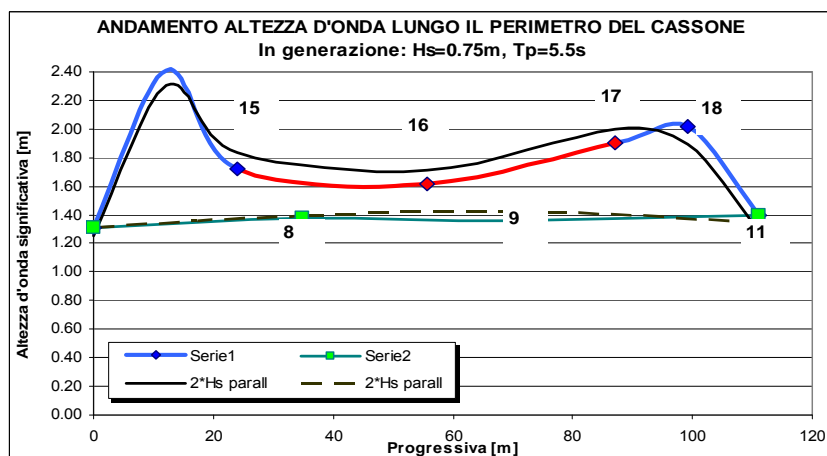
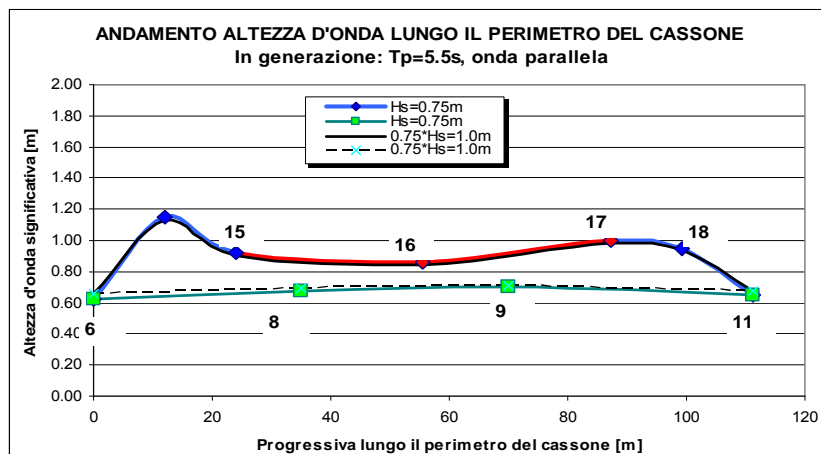



FIG. 7.13 - ANDAMENTO DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA LUNGO IL PERIMETRO DEL CASSONE ( $T_p = 5.5$  s e CONFIGURAZIONE R1)

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 93
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

I numeri nei grafici si riferiscono alle sonde di misura del moto ondoso, posizionate in corrispondenza di:

- Lato lungo verso il canale (lato D), sonde: 6, 8, 9 e 11
- Lato lungo interno (lato B), sonde: 15, 16 e 17
- Mezzeria lato corto verso mare (lato A): sonda 14
- Mezzeria lato corto verso laguna (lato C): sonda 18

Per quanto riguarda la propagazione dell'onda all'interno del recesso si sono esaminati i valori di Hs registrati nelle prove dalle sonde di moto ondoso disposte lungo il perimetro del cassone e si è valutato il coefficiente di amplificazione di Hs all'interno del recesso rispetto a quella sul lato canale (calcolata come media delle sonde 6, 8, 9 e 11).

I risultati delle prove con onda parallela al canale sono diagrammati in Fig. 7.14 suddivisi in funzione del periodo dell'onda incidente. Si osserva quanto segue:

- Lati corti: nel caso di recesso aperto per  $T_p=4.8s$ , si ha un'amplificazione di 1.3 volte, per gli altri periodi è compresa tra 1.7 e 2. Le chiusure verticali portano ad una riduzione del moto ondoso molto simile nei 3 casi, tuttavia sembra più efficace la chiusura meno profonda (in generale la R3, per  $T_p=4.8s$  la R5).
- Lato lungo: nel caso di recesso aperto per  $T_p$  sino a 6.2s si ha un'amplificazione di 1.4-1.5 volte, per periodi maggiori è di 2 volte e più. Ad esclusione del caso  $T_p=4.8s$  per il quale la configurazione R5 sembra decisamente la più efficace, per gli altri periodi sembra preferibile la R3. La chiusura sino al fondo della trincea è quella meno efficace, probabilmente perchè tende ad intrappolare l'energia entrata.

Risultati analoghi sono stati ottenuti nelle prove con onda inclinata di  $20^\circ$  (Fig. 7.15).

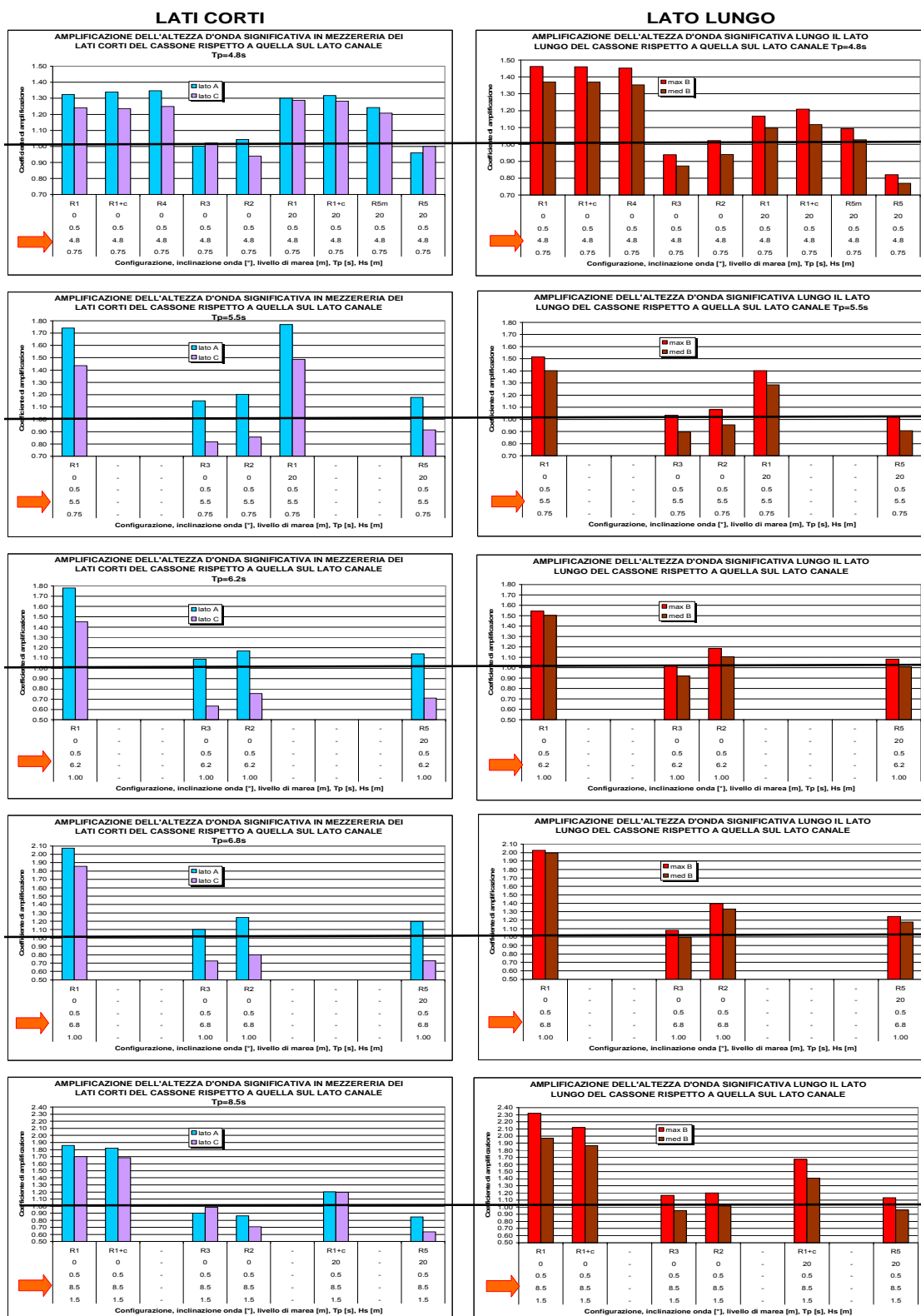


FIG. 7.14 - AMPLIFICAZIONE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA LUNGO I LATI INTERNI DEL CASSONE RISPETTO A QUELLA SUL LATO CANALE NELLE PROVE CON ONDA PARALLELA. A SINISTRA: IN MEZZERIA DEI LATI CORTI DEL CASSONE (A E C), A DESTRA: SUL LATO LUNGO (B). RISULTATI STUDIO B.6.96/II RELATIVI AL CASSONE DI SPALLA SUD DI MALAMOCCO

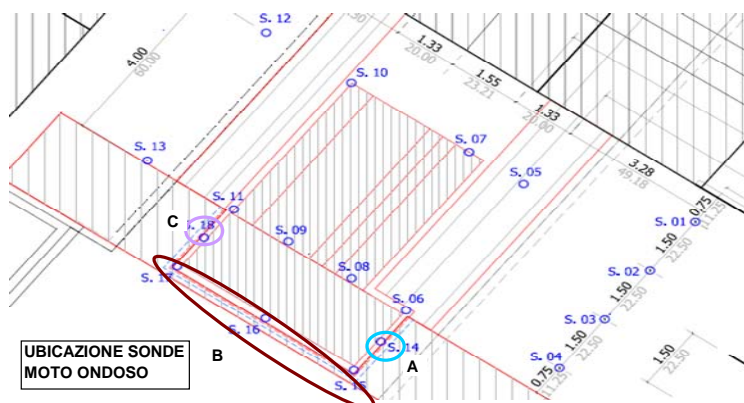
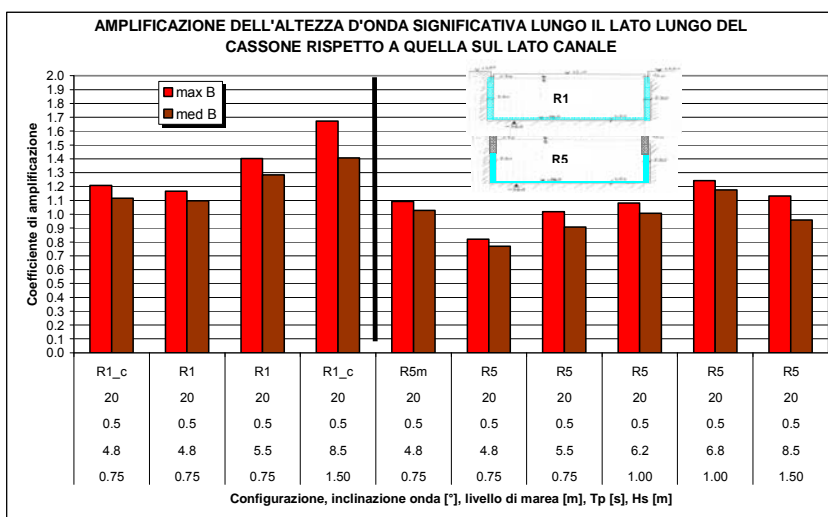
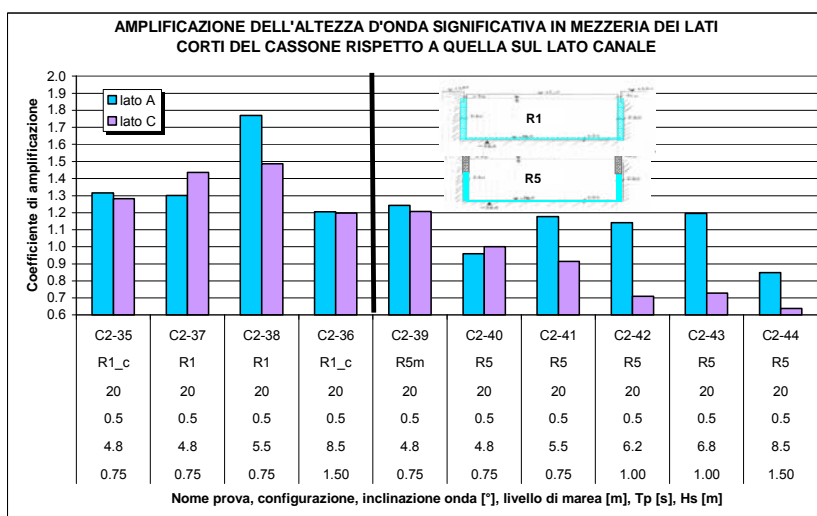
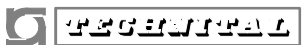


