


C0	21/03/12	EMISSIONE PER APPROVAZIONE	GP	GP	YE
REVISIONE		DESCRIZIONE	EL.	CON.	APP.
<b>MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI</b> <b>MAGISTRATO ALLE ACQUE</b>					
<b>NUOVI INTERVENTI PER LA SALVAGUARDIA DI VENEZIA</b> CONVENZIONE REP. 7191 DEL 04-10-1991 ATTO ATTUATIVO A VALERE SU 7 <sup>a</sup> ASSEGNAZIONE CIPE PER IL “SISTEMA MOSE” ATTO ATTUATIVO A VALERE SU 9 <sup>a</sup> ASSEGNAZIONE CIPE PER IL “SISTEMA MOSE”					
<b>INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER LA REGOLAZIONE DEI FLUSSI DI MAREA</b> CUP: D51B02000050AA1 (CIPE 7 PROGETTAZIONE); D51B02000050AC1 (CIPE 9 LAVORI)					
<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>WBS: LN.H1.43.PE</b> <b>WBE: LN.H1.43.PE.11</b>  <b>BOCCA DI LIDO SAN NICOLÒ' - BARRIERA: PALANCOLE, PREPARAZIONE DEI RECESSI, OPERE CIVILI</b> <b>CASSONE DI SPALLA SUD - NS-S01</b>  <b>DATI DI PROGETTO - CONDIZIONI METEOMARINE</b>					
ELABORATO		CONTROLLATO	APPROVATO		
G. Pellegrini		G. Passacantando	Y. Eprim		
N. ELABORATO		CODICE FILE	DATA		
MV081P-PE-NCR-5013-C0		MV081P-PE-NCR-5013-C0.DOC	21 Marzo 2012		
<b>CONSORZIO “VENEZIA NUOVA”</b>					
COORDINAMENTO PROGETTAZIONE  VERIFICATO M. Gambillara   CONSORZIO VENEZIA NUOVA Ing. M. Brotto			PROGETTAZIONE    IL RESPONSABILE : Ing. A. SCOTTI		
OPERA PROTETTA AI SENSI DELLA LEGGE 22 APRILE 1941 N° 633 TUTTI I DIRITTI RISERVATI QUALSIASI RIPRODUZIONE ED UTILIZZAZIONE NON AUTORIZZATE SARANNO PERSEGUITE A RIGORE DI LEGGE					

 <b>REGIONE</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	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 A VALERE SU 7<sup>A</sup> ASSEGNAZIONE CIPE PER IL “SISTEMA MOSE”**

**ATTO ATTUATIVO A VALERE SU 9<sup>A</sup> ASSEGNAZIONE CIPE PER IL “SISTEMA MOSE”**


#### **CONSORZIO VENEZIA NUOVA**

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

##### **- PROGETTO ESECUTIVO -**


**BOCCA DI LIDO SAN NICOLÒ: BARRIERA: PALANCOLE,  
PREPARAZIONE DEI RECESSI, OPERE CIVILI  
CASSONE DI SPALLA SUD (NS-S01)**

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


	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	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 ONDOSI</b>	<b>15</b>
3.1. Moto ondoso al largo	15
3.2. Moto ondoso all'esterno della bocca di Lido	27
3.3. Moto ondoso alla barriera di San Nicolò	32
3.3.1. Onde estreme	32
3.3.2. Onde frequenti	38
<b>4. MAREE E PARAMETRI IDRODINAMICI</b>	<b>50</b>
4.1. Livelli di marea	50
4.2. Gradiente medio di marea	53
4.3. Velocità della corrente nella zona di barriera	55
<b>5. TEMPERATURA SALINITÀ E DENSITÀ DELL'ACQUA DI MARE</b>	<b>67</b>
5.1. Temperatura dell'acqua di mare	67
5.2. Salinità	68
5.3. Densità dell'acqua di mare	70
<b>6. TEMPERATURA E UMIDITÀ ARIA</b>	<b>71</b>
6.1. Temperatura dell'aria	71
6.2. Umidità dell'aria	73
<b>7. AZIONI DEL MOTO ONDOSI SUL CASSONE DI SPALLA</b>	<b>74</b>
7.1. Premessa	74
7.2. Il modello fisico del cassone di spalla nella fase di appoggio provvisorio	79
7.2.1. Descrizione del modello fisico del cassone di spalla	79
7.2.2. Prove eseguite e principali risultati conseguiti	85
7.3. Azioni sul cassone in fase di appoggio temporaneo	91

 <b>REGIONE</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	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	92
7.3.2.	Stabilità del cassone in appoggio sui sacconi	97
7.3.3.	Carichi per le analisi strutturali	98
7.4.	Azioni sul cassone in fase di esercizio	100
<b>8.</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b>	<b>104</b>
	<b>INDICE DELLE FIGURE</b>	<b>106</b>
	<b>INDICE DELLE TABELLE</b>	<b>109</b>

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	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 sud della barriera di San Nicolò 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 Lido ed in corrispondenza della barriera di San Nicolò. 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 Lido è stato valutato mediante modellazione matematica che ha portato alla definizione del clima del moto ondoso e alla statistica dei valori estremi a circa 2.5 km dall'ingresso della bocca di Lido.

Per l'esame della penetrazione delle onde estreme all'interno della bocca di Lido e alla barriera di San Nicolò 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.6.63. 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.

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	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/III a partire dal luglio 2009 e attualmente in corso nell'ambito dello studio B.6.96/II fase – 2^ perizia di variante e suppletiva. Tali dati hanno permesso di definire una correlazione tra altezza d'onda e periodo di picco e, sulla base delle informazioni dedotte dalle prove su modello fisico eseguite nella stessa configurazione della bocca, è stato possibile 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 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/III dal luglio 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 5 e 6 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

 <b>REGISTRO</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	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<sup>a</sup> perizia di variante 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.