FIG. 7.15 - AMPLIFICAZIONE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA LUNGO I LATI INTERNI DEL CASSONE RISPETTO A QUELLA SUL LATO CANALE NELLE PROVE CON ONDA INCLINATA DI 20°. SOPRA: IN MEZZERIA DEI LATI CORTI DEL CASSONE (A E C), SOTTO: SUL LATO LUNGO (B). RISULTATI STUDIO B.6.96/II RELATIVI AL CASSONE DI SPALLA SUD DI MALAMOCCHO



	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 96
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Per quanto riguarda le azioni agenti sul cassone, l'analisi dei segnali di pressione e forza registrati nel corso di alcune prove ha evidenziato la presenza, per le azioni  $F_y$  ed  $F_z$ , di componenti a frequenze maggiori (multiple) di quella della forzante esterna, cioè del moto ondoso prodotto nella vasca del modello fisico. In corrispondenza dei periodi minori dell'onda incidente (soprattutto per  $T_p=4.8s$  e  $T_p=5.5s$ ) il contributo di energia delle risultanti in corrispondenza delle frequenze comprese tra 0.40 e 0.45 Hz è risultato preponderante rispetto a quello corrispondente alle frequenze della portante.

I risultati ottenuti nelle 3 prove integrative eseguite con il cassone bloccato hanno mostrato che i valori di energia associati alla frequenza principale della forzante si mantengono inalterati (a meno dell'inevitabile variabilità sperimentale) rispetto a quelli ottenuti nel caso di cassone appeso alle celle di carico, mentre il contributo energetico distribuito sulle superarmoniche si riduce di un ordine di grandezza. Questa circostanza ha permesso di dedurre il corretto valore delle azioni risultanti misurate nelle configurazioni con il cassone appeso, mediante filtraggio dei segnali acquisiti dai dinamometri per eliminare la componente connessa alle frequenze multiple della principale. Quale frequenza di taglio è stata assunta una frequenza pari a 1.5 la frequenza di picco dello stato di mare riprodotto nel corso della prova.

La Fig. 7.16 sintetizza i valori  $F_{1/100}$  (media del centesimo superiore) delle azioni risultanti orizzontali ( $F_x$ ,  $F_y$ ) e verticale ( $F_z$ ) dovute al moto ondoso, ottenuti dall'analisi dei risultati filtrati delle prove eseguite sul cassone di spalla di Malamocco Sud e onda inclinata. L'introduzione delle chiusure verticali comporta una riduzione limitata delle azioni agenti sul cassone.

Per entrambe le configurazioni dei recessi si osserva, a parità di altezza d'onda incidente, un incremento delle azioni risultanti all'aumentare del periodo dell'onda.



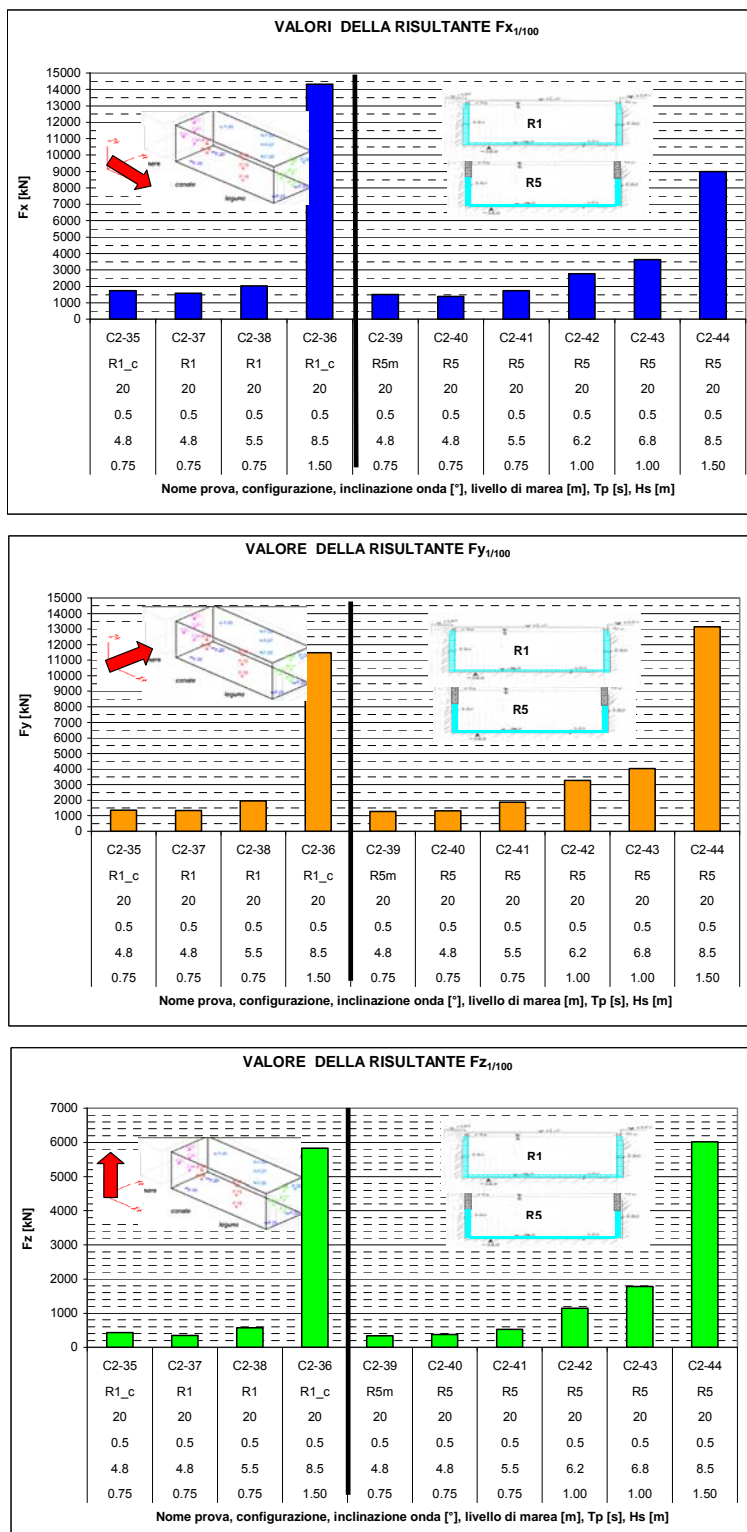



FIG. 7.16 – VALORI DELLE AZIONI  $F_{1/100}$  OTTENUTI FILTRANDO I RISULTATI DELLE PROVE DEL CASSONE DI SPALLA DI MALAMOCCO CON ONDA INCLINATA DI 20°

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 98
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

I risultati del modello fisico sono stati utilizzati per definire la zavorra di stabilizzazione nella fase di appoggio temporaneo e i carichi da impiegarsi nelle verifiche strutturali, come di seguito illustrato.

Si fa presente che l'Impresa, per limitare il valore della zavorra di stabilizzazione e il conseguente carico sui perni, ha preferito introdurre dei ritegni in sommità in riscontro sul palancolato di spalla, piuttosto che adottare la soluzione con parziale chiusura dei recessi.

Pertanto le prove di riferimento per il calcolo della zavorra sono quelle con recessi aperti. In particolare, per la fase di appoggio sui perni si sono utilizzati i risultati delle prove relative a un'onda in generazione con periodo di picco  $T_p=6.2s$ , mentre per la fase di appoggio sui sacconi quelle con periodo di picco  $T_p=8.5s$ .

L'analisi degli spettri di energia delle azioni risultanti della prova con  $T_p=6.2s$  e cassone bloccato, evidenzia che l'energia si annulla per valori della frequenza di picco maggiori di  $0.40Hz$ , (leggermente superiori alla frequenza di taglio adottata  $1.5f_p=0.24 Hz$ ), come si osserva dalla seguente Fig. 7.17.

Benchè il contributo di energia nell'intervallo  $0.24Hz-0.40Hz$  sia risultato inferiore a quello misurato nelle prove con cassone appeso, in questa sede si è deciso, a favore di sicurezza, di utilizzare i risultati delle prove filtrate sino a  $0.24Hz$  moltiplicati per degli opportuni coefficienti di amplificazione che tengano conto del contributo di energia in tale intervallo.

Per ciascuna componente il valore del coefficiente moltiplicativo è stato definito come:

$$\gamma F = \left( \frac{\int_{0Hz}^{0.4Hz} S(f)df}{\int_{0Hz}^{0.24Hz} S(f)df} \right)$$

Dove  $S(f)df$  è la densità di energia della singola componente dedotta dalla prova con cassone appeso (Fig. 7.18).

Per quanto riguarda le azioni corrispondenti ad un'onda con periodo di picco pari a  $8.5s$ , tenuto conto che il contributo energetico delle superarmoniche è molto limitato, si è stabilito, in questa sede, di far riferimento ai risultati delle prove non filtrate.

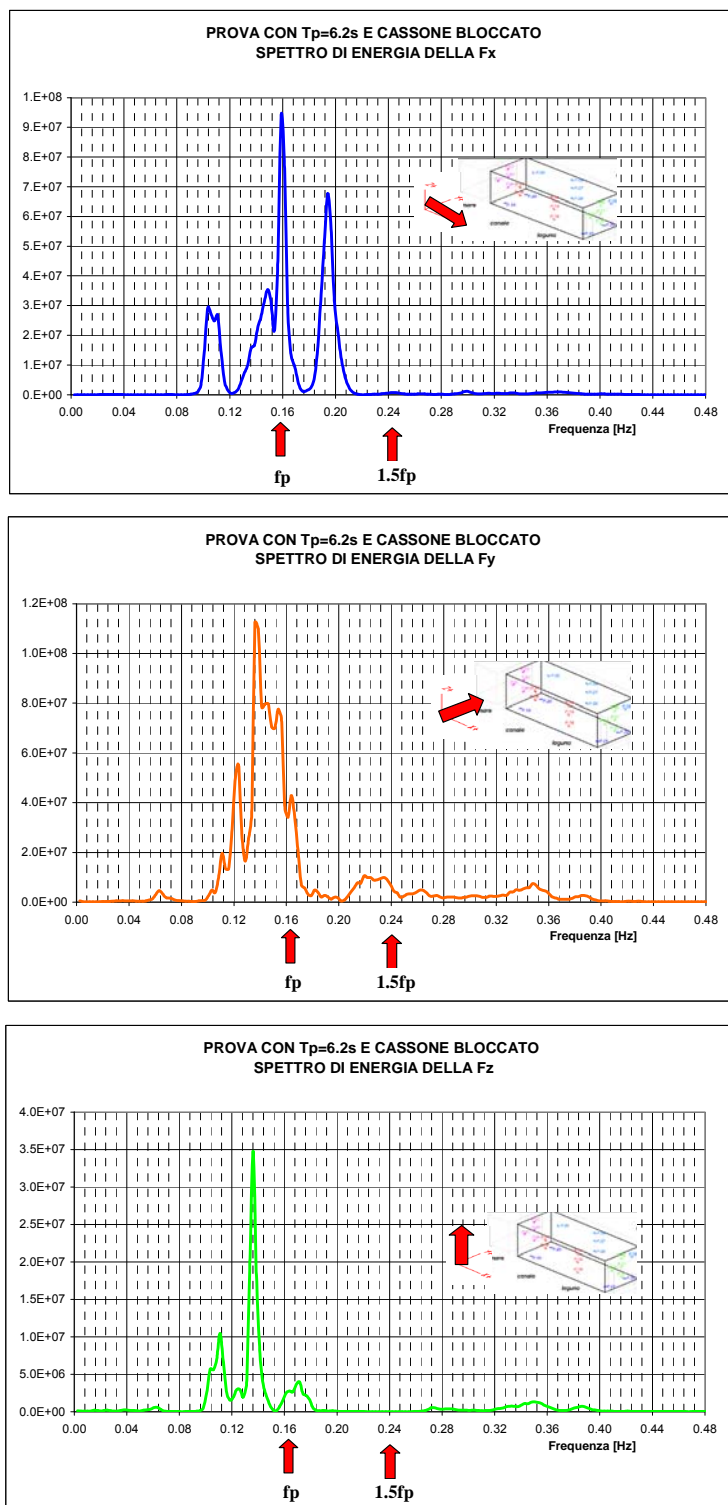


FIG. 7.17 – SPETTRI DI ENERGIA DELLE AZIONI RISULTANTI SUL CASSONE DI MALAMOCCO NEL CASO DI ONDA INCLINATA CON PERIODO  $T_p=6.2s$  E CASSONE BLOCCATO (PROVA C2-63)

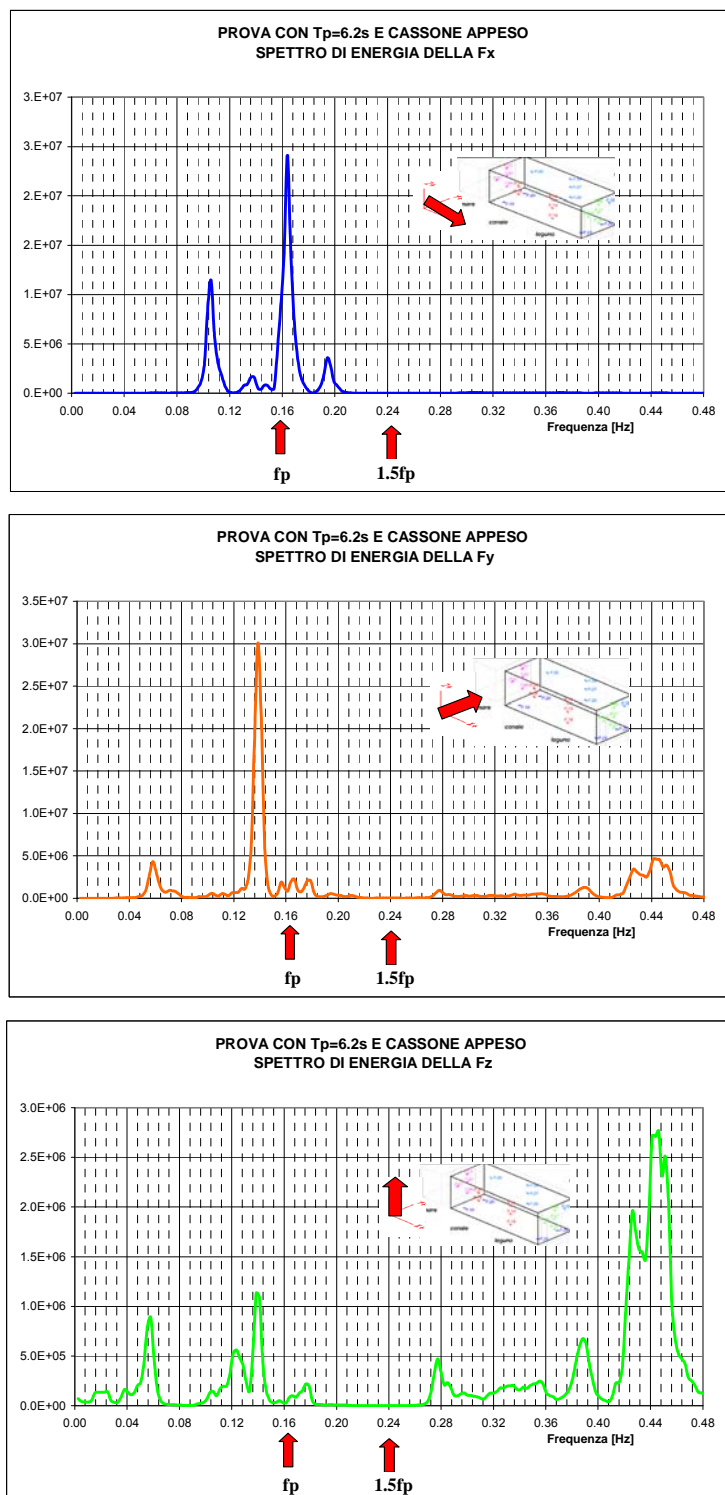



FIG. 7.18 – SPETTRI DI ENERGIA DELLE AZIONI RISULTANTI SUL CASSONE DI MALAMOCCO NEL CASO DI ONDA PARALLELA CON PERIODO  $T_p=6.2s$  E CASSONE APPESO (PROVA C2-15)

 <b>PROGETTA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 101
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

### 7.3. Azioni sul cassone in fase di appoggio temporaneo

Nella fase di costruzione della barriera si individuano due scenari di riferimento relativi all'appoggio temporaneo all'interno della trincea di fondazione:

- appoggio del cassone su perni provvisori: è prevista la presenza di ritegni in sommità in riscontro sul palancolato del recesso di spalla;
- appoggio del cassone su sacconi: i ritegni in sommità sono disattivati.

La valutazione della quantità di zavorra minima da introdurre nel cassone va determinata con lo scopo di evitare che durante la fase di appoggio si verifichino, per effetto delle azioni meteomarine, il ribaltamento, lo stacco o lo scorrimento del cassone.

A tal fine, a partire dalle serie temporali delle 6 componenti delle azioni ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_z$ ) agenti sul cassone registrate nel corso delle singole prove, si sono definite delle funzioni ("funzioni obiettivo") che descrivessero, istante per istante, il valore della zavorra necessario per garantire le verifiche di stabilità nei confronti del moto ondoso, il carico sui perni e sui ritegni di sommità (si vedano i paragrafi successivi). Tali funzioni sono poi state analizzate statisticamente al fine di definirne la media del centesimo superiore, valore che viene assunto come riferimento per le verifiche.


Lo schema di vincolo complessivo della spalla (perni + ritegni) è iperstatico; il calcolo viene svolto in forma semplificata sotto le seguenti ipotesi:

1. i ritegni orizzontali, posti sulla sommità dei due lati corti, equilibrano una quota parte di  $F_x$  per azione diretta, e di  $F_y$  per attrito;
2. i ritegni orizzontali non equilibrano  $F_z$ ;
3. i perni equilibrano  $F_z$  ed una quotaparte delle azioni orizzontali  $F_x$  e  $F_y$  per attrito.

Si sono considerati 2 diversi schemi per la ripartizione dei carichi orizzontali:

- nel primo schema si ipotizza che i carichi orizzontali si ripartiscano in maniera uguale tra i ritegni di sommità e i perni (schema 50-50), come se la risultante delle azioni meteomarine orizzontali fosse esattamente ad  $H_{rit}/2$  e lo schema di vincolo fosse appoggio (perni) - appoggio (ritegni);
- nel secondo caso la ripartizione dei carichi deriva da uno schema di moto rigido, nell'ipotesi di un assegnato rapporto tra la rigidità assiale del perno e del ritegno di sommità. Se si assegna un valore nullo a tale rapporto si ricade nel caso limite di assenza dei ritegni in sommità. Nel caso della spalla nord di Malamocco, tenuto conto della deformabilità del palancolato, si sono assunti 2 valori per tale rapporto, rispettivamente pari a 1 e pari a 0.35.

Per ogni funzione calcolata si è considerato il valore più severo.

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 102
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	


Nel definire le funzioni obiettivo si è considerato un coefficiente di attrito pari a 0.25 alla base dei perni di appoggio provvisorio e pari a 0.50 in corrispondenza dei ritegni di sommità. Per ogni funzione obiettivo si è poi considerato il valore più severo tra i 3 schemi esaminati.

Nel caso del cassone in appoggio su sacconi, per definire le funzioni obiettivo si è assunto un coefficiente di attrito pari a 0.5 e si sono considerati 2 casi corrispondenti rispettivamente ad un intasamento parziale ed ad un intasamento completo del recesso di fondazione. Nel secondo caso le azioni verticali  $F_z$  indotte dal moto ondoso sono state poste uguali a zero.

Anche i carichi da impiegarsi nelle verifiche strutturali sono stati dedotti dai risultati del modello fisico; esaminando, in particolare, l'andamento delle pressioni sulle facce del cassone negli istanti in cui si sono misurati i valori massimi delle risultanti è stato possibile definire i carichi equivalenti per le verifiche strutturali. Per le verifiche a SLU verrà utilizzato il valore  $p_{1/100}$  (media del centesimo superiore) che viene di seguito fornito, mentre i carichi per verifiche a SLE, corrispondenti il valore  $p_{1/20}$ , possono essere proporzionati nel rapporto 1.40/1.67. I carichi espressi in termini di pressione si intendono come valori caratteristici da amplificare per il corrispondente moltiplicatore  $\gamma_F$  per le combinazioni SLU. Quanto esposto nel seguito si intende applicabile solo agli scenari di appoggio sui perni e sacconi di prima fase (parziale intasamento dell'intercapedine inferiore)

I valori di riferimento dei parametri ambientali per la fase di appoggio temporaneo dei cassoni su perni dipendono dalla capacità di previsione in relazione alla durata delle operazioni di installazione. A tale scopo è attualmente in corso la 2<sup>a</sup> perizia di variante dello studio B.6.96/II FASE che ha come obiettivo quello di verificare e aggiornare il sistema di previsione dei parametri meteomarine (onde e corrente), sviluppato nella perizia precedente, che, producendo un bollettino ogni 12 ore, permette di prevedere la fattibilità delle operazioni di installazione dei cassoni di barriera. Per quanto riguarda il moto ondoso il sistema di previsione attualmente implementato emette, per ciascuna barriera, la previsione di operatività di durata di 5 giorni, in relazione a prefissati valori dell'altezza d'onda di soglia e con riferimento a diversi gradi di rischio. Per quanto riguarda la barriera di Malamocco, vengono considerati 2 valori di altezza d'onda di soglia:  $H_s=0.50m$  e  $H_s=0.75m$ , come richiesto dall'Impresa.

Poiché l'altezza d'onda è quella prevista genericamente nella zona di barriera, per la valutazione delle azioni sul cassone di spalla occorre tener conto della *stem wave* che si sviluppa a causa della presenza delle strutture di sponda a parete verticale. Quando invece si fa riferimento ad altezze d'onda con prefissati periodi di ritorno, l'eventuale presenza della *stem wave* è già tenuta in conto poiché tali valori sono stati dedotti dall'analisi della propagazione del moto ondoso su modello fisico 3D in cui erano state riprodotte tutte le opere.