## 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).

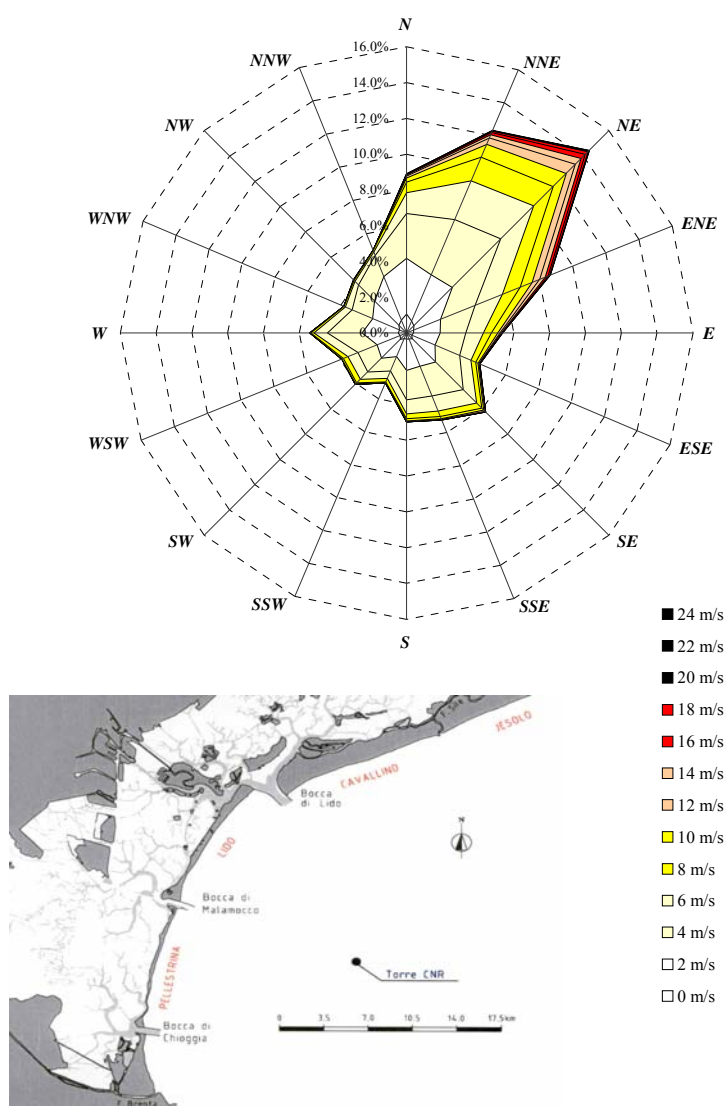


FIG. 2.1 - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEL VENTO MISURATO ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA (1988-2003)



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

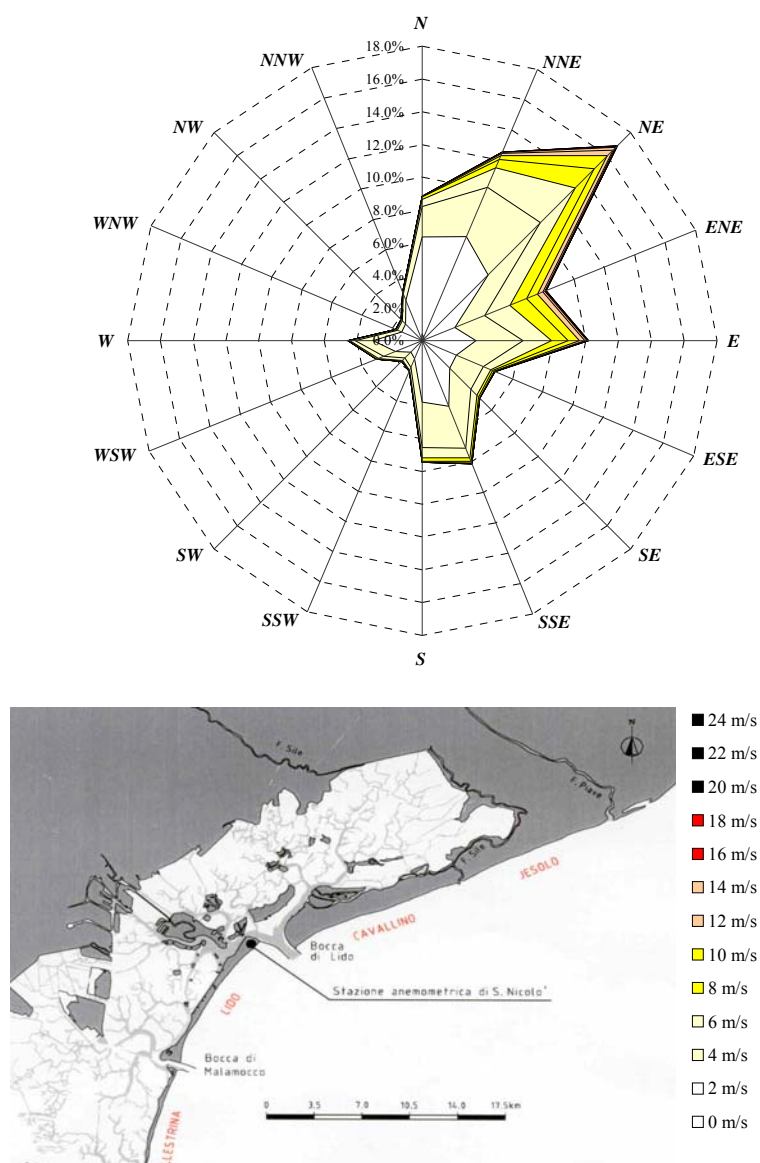



FIG. 2.2 - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE DEL VENTO MISURATO A LIDO S.NICOLÒ (1951-1977)

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	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 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 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 la 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)

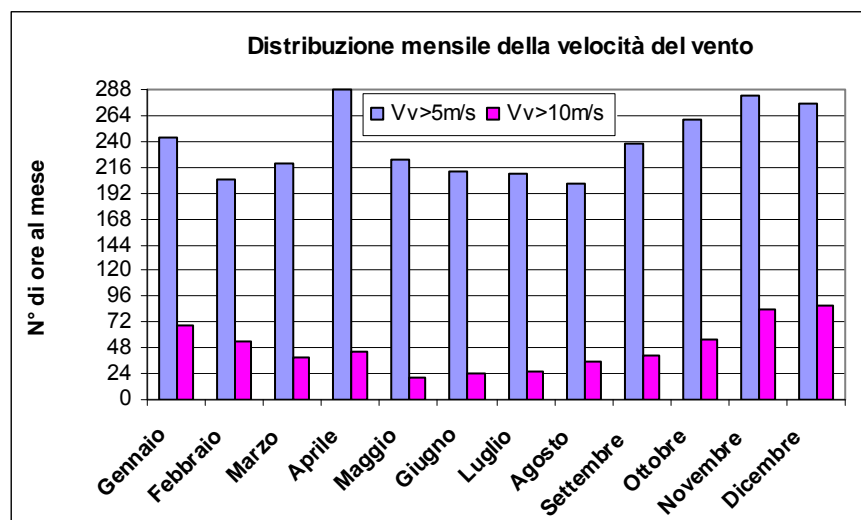


FIG. 2.3 - DISTRIBUZIONE SU BASE MENSILE DELLE MISURE REGISTRATE ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA CON VV>5 M/S E 10 M/S (PERIODO GEN. 88-DIC 03)

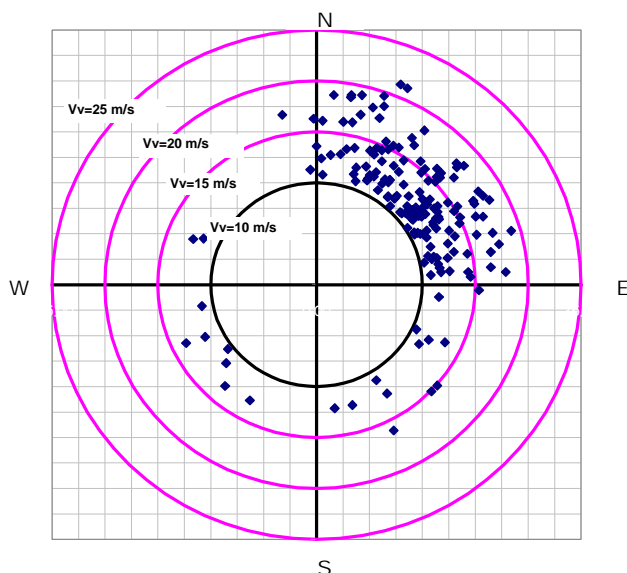
Un'altra informazione utile che può essere dedotta dalle misure eseguite in natura riguarda la persistenza stagionale degli eventi sopra una certa soglia e dei periodi di calma.