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 103
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

### 7.3.1. Stabilità del cassone in appoggio sui perni in presenza di ritegni di sommità

#### **Schema 50-50**

##### Verifica a ribaltamento:

$$Z_{RIB}(t) = \frac{\gamma_Q}{i_Y / 2 \cdot \gamma_G} \cdot (|M_X^*(t)| + F_Z(t) \cdot i_Y / 2) = \frac{1.5}{i_Y / 2 \cdot 0.9} \cdot (|M_X^*(t)| + F_Z(t) \cdot i_Y / 2) \cdot$$

##### Verifica a scorrimento:

$$Z_{SCORR}(t) = \frac{\gamma_Q}{\gamma_G} \cdot (0.5 \sqrt{F_X^2(t) + F_Y^2(t)} / f + F_Z(t)) = \frac{1.5}{0.9} \cdot (0.5 \sqrt{F_X^2(t) + F_Y^2(t)} / f + F_Z(t)) \cdot$$

##### Verifica a stacco:

$$Z_{STACCO}(t) = \frac{\gamma_Q}{\gamma_G} \cdot \left( F_Z(t) + \frac{|M_X^*(t)|}{i_Y / 2} + \frac{|M_Y^*(t)|}{i_X / 2} \right) = \frac{1.5}{0.9} \cdot \left( F_Z(t) + \frac{|M_X^*(t)|}{i_Y / 2} + \frac{|M_Y^*(t)|}{i_X / 2} \right) \cdot$$

Il momento alla base assorbito dai perni vale:

$$M_X^*(t) = \cdot M_X(t) + 0.5 F_Y(t) H_{rit}.$$

$$M_Y^*(t) = \cdot M_Y(t) - 0.5 F_X(t) H_{rit}.$$

Con:

$i_Y$  = interasse perni in direzione y

$i_X$  = interasse perni in direzione x

f = coefficiente di attrito perni

$H_{rit}$  = distanza dei ritegni dal fondo del cassone

##### Azioni sui perni:

$$N_p(t) = 0.25 \left( -F_Z(t) + \frac{|M_X^*(t)|}{\cdot i_Y / 2} + \frac{|M_Y^*(t)|}{\cdot i_X / 2} \right)$$

$$V_p(t) = 0.25 \left( 0.5 \sqrt{F_X^2(t) + F_Y^2(t)} \right)$$


Dove:

$N_p$  = carico verticale sul singolo perno

$V_p$  = azione di taglio sul singolo perno nel piano x-y

##### Azioni sui ritegni:

$$R_{p0}(t) = \cdot (0.5 |F_Y(t)| / 2 f_{rit} + 0.5 |F_X(t)| / 2) = 0.25 (F_Y(t) / f_{rit} + |F_X(t)|)$$

 <b>MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 104
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

$$dR_p(t) = (0.5 \cdot |F_X(t)| / 2) = 0.25 \cdot |F_X(t)|$$

$$V_{rit}(t) = (0.5 \cdot |F_Y(t)| / 2) = 0.25 \cdot |F_Y(t)|$$

Dove:

$R_{p0}$  = precarico (totale per lato) da assegnare ai ritegni per non avere mai decompressione

$dR_p$  = variazione del carico sui ritegni di un lato, dovuta al moto ondoso

$V_{rit}$  = azione di taglio sui ritegni di un lato, diretta come l'asse Y

$f_{rit}$  = coefficiente di attrito dei ritegni

***Schema di moto rigido con assegnato rapporto tra la rigidità assiale del perno e del ritegno di sommità***

Verifica a ribaltamento:

$$Z_{RIB}(t) = \frac{\gamma_Q}{i_Y / 2 \cdot \gamma_G} \cdot (|M^*_X(t)| + F_Z(t) \cdot i_Y / 2) = \frac{1.5}{i_Y / 2 \cdot 0.9} \cdot (|M^*_X(t)| + F_Z(t) \cdot i_Y / 2) \cdot$$

Verifica a scorrimento:

$$Z_{SCORR}(t) = \frac{\gamma_Q}{\gamma_G} \cdot (\sqrt{k_\eta^2(t) + k_\xi^2(t)} / f + F_Z(t)) = \frac{1.5}{0.9} \cdot (\sqrt{k_\eta^2(t) + k_\xi^2(t)} / f + F_Z(t)) \cdot$$

Verifica a stacco:

$$Z_{STACCO}(t) = \frac{\gamma_Q}{\gamma_G} \cdot (F_Z(t) + 2 |k_g(t)| \cdot i_Y / 2 + 2 |k_\alpha(t)| \cdot i_X / 2) =$$

$$= \frac{1.5}{0.9} \cdot (F_Z(t) + 2 |k_g(t)| \cdot i_Y / 2 + 2 |k_\alpha(t)| \cdot i_X / 2) \cdot$$

Dove:

$$M_X^*(t) = M_X(t) + 0.5 R_Y(t) \cdot H_{rit}$$

$$M_Y^*(t) = M_Y(t) - 0.5 R_X(t) \cdot H_{rit}$$

$$R_X(t) = (k_\eta(t) + k_\alpha(t) \cdot H_{rit}) \cdot \rho$$

$$R_Y(t) = (k_\xi(t) + k_g(t) \cdot H_{rit}) \cdot \rho$$

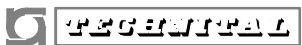
$$k_g(t) = - \frac{M_X(t) + F_Y(t) \cdot \rho / (1 + \rho) \cdot H_{rit}}{\rho / (1 + \rho) \cdot H_{rit}^2 + i_Y^2 / 2}$$

$$k_\xi(t) = \frac{F_Y(t) - \rho \cdot H_{rit} \cdot k_g(t)}{(1 + \rho)}$$

$$k_\alpha(t) = \frac{M_Y(t) - F_X(t) \cdot \rho / (1 + \rho) \cdot H_{rit}}{\rho / (1 + \rho) \cdot H_{rit}^2 + i_X^2 / 2}$$

$$k_\eta(t) = \frac{F_X(t) - \rho \cdot H_{rit} \cdot k_\alpha(t)}{(1 + \rho)} \eta$$



	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 105
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

$i_Y$  = interasse perni in direzione y

$i_X$  = interasse perni in direzione x

f = coefficiente di attrito perni

$\rho$  = rapporto tra la rigidezza assiale dei ritegni e quella dei perni

$H_{rit}$  = distanza dei ritegni dal fondo del cassone

#### Azioni sui perni:

$$N_p(t) = 0.25 \cdot (-F_Z(t) + 2 |k_g(t)| \cdot i_Y / 2 + 2 |k_\alpha(t)| \cdot i_X / 2)$$

$$V_p(t) = 0.25 \cdot (\sqrt{k_\eta^2(t) + k_\xi^2(t)})$$

Dove:

$N_p$  = carico verticale sul singolo perno

$V_p$  = azione di taglio sul singolo perno nel piano x-y

#### Azioni sui ritegni

$$R_{p0}(t) = (|R_Y(t)| / 2 f_{rit} + |R_X(t)| / 2) \cdot 0.5 (R_Y(t) / f_{rit} + |R_X(t)|)$$

$$dR_p(t) = (|R_X(t)| / 2) = 0.5 \cdot |R_X(t)|$$

$$V_{rit}(t) = (|R_Y(t)| / 2) = 0.5 \cdot |R_Y(t)|$$

Dove:

$R_{p0}$  = precarico (totale per lato) da assegnare ai ritegni per non avere mai decompressione

$dR_p$  = variazione del carico sui ritegni di un lato, dovuta al moto ondoso

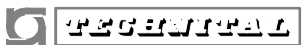
$V_{rit}$  = azione di taglio sui ritegni di un lato, diretta come l'asse Y

$f_{rit}$  = coefficiente di attrito dei ritegni

#### **Calcolo delle funzioni obiettivo**

Per la fase di appoggio su perni si assume come altezza d'onda di riferimento nella zona di barriera, il valore  $H_s=0.75m$ , cui va associato, per le analisi del cassone di spalla, un periodo di picco  $T_p=6.2s$ , secondo quanto indicato a fine paragrafo 3.3.2.

Pertanto le funzioni obiettivo per questa fase sono state dedotte dalla prova Jon\_100\_062\_05pR1 filtrata (caratterizzata da un'onda in generazione con periodo  $T_p=6.2s$ ,  $H_s=1.0$ , livello di marea= $0.5m$ , direzione di incidenza parallela al canale di bocca), moltiplicando i risultati sperimentali per opportuni coefficienti per tener conto dell'altezza d'onda ridotta ( $\gamma_{H_s}=0.75$ ), del fenomeno della *stem wave* ( $\gamma_{stem\ wave}=2$ ) e dell'energia delle azioni risultanti compresa nell'intervallo tra la frequenza di taglio ed il valore  $0.40\ Hz$  ( $\gamma_{F_x}=1.0$ ,  $\gamma_{F_y}=1.08$ ,  $\gamma_{F_z}=1.34$ ,  $\gamma_{M_x}=1.04$ ,  $\gamma_{M_y}=1.0$ ,  $\gamma_{M_z}=1.0$ ) per quanto indicato al paragrafo 7.2.2.

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 106
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Nella valutazione delle funzioni obiettivo si sono considerati i seguenti valori:

$i_x = 54.7\text{m}$  (interasse tra i perni in direzione x)

$i_y = 14.8\text{ m}$  (interasse tra i perni in direzione y)

$H_{\text{ritegni}} = 27.0\text{m}$  (distanza dei ritegni dal fondo del cassone, corrispondente alla +1.5m slmm)

$f = 0.25$ ,  $f_{\text{rit}} = 0.5$ ,  $\rho = 1, 0.35$

Si è inoltre tenuto conto della minore larghezza del cassone di spalla nord di Malamocco rispetto a quello provato su modello fisico scalando le azioni  $F_x$ ,  $F_z$  ed  $M_y$  nel rapporto 22.3/24.

Per i diversi schemi di calcolo esaminati si sono ottenuti i risultati riportati nella seguente tabella:

<b>schema calcolo</b>	<b><math>H_s</math> [m]</b>	<b><math>T</math> [s]</b>	<b><math>Z_{\text{scorr}}</math> [KN]</b>	<b><math>N_p</math> [KN/PIN]</b>	<b><math>V_p</math> [KN/PIN]</b>	<b><math>R_{p0}</math> [KN/Lato]</b>	<b><math>dR_p</math> [KN/Lato]</b>	<b><math>R_p</math> [KN/Lato]</b>	<b><math>V_{\text{rit}}</math> [KN/Lato]</b>
<b>50-50</b>	<b>0.75</b>	<b>6.2</b>	<b>13814</b>	<b>350</b>	<b>437</b>	<b>1919</b>	<b>674</b>	<b>2592</b>	<b>800</b>
<b>moto rigido <math>\rho=1</math></b>	<b>0.75</b>	<b>6.2</b>	<b>12956</b>	<b>239</b>	<b>402</b>	<b>2085</b>	<b>750</b>	<b>2835</b>	<b>857</b>
<b>moto rigido <math>\rho=0.35</math></b>	<b>0.75</b>	<b>6.2</b>	<b>16242</b>	<b>480</b>	<b>525</b>	<b>1614</b>	<b>429</b>	<b>2043</b>	<b>705</b>

<b><math>Z_{\text{scorr}}</math></b>	<b>zavorra necessaria per garantire la verifica allo scorrimento</b>
<b><math>N_p</math></b>	<b>carico verticale sul singolo pin</b>
<b><math>V_p</math></b>	<b>azione di taglio sul singolo pin nel piano x-y</b>
<b><math>R_{p0}</math></b>	<b>precarico da assegnare ai ritegni per non avere mai decompressione</b>
<b><math>dR_p</math></b>	<b>variazione dovuta all'azione del moto ondoso</b>
<b><math>R_p</math></b>	<b>azione totale sui ritegni di un lato</b>
<b><math>V_{\text{rit}}</math></b>	<b>azione di taglio sui ritegni, diretta come l'asse y</b>

TAB. 7.2 - VALORI  $F_{1/100}$  DELLE FUNZIONI OBIETTIVO INDOTTE DAL MOTO ONDO SO PER LA FASE DI APPOGGIO SUI PERNI IN PRESENZA DI RITEGNI IN SOMMITÀ


Si osserva che lo schema di moto rigido con  $\rho=0.35$  risulta più penalizzante per la zavorra di stabilizzazione e per i carichi sui perni, mentre quello di moto rigido con  $\rho=1$  induce le maggiori azioni sui ritegni laterali.

Per definire la zavorra complessiva occorre considerare il contributo instabilizzante dovuto alla marea.

Verifica a galleggiamento:

$$Z_{\text{GALL}} = \frac{\gamma_Q}{\gamma_G} \gamma_Q \cdot F_{Z_{\text{marea}}}(t) = \frac{1.5}{0.9} \cdot F_{Z_{\text{marea}}}(t)$$

$$N_p(t) = 0.25 \cdot (dZ_{\text{MAREA}} - F_{Z_{\text{marea}}}(t))$$

 <b>Consorzio Venezia Nuova</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 107
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Considerando una variazione del livello medio mare pari a  $\pm 0.7\text{m}$ , si ottengono i valori riportati nella seguente tabella:

Marea			
$A_{\text{marea}}$ [m <sup>2</sup> ]	$h_{\text{marea}}$ [m]	$dZ_{\text{marea}}$ [kN]	$N_{p,\text{marea}}$ [kN/PIN]
570	0.7	6717	2687

TAB. 7.3 - VALORI DELLA ZAVORRA E DEI CARICHI SUI PINS DOVUTI ALLA MAREA

In conclusione per garantire la stabilità del cassone nella fase di appoggio temporaneo sui pins in presenza di ritegni in sommità è necessario prevedere una zavorra di almeno 24000kN come indicato nella seguente tabella.

$h_{\text{marea}}$ [m]	$H_s$ [m]	$T$ [s]	$Z_{\text{scorr}}$ [kN]	$N_p$ [kN/PIN]	$V_p$ [kN/PIN]	$R_{p0}$ [kN/Lato]	$dR_p$ [kN/Lato]	$R_p$ [kN/Lato]	$V_{rit}$ [kN/Lato]
$\pm 0.7$	0.75	6.2	22959	7227	525	2085	750	2835	857

TAB. 7.4 - VALORI DELLA ZAVORRA NECESSARIA PER CONTRASARE LE AZIONI METEOMARINE E DEI CARICHI SUI PINS E SUI RITEGNI DI SOMMITÀ NELLA FASE DI APPOGGIO SU PERNI

### 7.3.2. Stabilità del cassone in appoggio sui sacconi

#### Verifica a galleggiamento:


$$Z_{GALL} = \frac{\gamma_Q}{\gamma_G} \gamma_Q \cdot F_Z(t) = \frac{1.5}{0.9} \cdot F_Z(t)$$

#### Verifica a ribaltamento:

$$Z_{RIB} = \frac{\gamma_Q}{B_Y / 2 \cdot \gamma_G} \cdot (|M_X(t)| + F_Z(t) \cdot B_Y / 2) = \frac{1.5}{B_Y / 2 \cdot 0.9} \cdot (|M_X(t)| + F_Z(t) \cdot B_Y / 2)$$

#### Verifica a scorrimento:

$$Z_{SCORR} = \frac{\gamma_Q}{\gamma_G} \cdot (\sqrt{F_X^2(t) + F_Y^2(t)} / f + F_Z(t)) = \frac{1.5}{0.9} \cdot (\sqrt{F_X^2(t) + F_Y^2(t)} / f + F_Z(t))$$

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 108
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Verifica a decompressione:

$$Z_{STACCO} = \left( F_z(t) + \frac{|M_x(t)|}{B_y/6} + \frac{|M_y(t)|}{B_x/6} \right)$$

Dove:

$B_x$  = impronta della fondazione in direzione x

$B_y$  = impronta della fondazione in direzione y

f = coefficiente di attrito dei sacconi = 0.5


L'altezza d'onda di riferimento per la fase di appoggio su sacconi dipende dalla durata di tale fase. Allo scadere della finestra operativa di 5 giorni, le caratteristiche meteomarine di riferimento sono quelle con ricorrenza annuale e lo scenario da considerare è quello di parziale intasamento dell'intercapedine di fondazione.

Lo scenario di riferimento successivo è quello di intasamento completo del recesso di fondazione, con annullamento della sottospinta dovuta al moto ondoso ( $F_z$ ). Per tale scenario si sono esaminate onde e livelli di marea con periodo di ritorno di 5 e 10 anni.

Le funzioni obiettivo per questa fase sono state dedotte dalla prova Jon\_150\_085\_05icR1 (codice C236, non filtrata) caratterizzata da un'onda in generazione con periodo  $T_p=8.5s$ ,  $H_s=1.5m$ , livello di marea=0.5m, direzione di incidenza di  $20^\circ$ , presenza del cassone di soglia adiacente, scalando opportunamente i risultati per tener conto che l'altezza d'onda di riferimento per i diversi periodi di ritorno è già quella in prossimità della struttura e non va amplificata dell'effetto della *stem wave*. La seguente tabella fornisce i valori più gravosi ottenuti esaminando le diverse combinazioni di altezza d'onda e livelli corrispondenti ai diversi periodi di ritorno.

<b>Tr</b> [anni]	<b>Solo Onda, da risultati Modello Fisico scalati</b>			<b>Marea</b>			<b>Onda+ marea</b>		
	<b><math>H_{s, prova}</math></b> [m]	<b>T</b> [s]	<b><math>Z_{decompr}</math></b> [KN]	<b><math>A_{marea}</math></b> [m2]	<b><math>h_{marea}</math></b> [m]	<b><math>dZ_{marea}</math></b> [KN]	<b><math>H_s</math></b> [m]	<b>T</b> [s]	<b><math>Z_{decompr}</math></b> [KN]
<b>1</b>	1.5	8.3	48723	1410	1.0	23735	1.5	8.3	72458
<b>5</b>	1.9	8.0	64063	1410	1.0	23735	1.9	8.0	87798
<b>10</b>	2.2	8.7	81596	1410	0.8	17801	2.2	8.7	99397

TAB. 7.5 - VALORI DELLA ZAVORRA NECESSARIA PER CONTRASTARE LE AZIONI METEOMARINE NELLA FASE DI APPOGGIO SU SACCONI IN CORRISPONDENZA DI DIVERSI PERIODI DI RITORNO

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 109
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

### 7.3.3. Carichi per le analisi strutturali

#### ***Lati corti***

Per semplicità computazionale si assume una distribuzione di pressioni costante lungo la superficie dei 2 lati corti, la cui risultante corrisponde al valore di  $F_{x\ 1/100}$  misurato su modello fisico. Anche la ripartizione di pressioni tra le 2 facce corrisponde a quella misurata su modello fisico nelle prove di riferimento. Pertanto:

- Appoggio su perni: (prove di riferimento Jon\_100\_062\_05pR1- codice C255 e Jon\_100\_062\_05iR1\_bloccato - codice C263): il rapporto delle pressioni sulle 2 facce è di 1:0 (sia di compressione che decompressione s). Assumendo  $H_s=0.75m$  e  $T_p=6.2s$  le pressioni (valore  $p_{1/100}$ ) valgono:  $p=4.6\text{ kPa}$ , lo scenario è reversibile, scambiando i lati su cui agisce la pressione.
- Appoggio su sacconi di prima fase: (prova di riferimento Jon\_150\_085\_05iR1 - codice C236): il rapporto delle pressioni sulle 2 facce è di 1:1 (di compressione sull'una e decompressione sull'altra). Assumendo  $H_s=1.50m$  e  $T_p=8.5s$  le pressioni (valore  $p_{1/100}$ ) valgono:  $p_A=p_C=12.5\text{ kPa}$ , lo scenario è reversibile, scambiando i lati su cui agisce la pressione.

#### ***Lati lunghi***

Si assume una distribuzione di pressioni costante sulla faccia lato canale, mentre su quella lato recesso la distribuzione è costante lungo la verticale e variabile a scacchiera (secondo uno schema  $L_{cassone}/4 - L_{cassone}/2 - L_{cassone}/4$ ) lungo la faccia, la cui risultante corrisponde al valore di  $F_{y\ 1/100}$  misurato su modello fisico. Anche la ripartizione di pressioni tra le 2 facce corrisponde a quella misurata su modello fisico nelle prove di riferimento. Pertanto, indicando con segno positivo le compressioni, si ha:


- Appoggio su perni:  $p_B=2.0\text{ kPa}$ ,  $p_D=4.4\text{ kPa}$ ,  $-6\text{ kPa}$ ,  $4.4\text{ kPa}$ . Lo schema vale anche scambiando i segni delle pressioni.
- Appoggio su sacconi di prima fase:  $p_B=10.2\text{ kPa}$ ,  $p_D=10.2\text{ kPa}$ ,  $3.5\text{ kPa}$ ,  $-10.2\text{ kPa}$ . Lo schema vale anche scambiando i segni delle pressioni.

#### ***Soletta di fondazione***

Si assume una distribuzione di pressioni costanti lungo la superficie della soletta di fondazione di valore pari a  $F_z\ 1/100 / \text{Area base}$ , pertanto:

- Appoggio su perni:  $p_E=1.6\text{ kPa}$  (pressione/depressione)
- Appoggio su sacconi di prima fase:  $p_E=7.8\text{ kPa}$  (pressione/depressione)

Le seguenti figure illustrano gli schemi da adottare.

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 110
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