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)

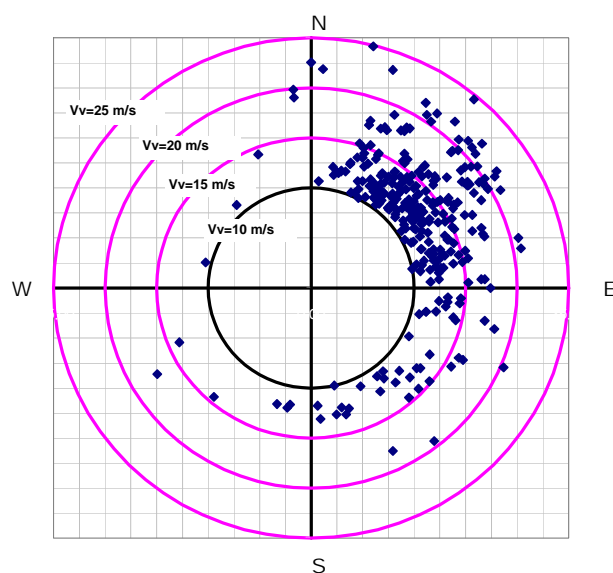
distribuzione dei valori di  $V_v$  al picco per gli eventi  
con  $V_v$  picco  $>10$  m/s e durata  $>3$  ore  
in funzione della direzione di provenienza

##### PERIODO ESTIVO

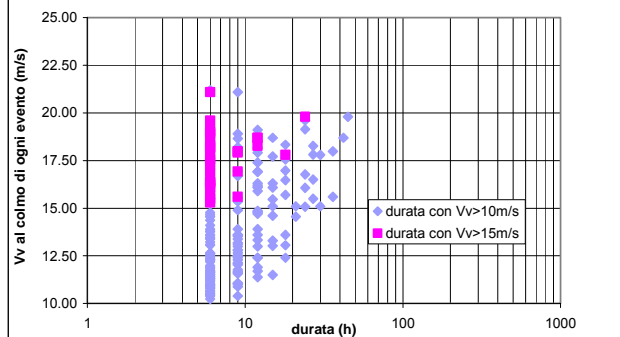


distribuzione dei valori di  $V_v$  al picco per gli eventi  
con  $V_v$  picco  $>10$  m/s e durata  $>3$  ore  
in funzione della direzione di provenienza

##### 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

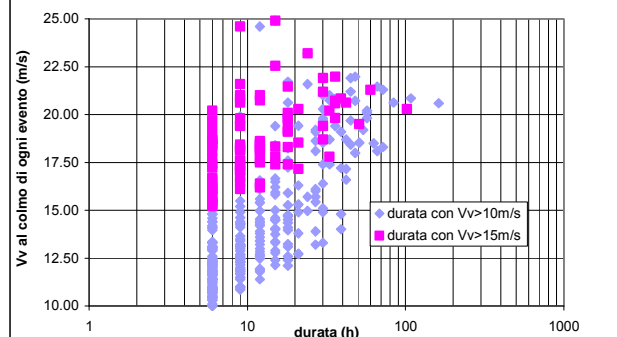


FIG. 2.4 - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE SU BASE STAGIONALE DEL VALORE DELLA VELOCITÀ DEL VENTO AL PICCO PER GLI EVENTI CON  $V_v$  AL PICCO  $>10$  M/S E LORO DURATA ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA.

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

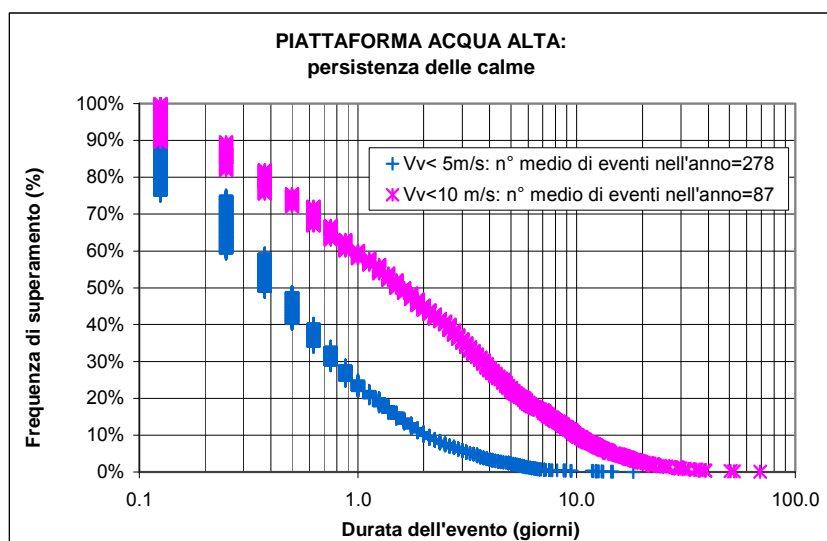


FIG. 2.5 - PERSISTENZA DELLE CALME DI VENTO ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA

## 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.

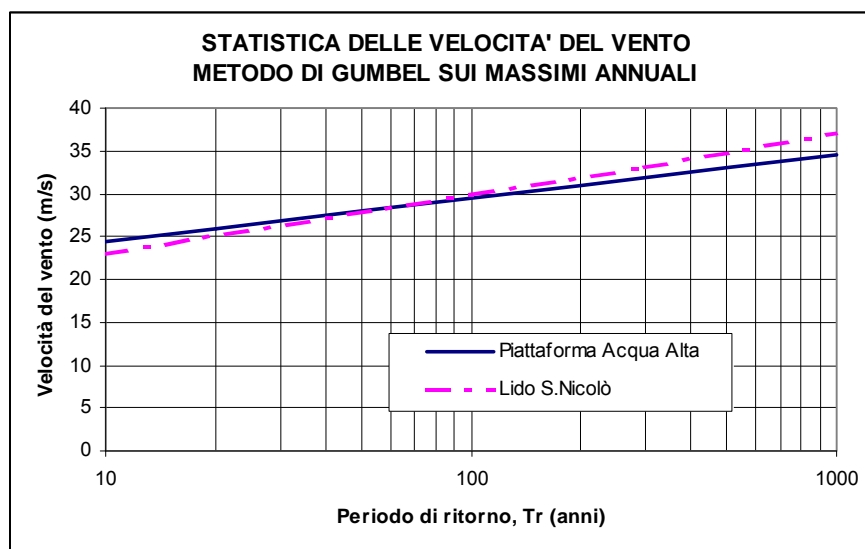


FIG. 2.6 - VALORI ESTREMI DEL VENTO DEDOTTI DAI DATI MISURATI NELLE DUE STAZIONI ANEMOMETRICHE RIFERITI ALLA QUOTA DI 10 M S.L.M.M

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 RIFERITI ALLA QUOTA DI 10 M S.L.M.M

### 3. MOTO ONDOSO

#### 3.1. Moto ondososo al largo

Le caratteristiche del moto ondososo 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 ONDOSOSO AL LARGO

In questa sede si approfondiscono le analisi relative alle misure direzionali di moto ondososo 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 ondososo dal CNR, poi proseguite dal Consorzio Venezia Nuova.