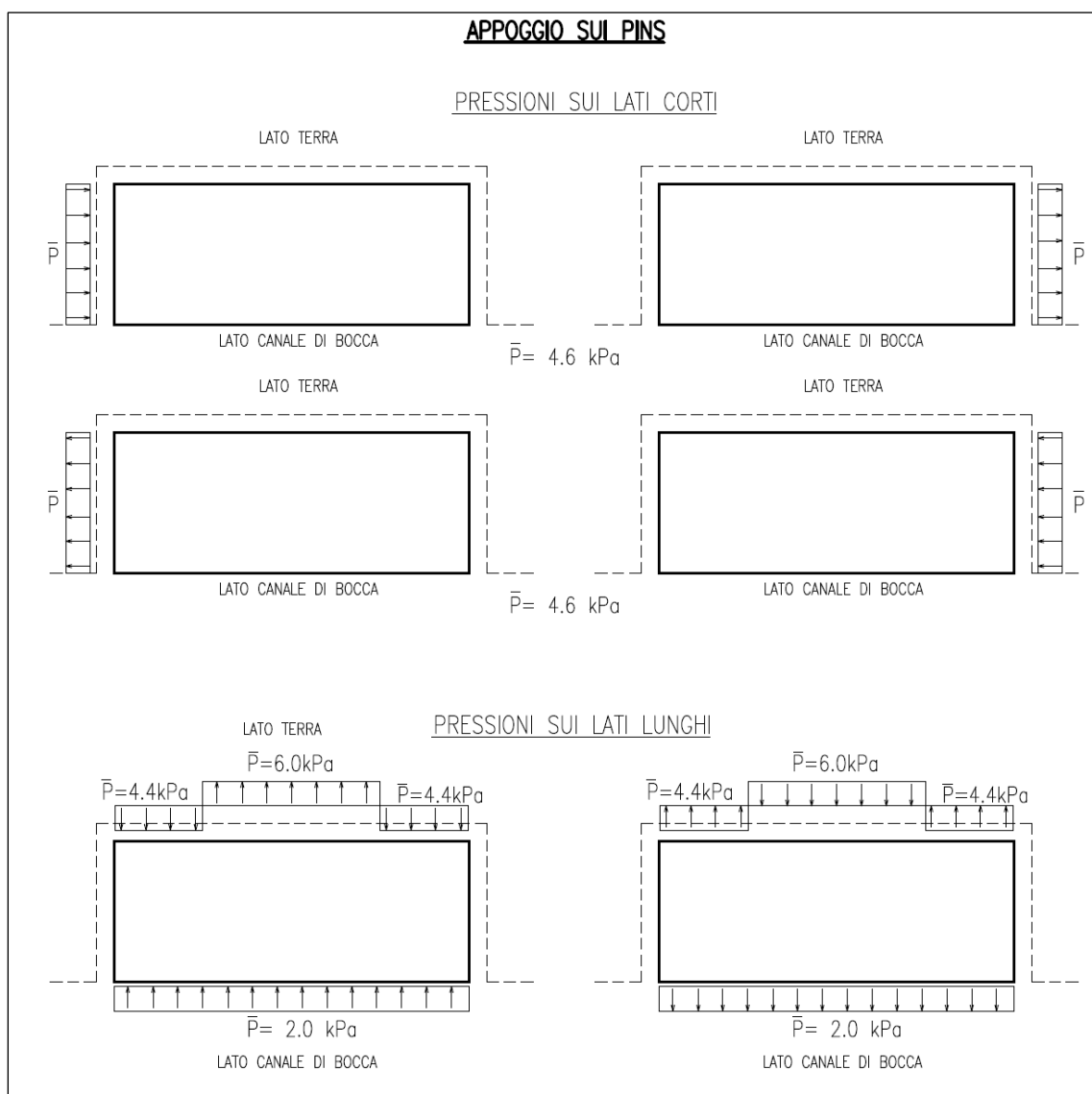

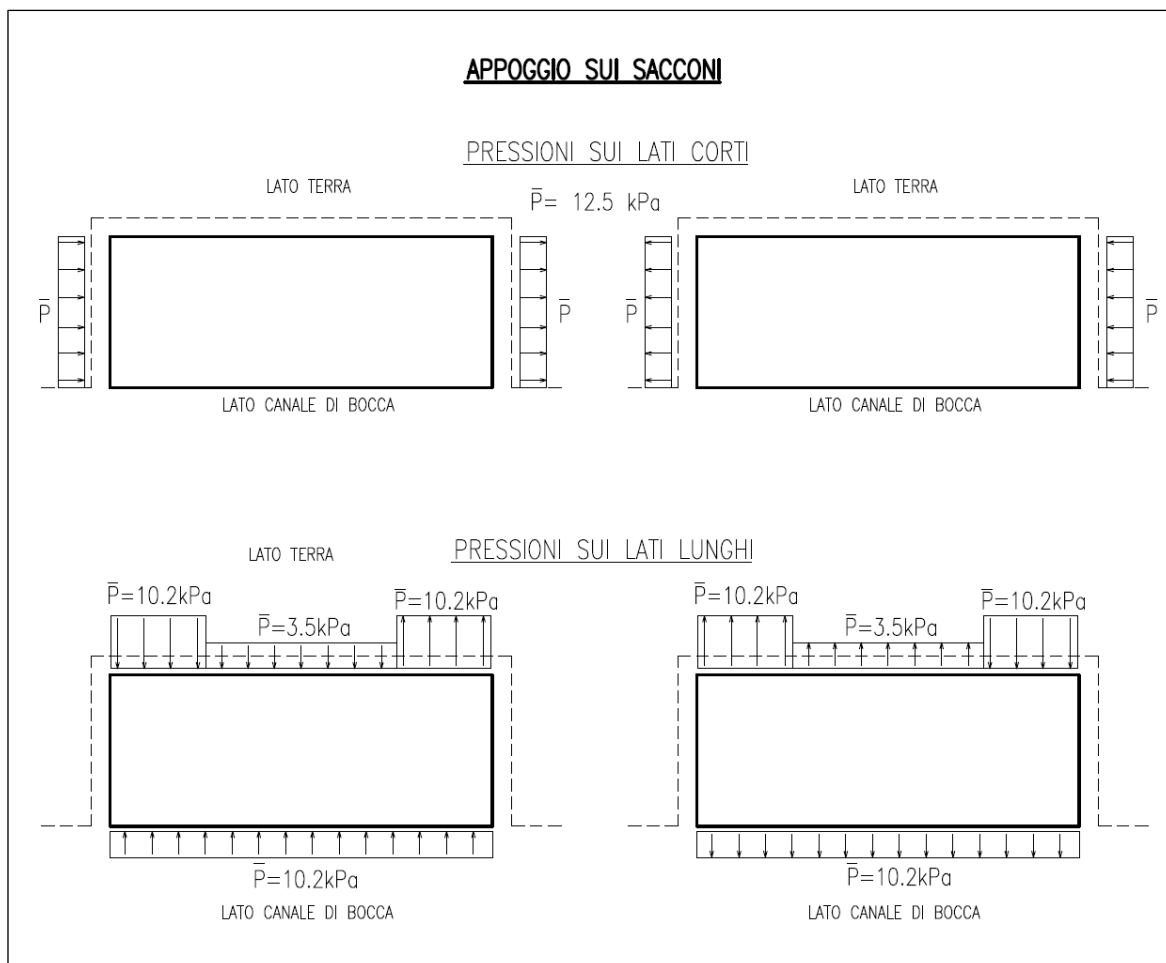



FIG. 7.19 - APPOGGIO SU PERNI: SCHEMA DI DISTRIBUZIONE DELLE PRESSIONI SULLE FACCE DEL CASSONE DI SPALLA DA ASSUMERE NELLE ANALISI STRUTTURALI

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 111
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	



**FIG. 7.20 - APPOGGIO SU SACCONI DI PRIMA FASE: SCHEMA DI DISTRIBUZIONE DELLE PRESSIONI SULLE FACCE DEL CASSONE DI SPALLA DA ASSUMERE NELLE ANALISI STRUTTURALI**

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 112
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

#### 7.4. Azioni sul cassone in fase di esercizio

Nella fase di esercizio si individuano 2 diverse condizioni: quella di paratoie a riposo e quella di paratoie sollevate.

Per quanto riguarda il calcolo della risultante dovuta alle onde di breve periodo (onde corte) sulla faccia lato canale nella condizione di paratoie a riposo pur potendo seguire l'approccio descritto al par. 7.1, tenendo conto del duplice effetto dell'attacco obliquo del moto ondoso, si è stabilito di considerare, in sicurezza una distribuzione di pressioni costante lungo lo sviluppo orizzontale del cassone. Si è tenuto conto della riflessione obliqua introducendo il *clapotis gaufre* ( $=1.32 \cdot H_i$ ) in luogo del *clapotis totale* ( $2 \cdot H_i$ ) nella formula di Sainflou.


Ai fini della trasmissione del moto ondoso lato laguna la paratoia sollevata può essere considerata praticamente trasparente nei confronti dell'onda di breve periodo. Tale ipotesi, formulata in base ai risultati ottenuti sui modelli fisici delle bocche effettuando misure di moto ondoso davanti e dietro le barriere che mostrano un'elevata trasmissione delle onde corte, è stata confermata dalle prove su modello fisico in scala 1:30 della paratoia di Treporti nell'ambito dello studio B.7.03/I (*"Completamento della sperimentazione sul gruppo cerniera-connettore delle paratoie e costruzione della preserie"* [Rif. 20]). In particolare l'analisi dell'andamento delle pressioni a monte e a valle della paratoia sia nelle prove con onda monocromatica che in quelle con onda policromatica mostra che esse sono in fase tra loro e presentano valori molto simili.

Anche per le verifiche dei cassoni di spalla nelle condizioni di paratoie sollevate, si è stabilito di non considerare un profilo dell'onda variabile lungo lo sviluppo del cassone, ma costante (pari al livello di cresta/cavo dell'onda), per tenere conto degli effetti di ristagno del moto ondoso fra cassone di spalla e paratoia nel caso di attacco obliquo. Ciò che varia tra lato mare e lato laguna è il livello idrostatico su cui viene montata la sovrappressione dinamica.

Nel caso di paratoie sollevate si tiene comunque conto della riflessione obliqua introducendo il *clapotis gaufre* ( $=1.32 \cdot H_i$ ) in luogo del *clapotis totale* ( $2 \cdot H_i$ ) nella formula di Sainflou.

Nello schema di calcolo si ipotizza che al di sotto del fondale (-14.0m s.l.m.m.) sulla faccia del cassone esposta al moto ondoso, agisca conservativamente il valore di pressione calcolato a quota fondale e che si mantenga costante per tutta l'altezza fino a quota imbasamento del cassone (-24.50 s.l.m.m.) pur dovendo penetrare nell'intercapedine attraverso il materiale di riempimento fra il cassone ed il terreno. Gli intasamenti nei recessi dei lati corti e di intradosso spalla sono da considerarsi impermeabili alle sovrappressioni dell'onda.



 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 113
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Con riferimento allo schema rappresentato in Fig. 7.21, le formule utilizzate per determinare la risultante delle pressioni sulla verticale sono le seguenti:

**cresta d'onda**

$$\begin{cases} p_0 = \gamma_w \left( d + \frac{H_d}{\cosh kd} \right) \frac{\eta^*}{d + \eta^*} \\ p_c = p_0 \frac{\eta^* - h_c}{\eta^*} \\ p_b = \gamma_w \frac{H_d}{\cosh kd} \end{cases} \quad (\text{se } \eta^* \geq h_c)$$

essendo

$$\eta^* = H_d + h_0$$

$$h_0 = \frac{\pi H_d^2}{L} \frac{1}{\tanh kd}$$

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

**cavo d'onda**

$$\begin{cases} p_0 = \gamma_w \eta' \\ p_b = \gamma_w \frac{H_d}{\cosh kd} \end{cases}$$

essendo


$$\eta' = H_d - h_0$$

$$h_0 = \frac{\pi H_d^2}{L} \frac{1}{\tanh kd}$$

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

dove

- $d$  = altezza fondale misurata dal medio mare, inclusa marea, e sul lato mare onda lunga ed eustatismo;
- $h_0$  = sopraelevazione del livello medio rispetto al livello di riposo nel fenomeno del clapotis;
- $\gamma_w$  = peso specifico dell'acqua di mare;
- $H_d$  = ampiezza dell'onda del *clapotis gaufre* ( $= 0.66 H_i$ );
- $L$  = lunghezza d'onda al piede del cassone, calcolata con riferimento al periodo d'onda significativo  $T_s$ .

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 114
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