Il clima del moto ondososo 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 ondososo 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.

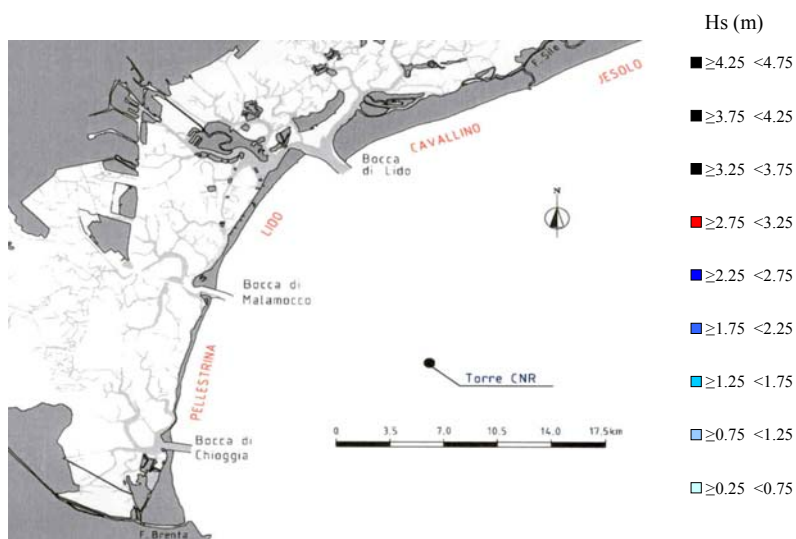
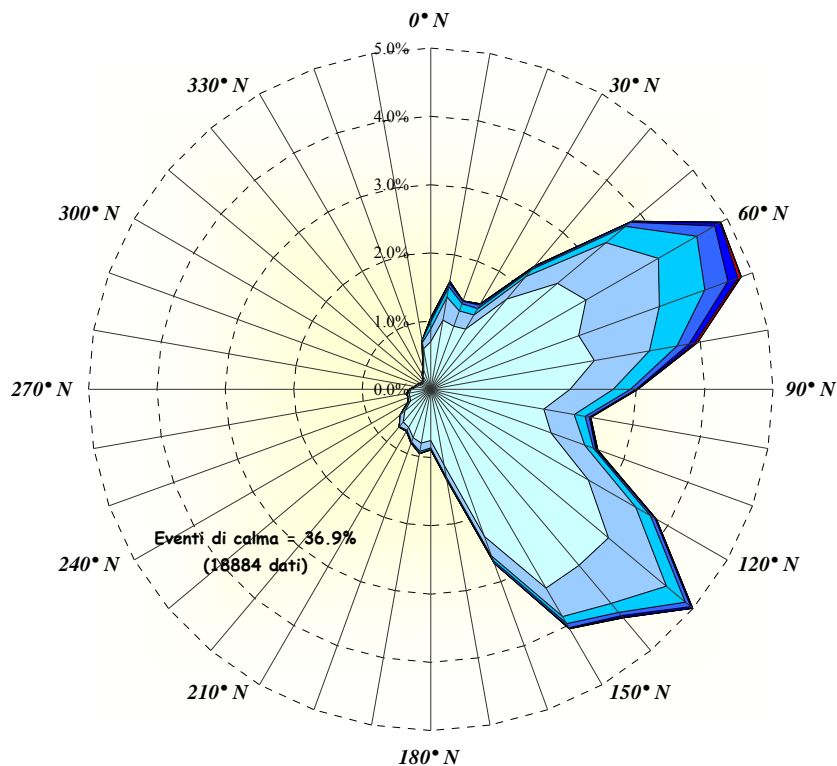
Il relativo diagramma polare, depurato degli eventi di calma, è rappresentato in Fig. 3.1. Si osserva che gli eventi di Bora sono centrati sulla direzione 60°N, mentre quelli di Scirocco sui 130°N.

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)

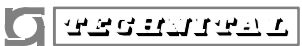
TAB. 3.2 - STATISTICA DIREZIONALE DEL MOTO ONDOLO ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA (DATI TRIORARI OTT. 1987- DIC.2007)





**DATI PTF CNR DA OTTOBRE 1987 A DICEMBRE 2007**  
**51110 dati determinati (7942 dati indeterminati)**

**FIG. 3.1 - CLIMA DEL MOTO ONDOSO ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA DEDOTTO DALLE MISURE ESEGUITE NEL PERIODO: OTT.1987-DIC.2007**

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	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 periodo di ritorno 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

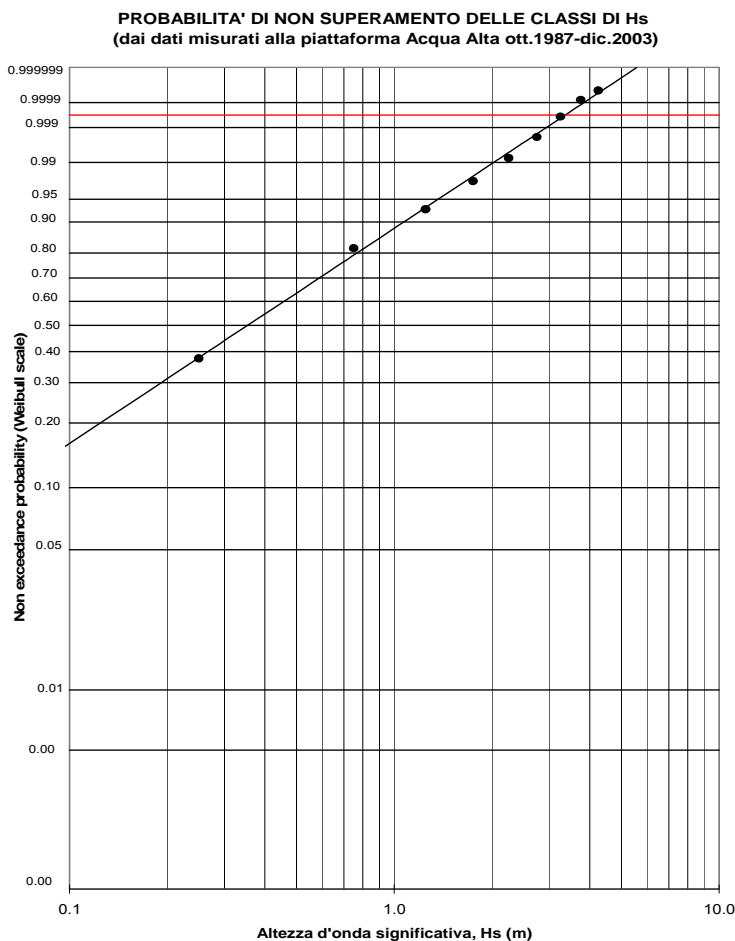


FIG. 3.2 - PROBABILITÀ DI NON SUPERAMENTO DELL' ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA (OTT. 1987-DIC 2007)