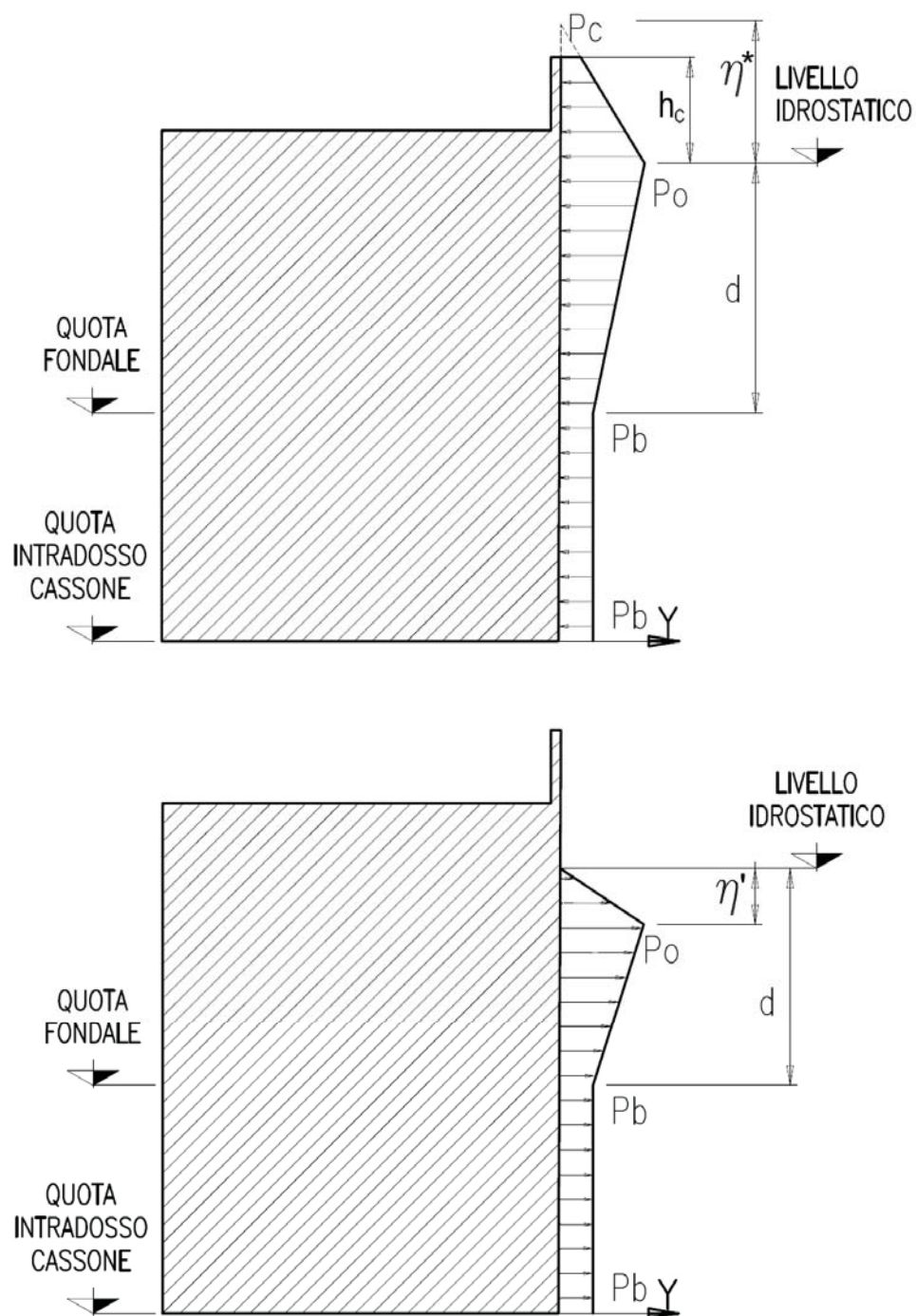



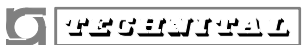
FIG. 7.21 - ANDAMENTO DELLE PRESSIONI LUNGO LA VERTICALE SUL CASSONE DI SPALLA IN ACCORDO CON LA TEORIA DI SAINTFLOU: SOPRA IN CORRISPONDENZA DELLA CRESTA DELL'ONDA, SOTTO IN CORRISPONDENZA DEL CAVO

 <b>REGIONE</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 115
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Nelle verifiche strutturali, per semplicità computazionale, anziché considerare una variazione di pressione lungo la parete di tipo sinusoidale si è stabilito di considerare i seguenti 3 schemi:


1. sovrappressione dovuta alla cresta dell'onda estesa su tutta la lunghezza del cassone;
2. sovrappressione dovuta al cavo dell'onda estesa su tutta la lunghezza del cassone;
3. alternanza degli effetti di cavo cresta su gruppi di 3+3 celle attigue.

L'azione delle onde lunghe, tenuto conto che alle bocche queste sono caratterizzate da periodi superiori al minuto, viene trattata alla stessa stregua di una variazione di livello statico, considerando un valore costante (positivo o negativo a seconda della verifica) pari all'ampiezza significativa ( $H_s/2$ ) dell'onda lunga di riferimento. Nel caso di paratoie abbassate tale livello andrà considerato sull'intera faccia lato canale, mentre nel caso di paratoie sollevate andrà applicato solo sul lato mare del cassone poiché, come evidenziato dai modelli fisici delle bocche, l'onda lunga viene completamente riflessa dalle paratoie. Si fa presente che i valori di altezza d'onda di lungo periodo riportati in Tab. 3.9 sono stati dedotti dalle prove a paratoie sollevate e quindi rappresentano l'onda totale (incidente + riflessa) presente davanti alla barriera. A favore di sicurezza si è stabilito di considerare tali valori anche nelle verifiche a paratoie abbassate.

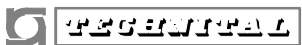
	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 116
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## 8. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [Rif. 1] Progetto definitivo delle opere alle bocche – Relazione meteomarina e morfologica, VE0734 – PDRT006
- [Rif. 2] Relazione finale dello Studio B.6.54 “Realizzazione di una serie di prove sul modello fisico della bocca di Malamocco”, VE502 – ST – RF0001 del 31/03/2003
- [Rif. 3] Studio B.6.96/II “Studio per il controllo della messa in opera dei cassoni di spalla” Disciplinare tecnico della”, 1^Perizia di variante e suppletiva, Bollettini trimestrali sui dati misurati dalla boa ondametrica e dall’ondametro
- [Rif. 4] Studio B.6.96/II “Studio per il controllo della messa in opera dei cassoni di spalla” Disciplinare tecnico della”, 2^Perizia di variante e suppletiva, Bollettini trimestrali sui dati misurati dalla boa ondametrica e dai 4 ondamenti alle bocche di Lido Treporti, Lido San Nicolò, Malamocco e Chioggia.
- [Rif. 5] Co.Ri.La, “Scenari di crescita del livello del mare per la Laguna di Venezia”, novembre 1999
- [Rif. 6] PIANC, “Design of Movable Weirs and Storm Surge Barriers”, Report of Working Group 26 of the Inland Navigation Commission, gennaio 2006
- [Rif. 7] IPPC, “Greenhouse Effect and SeaLevelRise: The Cost of Holding Back the Sea”, Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, 2001
- [Rif. 8] Studio C.2.2/VII “Calibrazione e validazione del modello idrodinamico a maglia curvilinea per lo studio di interventi ambientali”
- [Rif. 9] Studio B.6.60 “Opere complementari – Sperimentazione della riduzione dei livelli alle bocche”
- [Rif. 10] Studio C.1.5 “Misure di ricambio mareale alle bocche di porto”
- [Rif. 11] Fofonoff, P. e R.C. Millard Jr “Algorithms for computation of fundamental properties of seawater” . Unesco Technical Papers in Marine Science 44, 53 pp, 1983
- [Rif. 12] Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici “Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime”. Publ. GNCDI n.1450, 1996
- [Rif. 13] USACE “Coastal Engineering Manual”, Part VI “Design of coastal project element – Fundamentals of design”, giugno 2006
- [Rif. 14] Scarsi, Stura “Sulla riflessione obliqua delle onde di mare”, Estratto dagli Atti dell’Accademia Ligure di scienze e Lettere, Vol.XXXIII, 1976
- [Rif. 15] Hajime Mase, Tetsu Memita, Masatoshi Yuhi, Toshikazu Kitano “Stem waves along vertical wall due to random wave incidence”, Coastal engineering 44 (2002), pp 339-350

 <b>PROVERBS</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 117
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

- [Rif. 16] Battjes “Effect of short-crestedness on wave loads on long structures” Appliedd Ocean Research, Vol.4,n°3, 1982
- [Rif. 17] Burcharth and Liu “Force Reduction of Short-Crested Non Breaking Waves on Caissons”. Section 4.3, Part 4, Class II Report of MAST II Project: PROVERBS, Technical University of Braunschweig, Germany, 1998.
- [Rif. 18] Studio B.6.96/II fase –“Prove su modello in vasca del cassone di spalla” Rapporto Finale CF, Aprile 2010
- [Rif. 19] Studio B.6.96/II fase –“Prove su modello in vasca del cassone di spalla” Addendum al Rapporto Finale CF, Dicembre 2010
- [Rif. 20] Relazione finale dello Studio B.7.03/I: - “Completamento della sperimentazione sul gruppo cerniera-connettore delle paratoie e costruzione della preserie”, MV115C – ST-RF – 1001 del 15/12/2006

	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 118
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## INDICE DELLE FIGURE

Fig. 2.1 - Distribuzione direzionale del vento misurato alla Piattaforma Acqua Alta (1988-2003) .....	8
Fig. 2.2 - Distribuzione direzionale del vento misurato a Lido S.Nicolò (1951-1977).....	9
Fig. 2.3 - Distribuzione su base mensile delle misure registrate alla Piattaforma acqua alta con $V_v > 5$ m/s e 10 m/s (periodo Gen. 88-dic 03) .....	11
Fig. 2.4 - Distribuzione direzionale su base stagionale del valore della velocità del vento al picco per gli eventi con $V_v$ al picco $> 10$ m/s e loro durata alla piattaforma acqua alta.....	12
Fig. 2.5 - Persistenza delle calme di vento alla Piattaforma Acqua Alta .....	13
Fig. 2.6 - Valori estremi del vento dedotti dai dati misurati (valor medio su 10 minuti) nelle due stazioni anemometriche riferiti alla quota di 10 m s.l.m.m .....	14
Fig. 3.1 - Clima del moto ondoso alla piattaforma acqua alta dedotto dalle misure eseguite nel periodo : ott.1987-dic.2007 .....	17
Fig. 3.2 - Probabilità di non superamento dell' altezza d'onda significativa alla Piattaforma Acqua Alta (ott. 1987-dic 2007) .....	18
Fig. 3.3 - Distribuzione su base mensile degli eventi registrati alla Piattaforma acqua alta con $H_s > 1.0$ m (periodo ott. 87-dic 03) .....	19
Fig. 3.4 - Relazione tra periodo e altezza d'onda alla piattaforma Acqua Alta .....	21
Fig. 3.5 - Distribuzione direzionale su base stagionale del valore dell'altezza d'onda al picco per gli eventi con $H_s$ al picco $> 1.0$ m e loro durata al largo .....	22
Fig. 3.6 - Persistenza delle mareggiate alla Piattaforma Acqua Alta .....	23
Fig. 3.7 - Statistica del moto ondoso al largo concomitante con le alte maree per diversi valori di soglia.....	24
Fig. 3.8 - Frequenza di accadimento delle altezze d'onda al largo in occasione della chiusura delle barriere nei 100 anni di vita dell'opera .....	25
Fig. 3.9 - Statistica combinata altezze d'onda ( $H_s$ ) e livelli del mare (h) alla Piattaforma Acqua Alta ..	26
Fig. 3.10 - Clima del moto ondoso di fronte alla bocca di Malamocco depurato delle calme (ott.1987 – dic.2007) .....	28
Fig. 3.11 - Funzioni di trasferimento del moto ondoso dalla piattaforma CNR al punto M2 .....	30
Fig. 3.12 - Configurazione di progetto - Risultati delle simulazioni dei campi d'onda monodirezionali e dispersi in direzione ( $80^\circ N$ , $90^\circ N$ e $110^\circ N$ ) in assenza di frangimento e $T=8$ s, in termini di coefficiente di attenuazione .....	33
Fig. 3.13 - Configurazione di progetto - Risultati delle simulazioni (in termini di altezza d'onda) dei campi d'onda dispersi in direzione ( $80^\circ N$ , $90^\circ N$ e $110^\circ N$ ) in assenza e in presenza di frangimento. $H$ 5.4 m e $T=10.5$ s per il settore di bora-levante, $H$ 5.4 m e $T=11.5$ s per il settore di scirocco .....	34
Fig. 3.14 - Planimetria del modello fisico in scala 1:80 della bocca di Malamocco:inquadramento geografico e batimetrie riprodotte.....	35
Fig. 3.15 - Ubicazione delle sonde di moto ondoso nel modello in prossimità della barriera di Malamocco.....	36
Fig. 3.16 - Barriera di Malamocco: risultati del modello fisico nella configurazione del progetto definitivo.....	37
Fig. 3.17 - Onde di breve periodo misurate in prossimità della spalla nord.....	38
Fig. 3.18 - Onde di breve periodo misurate in prossimità della spalla sud .....	38
FIG. 3.19 - FRONTI D'ONDA ALL'INTERNO DELLA BOCCA DI MALAMOCCO (MODELLO <i>GEMMA</i> ).....	41