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 e 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)

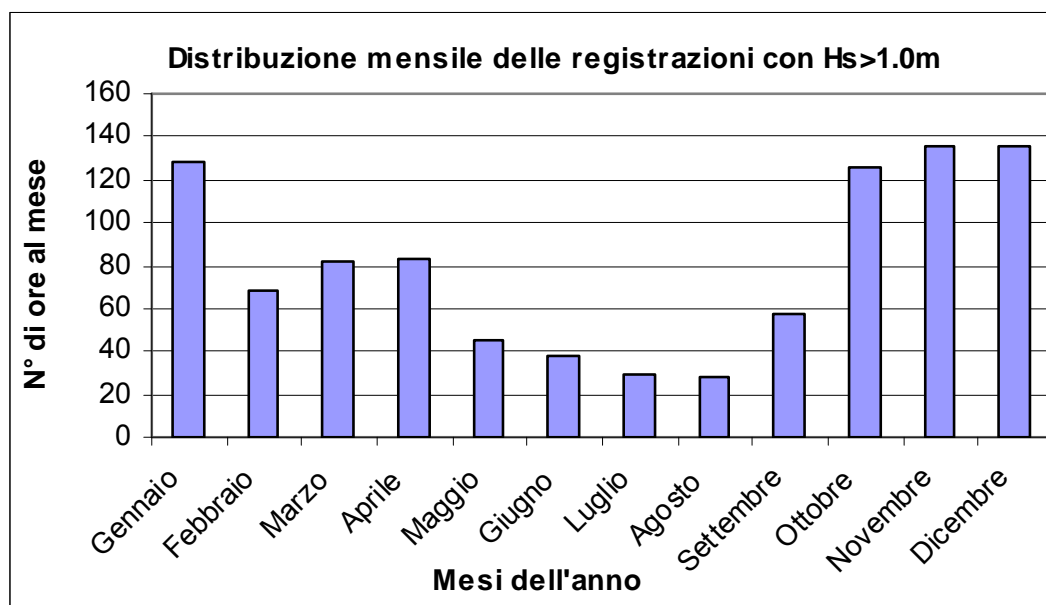



FIG. 3.3 - DISTRIBUZIONE SU BASE MENSILE DEGLI EVENTI REGISTRATI ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA CON  $H_s > 1.0$  M (PERIODO OTT. 87-DIC 03)

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	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:  $T_p = 4.5 \sqrt{H_s}$

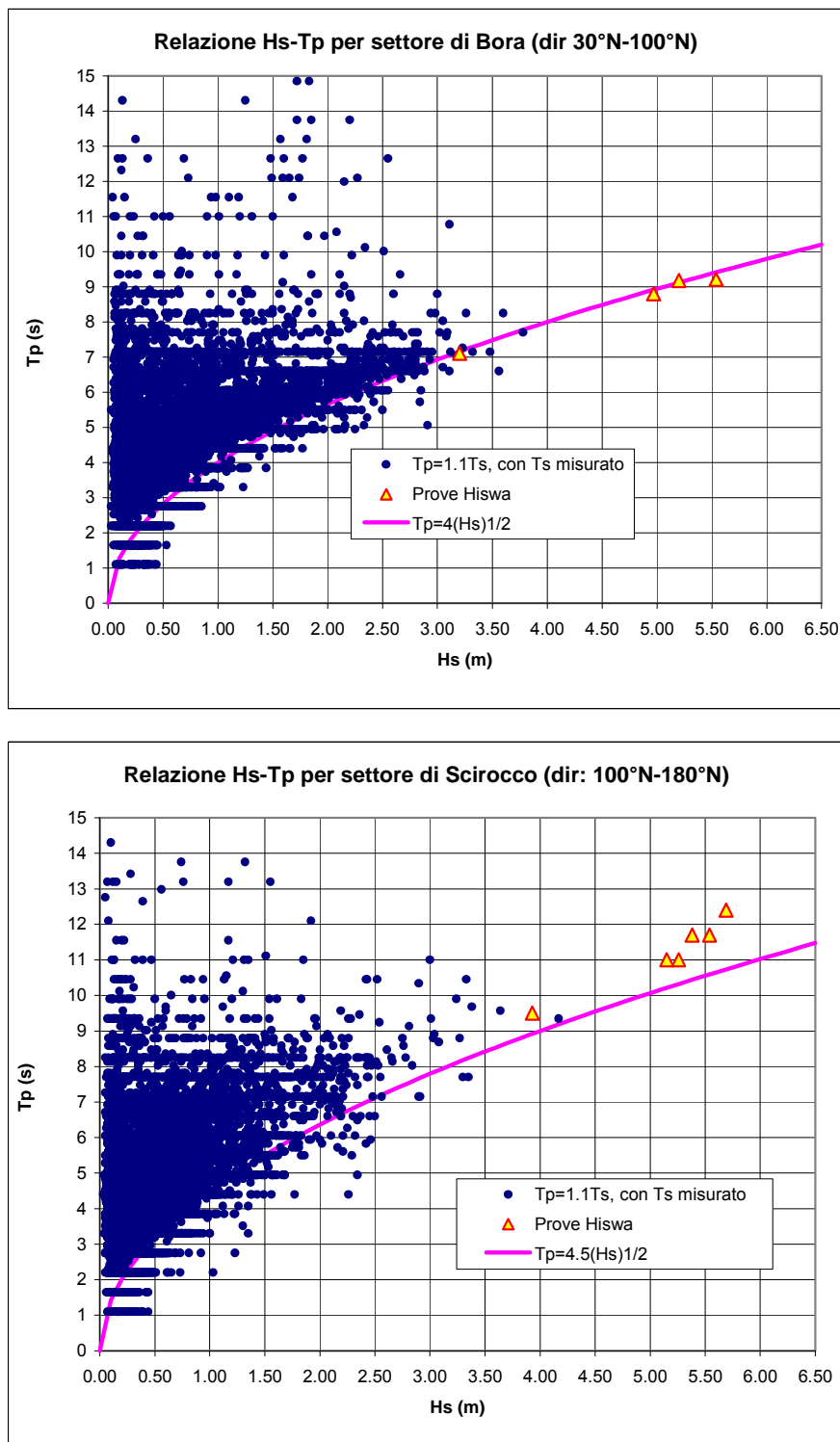
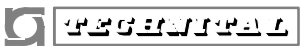


FIG. 3.4 - RELAZIONE TRA PERIODO E ALTEZZA D'ONDA ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 22
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

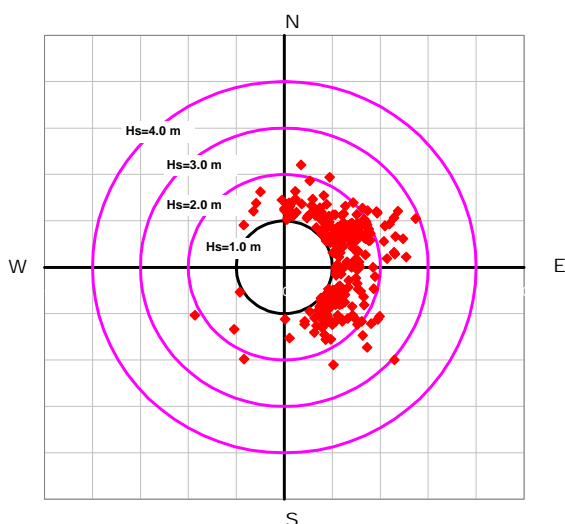
Un'altra informazione utile che può essere dedotta dalle misure eseguite in natura riguarda la persistenza stagionale delle mareggiate.