 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 119
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Fig. 3.20 - Riduzione di Hs dal largo alla stazione 7 di Malamocco .....	42
Fig. 3.21 - Stazione 7 di Malamocco relazione tra Hs e Ts (a sinistra) e tra Hs e Hmax (a destra).....	43
Fig. 3.22 - Malamocco: Distribuzione direzionale e stagionale del valore dell'altezza d'onda al picco per gli eventi con Hs al picco>0.5m e loro durata. Valori dedotti dalle registrazioni alla stazione 7 .....	47
Fig. 3.23 - Ubicazione dello strumento installato a Malamocco .....	49
Fig. 3.24 - Riduzione di Hs dal largo alla barriera di Malamocco per il settore di bora-levante (sopra) e di scirocco (sotto) - Dati studio B.6.96/II fase 1^ e 2^ perizia di variante e suppletiva periodo: dicembre 2008 - gennaio 2011 .....	50
Fig. 3.25 - Valori di altezza d'onda e del periodo dedotti dalle registrazioni dell'ADCP: in alto il periodo di picco, in basso il periodo medio - Dati studio B.6.96/II fase 1^ e 2^ perizia di variante e suppletiva periodo: dicembre 2008 - gennaio 2011 .....	51
Fig. 3.26 - Misure di altezza d'onda e velocità della corrente acquisite dall'ADCP alla bocca di Malamocco - Dati studio B.6.96/II fase 1^ e 2^ perizia di variante e suppletiva periodo: dicembre 2008 - gennaio 2011 .....	52
Fig. 4.1 - Statistica dei livelli di marea massimi e minimi registrati a Punta della Salute .....	53
Fig. 4.2 - Frequenza di superamento dei livelli registrati a Punta della Salute .....	54
Fig. 4.3 - Analisi statistica dei gradienti medi di marea (dai livelli orari misurati a Punta della Salute nel periodo 1955-2004).....	57
Fig. 4.4 - Probabilità di superamento e valori estremi del gradiente in flusso .....	58
Fig. 4.5 - Confronto tra i dati sperimentali e la relazione adottata tra gradiente medio e portata massima nel canale di Malamocco nella configurazione antecedente la costruzione delle opere mobili .....	59
Fig. 4.6 - Rapporto tra velocità locale e velocità massima in corrispondenza della sezione di barriera..	61
Fig. 4.7 - Velocità massima nella zona di barriera in funzione del gradiente di marea .....	62
Fig. 4.8 - Analisi statistica della velocità massima nella zona della barriera di Malamocco desunta dall'analisi dei gradienti medi di marea (dai livelli orari misurati a Punta della Salute nel periodo 1955-2004).....	63
Fig. 4.9 - Statistica delle velocità massime, mediate sulla verticale, in corrispondenza della zona della barriera di Malamocco .....	64
Fig. 4.10 - Campo di velocità in prossimità della barriera di Malamocco per un evento con ricorrenza annuale (sopra flusso, sotto riflusso) .....	65
Fig. 4.11 - Campo di velocità in prossimità della barriera di Malamocco per un evento con periodo di ritorno Tr=100 anni (sopra flusso, sotto riflusso) .....	66
Fig. 4.12- Campo di velocità in prossimità della barriera di Malamocco per un evento con periodo di ritorno Tr=1000 anni (sopra flusso, sotto riflusso).....	67
Fig. 4.13 - Bocca di Malamocco: Velocità misurata (media sulla verticale) con fattore di trasposizione – Regressioni curve 50,90 e 95 percentile in flusso (sopra) e riflusso (sotto).....	69
Fig. 5.1 - Distribuzione mensile della temperatura dell'acqua alla bocca di Malamocco.....	71
Fig. 5.2 - Distribuzione mensile della salinità dell'acqua alla bocca di Malamocco .....	72
Fig. 5.3 - Curve a densità costante (kg/m <sup>3</sup> ) in funzione della salinità e della temperatura dell'acqua di mare.....	73
Fig. 6.1 - Valori della temperatura dell'aria su base mensile (dati Istituto Bioclimatologico del Lido periodo 1978-1987).....	75
Fig. 7.1 - <i>Point-pressure force reduction</i> per onde stazionarie inclinate .....	78

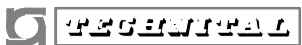
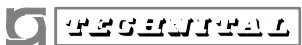
	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 120
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	



Fig. 7.2 -	<i>Peak-delay force reduction</i> per onde regolari inclinate.....	79
Fig. 7.3 -	<i>Peak-delay force reduction</i> per il cassone di spalla di Malamocco.....	80
Fig. 7.4 -	Confronto tra il <i>peak-delay force reduction</i> per onde regolari e irregolari inclinate (Hs=0.16m, Tp=12s, d=0.3m) al variare dell'angolo di incidenza.....	80
Fig. 7.5 -	Schema del cassone di spalla all'interno del recesso.....	81
Fig. 7.6 -	Panoramica generale del modello fisico .....	82
Fig. 7.7 -	Allestimento del modello fisico del cassone di spalla in scala 1:15 .....	83
Fig. 7.8 -	Modello fisico del cassone di spalla in scala 1:15 – Disposizione delle sonde per il rilievo del moto ondoso (onda in generazione inclinata di 20° rispetto all'asse della bocca) .....	84
Fig. 7.9 -	Modello fisico del cassone di spalla in scala 1:15 .....	86
Fig. 7.10 -	Modello fisico del cassone di spalla in scala 1:15 – Disposizione delle celle di misura delle sollecitazioni (sopra) e dei sensori di pressione (sotto) .....	87
Fig. 7.11 -	Diverse configurazioni dei recessi esaminate nel modello fisico del cassone di spalla sud di Malamocco.....	89
Fig. 7.12 -	Modello fisico del cassone di spalla in scala 1:15 – Formazione della <i>stem wave</i> nel caso di attacco inclinato (20°) del moto ondoso .....	91
Fig. 7.13 -	Andamento dell'altezza d'onda significativa lungo il perimetro del cassone (Tp = 5.5 s e configurazione R1) .....	92
Fig. 7.14 -	Amplificazione dell'altezza d'onda significativa lungo i lati interni del cassone rispetto a quella sul lato canale nelle prove con onda parallela. A sinistra: in mezzeria dei lati corti del cassone (A e C), a destra: sul lato lungo (B). Risultati Studio B.6.96/II relativi al cassone di spalla sud di Malamocco .....	94
Fig. 7.15 -	Amplificazione dell'altezza d'onda significativa lungo i lati interni del cassone rispetto a quella sul lato canale nelle prove con onda inclinata di 20°. Sopra: in mezzeria dei lati corti del cassone (A e C), sotto: sul lato lungo (B). Risultati Studio B.6.96/II relativi al cassone di spalla sud di Malamocco .....	95
Fig. 7.16 -	Valori delle azioni $F_{1/100}$ ottenuti filtrando i risultati delle prove del cassone di spalla di Malamocco con onda inclinata di 20°.....	97
Fig. 7.17 -	Spettri di energia delle azioni risultanti sul cassone di Malamocco nel caso di onda inclinata con periodo Tp=6.2s e cassone bloccato (prova C2-63).....	99
Fig. 7.18 -	Spettri di energia delle azioni risultanti sul cassone di Malamocco nel caso di onda parallela con periodo Tp=6.2s e cassone appeso (prova C2-15) .....	100
Fig. 7.19 -	Appoggio su perni: schema di distribuzione delle pressioni sulle facce del cassone di spalla da assumere nelle analisi strutturali .....	110
Fig. 7.20 -	Appoggio su sacconi di prima fase: schema di distribuzione delle pressioni sulle facce del cassone di spalla da assumere nelle analisi strutturali .....	111
Fig. 7.21 -	Andamento delle pressioni lungo la verticale sul cassone di spalla in accordo con la teoria di Sainflou: sopra in corrispondenza della cresta dell'onda, sotto in corrispondenza del cavo.....	114



	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 121
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## INDICE DELLE TABELLE

Tab. 2.1 - Distribuzione direzionale del vento (valor medio su 10 minuti) misurato alla Piattaforma Acqua Alta (1988-2003) riferito alla quota di 10 m s.l.m.m. ....	10
Tab. 2.2 - Distribuzione direzionale del vento (valor medio su 10 minuti) misurato a Lido S. Nicolò (1951-1977) riferito alla quota di 10 m s.l.m.m. ....	10
Tab. 2.3 - Distribuzione su base mensile delle misure registrate alla Piattaforma con $V_v > 5$ m/s e 10 m/s (periodo Gen. 88-dic 03) ....	11
Tab. 2.4 - Persistenza delle tempeste alla Piattaforma Acqua Alta.....	13
Tab. 2.5 - Valori estremi della velocità del vento (valor medio su 10 minuti) riferiti alla quota di 10 m s.l.m.m. ....	14
Tab. 3.1 - Valori estremi del moto ondoso al largo.....	15
Tab. 3.2 - Statistica direzionale del moto ondoso alla Piattaforma Acqua Alta (dati triorari ott. 1987-dic.2007) .....	16
Tab. 3.3 - Distribuzione su base mensile degli eventi registrati alla Piattaforma acqua alta con $H_s > 1.0$ m (periodo ott. 87-dic 03) .....	19
Tab. 3.4 - Statistica direzionale del moto ondoso di fronte alla bocca di Malamocco (dati ott. 1987-dic.2007) .....	29
Tab. 3.5 - Valori estremi del moto ondoso di fronte alla bocca di Malamocco.....	31
Tab. 3.6 - Statistica combinata onde e livelli all'esterno della bocca di Malamocco (punto M2).....	31
TAB. 3.7 - VALORI DEL FATTORE DI DISPERSIONE DA APPLICARE AI RISULTATI DEL MODELLO FISICO .....	39
Tab. 3.8 - Statistica combinata onde e livelli per i cassoni di soglia della barriera di Malamocco .....	40
Tab. 3.9 - Statistica combinata onde e livelli per i cassoni della spalla nord e della spalla sud di Malamocco.....	40
Tab. 3.10 - Onde in corrispondenza della futura barriera di Malamocco dedotte dalle registrazioni alla stazione 7: statistica annuale.....	44
Tab. 3.11 - Onde in corrispondenza della futura barriera di Malamocco dedotte dalle registrazioni alla stazione 7: statistica invernale .....	45
Tab. 3.12 - Onde in corrispondenza della futura barriera di Malamocco dedotte dalle registrazioni alla stazione 7: statistica estiva.....	46
Tab. 3.13 - Relazione tra altezza d'onda significativa e periodo di picco alla barriera di Malamocco dedotta dalle misure effettuate nel periodo 1987-1994 .....	48
Tab. 4.1 - Analisi statistica della relazione tra il gradiente medio di marea e le misure di velocità della corrente .....	68
Tab. 5.1 - Distribuzione mensile della temperatura dell'acqua alla bocca di Malamocco.....	70
Tab. 5.2 - Distribuzione mensile della salinità dell'acqua alla bocca di Malamocco .....	72
Tab. 6.1 - Valori della temperatura massima e minima mensile e corrispondenti valori dell'umidità relativa (dati Istituto Bioclimatologico del Lido periodo 1978-1987).....	74
Tab. 6.2 - Valori medi mensili della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa (dati Istituto Bioclimatologico del Lido periodo 1978-1987) .....	76
Tab. 7.1 - Caratteristiche delle prove eseguite sul modello fisico del cassone di spalla.....	90
Tab. 7.2 - Valori $F_{1/100}$ delle funzioni obiettivo indotte dal moto ondoso per la fase di appoggio sui perni in presenza di ritegni in sommità.....	106
Tab. 7.3 - Valori della zavorra e dei carichi sui pins dovuti alla marea.....	107

 	Rev. C0	Data: 20/07/12	El. MV079P-PE-MCR-8013	Pag. n. 122
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Tab. 7.4 - Valori della zavorra necessaria per contrasare le azioni meteomarine e dei carichi sui pins e sui ritegni di sommità nella fase di appoggio su perni .....	107
Tab. 7.5 - Valori della zavorra necessaria per contrastare le azioni meteomarine nella fase di appoggio su sacconi in corrispondenza di diversi periodi di ritorno .....	108