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

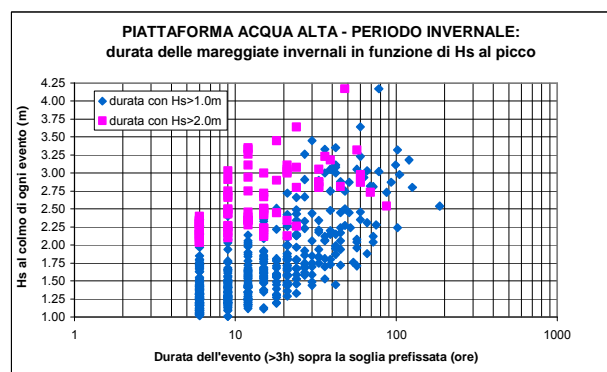
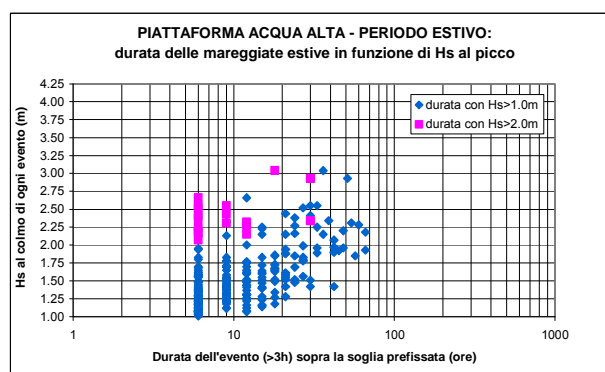
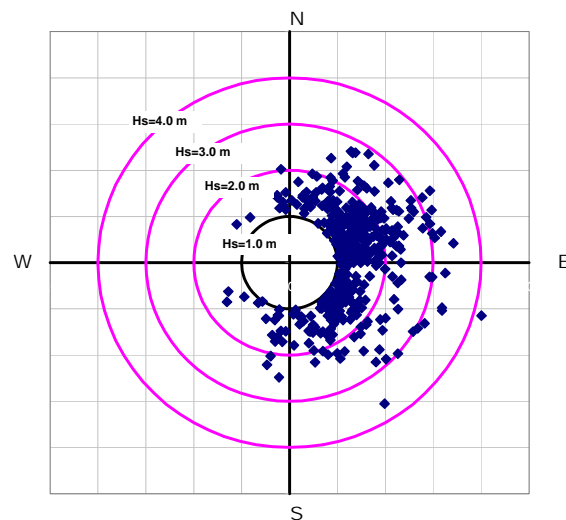


FIG. 3.5 - DISTRIBUZIONE DIREZIONALE SU BASE STAGIONALE DEL VALORE DELL'ALTEZZA D'ONDA AL PICCO PER GLI EVENTI CON  $H_s$  AL PICCO  $>1.0$  M E LORO DURATA AL LARGO

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

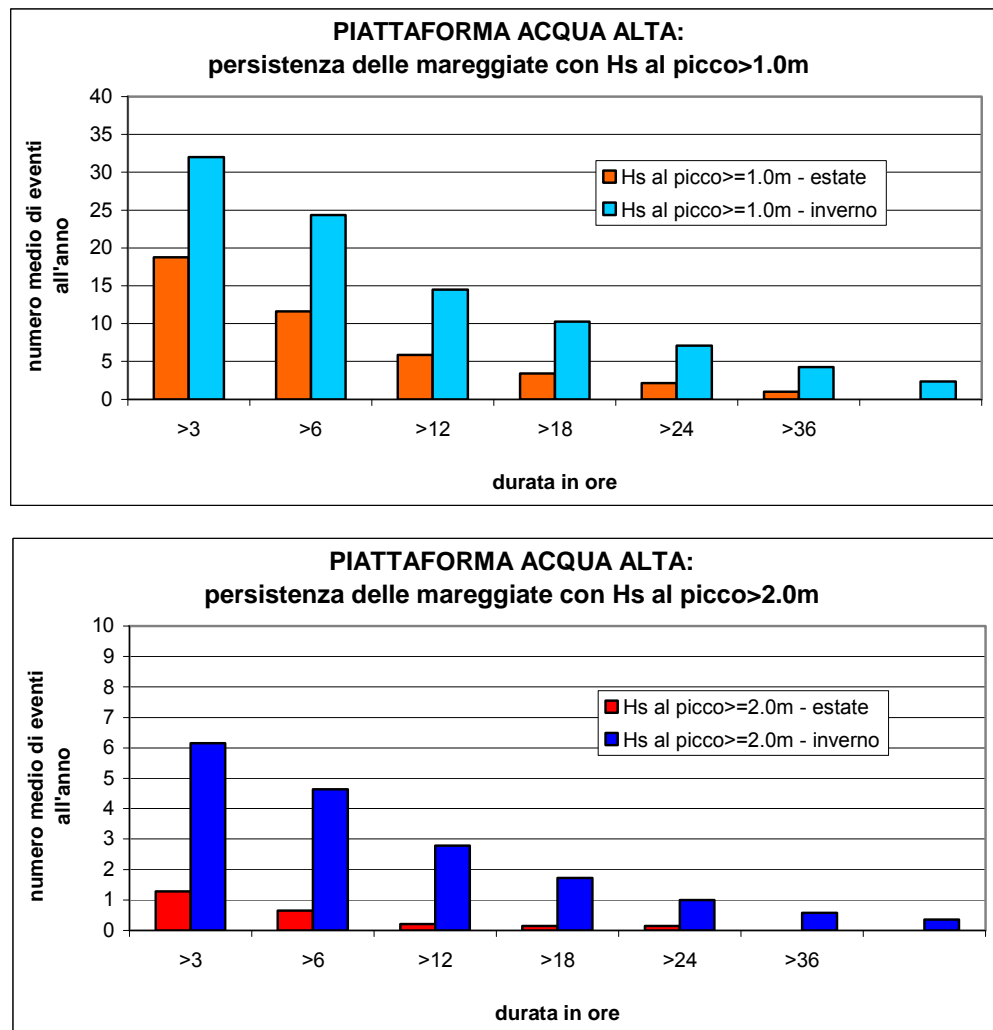


FIG. 3.6 - PERSISTENZA DELLE MAREGGIATE ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA

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.

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.

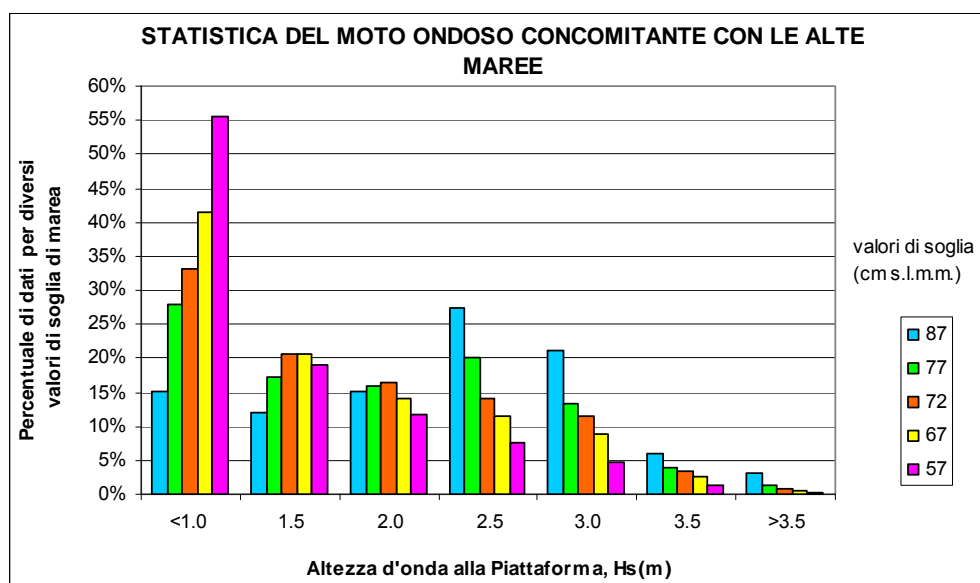


FIG. 3.7 - STATISTICA DEL MOTO ONDOSO AL LARGO CONCOMITANTE CON LE ALTE MAREE PER DIVERSI VALORI DI SOGLIA

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.



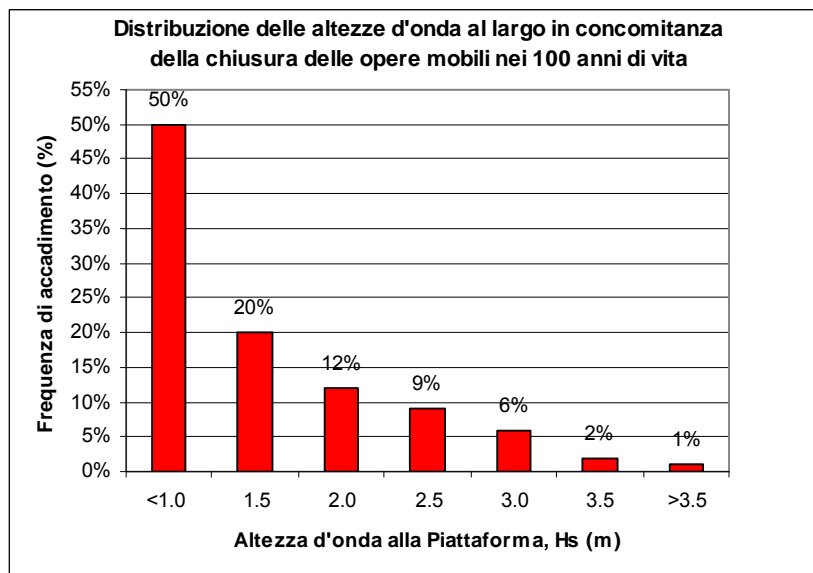


FIG. 3.8 - FREQUENZA DI ACCADIMENTO DELLE ALTEZZE D'ONDA AL LARGO IN OCCASIONE DELLA CHIUSURA DELLE BARRIERE NEI 100 ANNI DI VITA DELL'OPERA

#### 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.

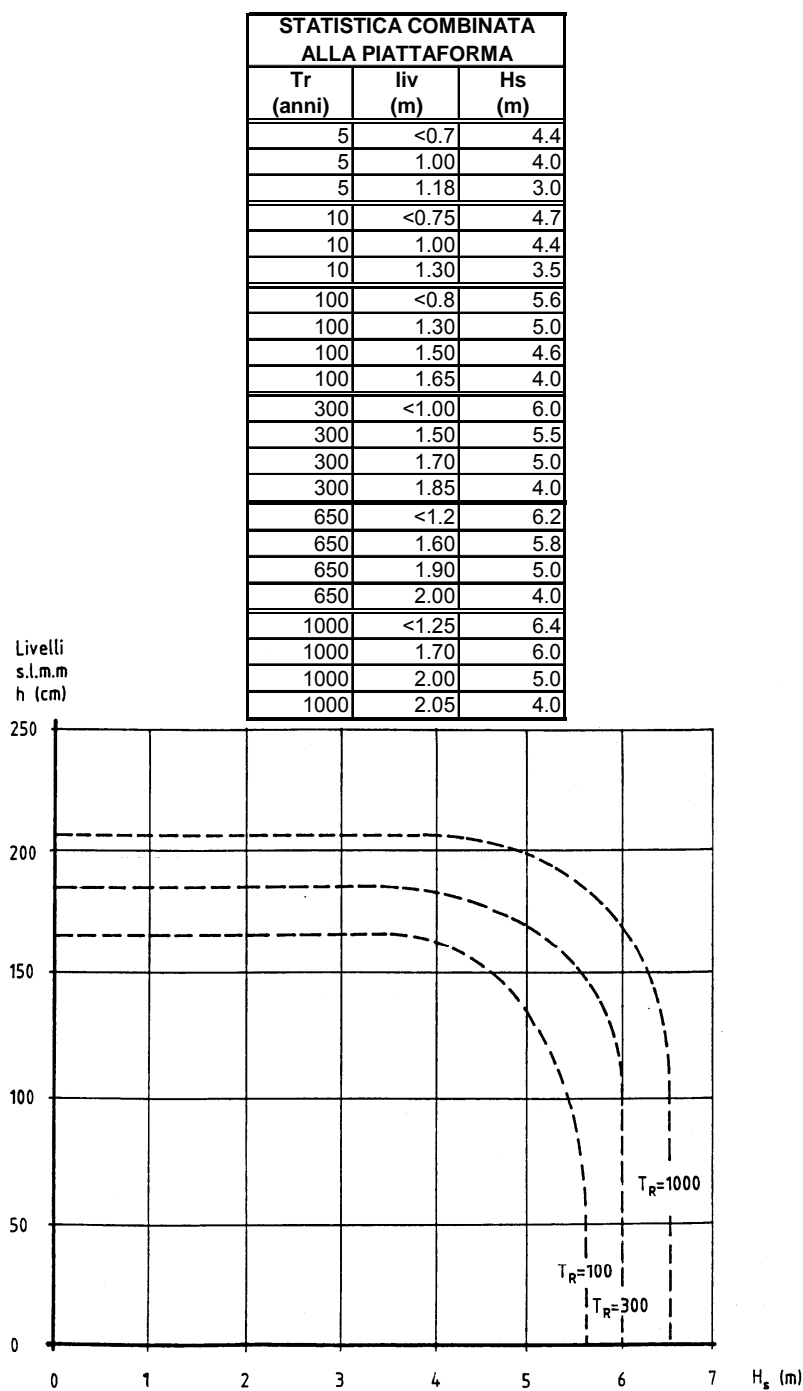



FIG. 3.9 - STATISTICA COMBINATA ALTEZZE D'ONDA (Hs) E LIVELLI DEL MARE (H) ALLA PIATTAFORMA ACQUA ALTA

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 27
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

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

Le trasformazioni del moto ondoso dalla Piattaforma Acqua Alta all'ingresso della bocca di Lido 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 Lido.

Il modello di *inversa spettrale Merope* ha permesso di definire il clima del moto ondoso di fronte alla bocca di Lido, a circa 2.5 Km dal suo ingresso, su fondali di circa 12.0 m (punto L2 di Fig. 3.10), a partire dalle registrazioni dirette effettuate alla Piattaforma Acqua Alta nel periodo ottobre 1987 – dicembre 2003.

Come si osserva dal diagramma polare di Fig. 3.10, gli eventi provenienti dal settore di Bora risultano centrati sulla direzione 80°N, mentre quelli di Scirocco sulla direzione 120÷140°N.

Nella Fig. 3.10 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. Gli eventi di calma, caratterizzati da un valore dell'altezza d'onda significativa inferiore a 0.25 m, sono il 50%, mentre circa l'1% delle registrazioni presenta valori superiori ai 2.0 m. Questi ultimi appartengono al settore 80°-140°N.

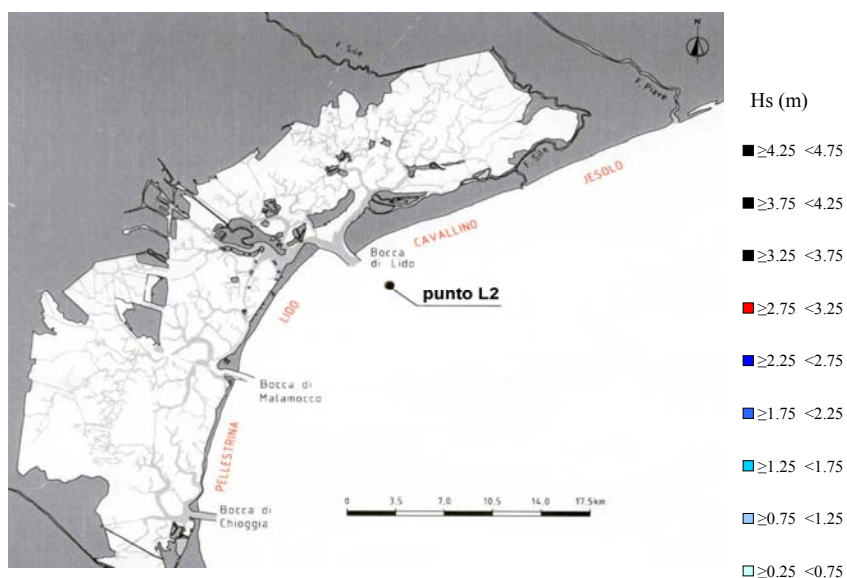
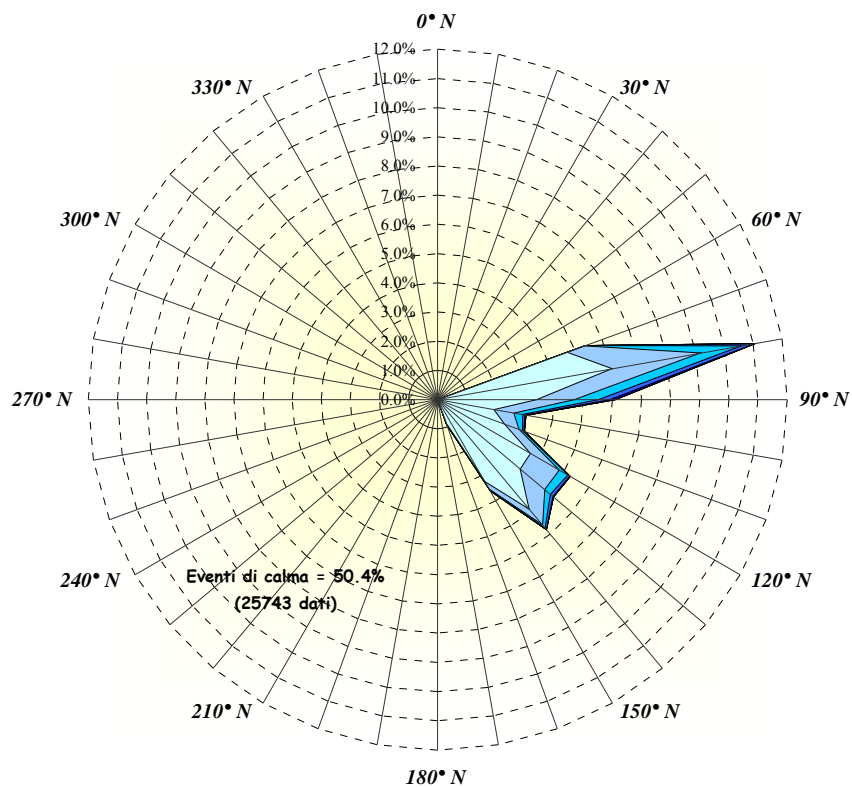



FIG. 3.10 - CLIMA DEL MOTO ONDOSO DI FRONTE ALLA BOCCA DI LIDO DEPURATO DELLE CALME (OTT.1987 – DIC.2007)

 <b>PROGETTA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	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			
70	13.69	4.73	0.65	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.09	5.40
80	4.08	6.08	3.07	1.42	0.43	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	15.14	11.07
90	2.83	3.40	1.29	0.82	0.40	0.16	0.02	0.00	0.00	0.00	8.94	6.10
100	1.34	1.97	0.69	0.31	0.07	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	4.41	3.07
110	1.84	2.43	0.53	0.13	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	5.01	3.17
120	2.55	3.68	1.15	0.33	0.08	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	7.81	5.26
130	2.70	3.70	1.09	0.26	0.12	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	7.89	5.19
140	4.54	4.89	0.70	0.15	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	10.35	5.81
150	4.64	3.24	0.31	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.25	3.61
160	8.94	0.88	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.84	0.90
170	3.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.27	0.00
Tot. Parz.	50.42	34.99	9.51	3.50	1.21	0.31	0.05	0.01	0.00	0.00	96.73	
Tot. No calme		34.12	9.49	3.50	1.21	0.31	0.05	0.01	0.00	0.00		49.58
Tot. Cum.		34.99	44.50	48.00	49.21	49.51	49.57	49.58	49.58	49.58		

TAB. 3.4 - STATISTICA DIREZIONALE DEL MOTO ONDOSO DI FRONTE ALLA BOCCA DI LIDO  
(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 3.20m, quelle con periodo di ritorno di 5 e 10 anni risultano rispettivamente pari a 3.8 e 4.1 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 L2:

Tr= 5 anni     Hs= 4.2 m

Tr= 10 anni     Hs=4.4 m

Il modello *Hiswa* ha invece permesso di individuare le funzioni di trasferimento del moto ondoso dalla piattaforma Acqua Alta al punto L2 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].

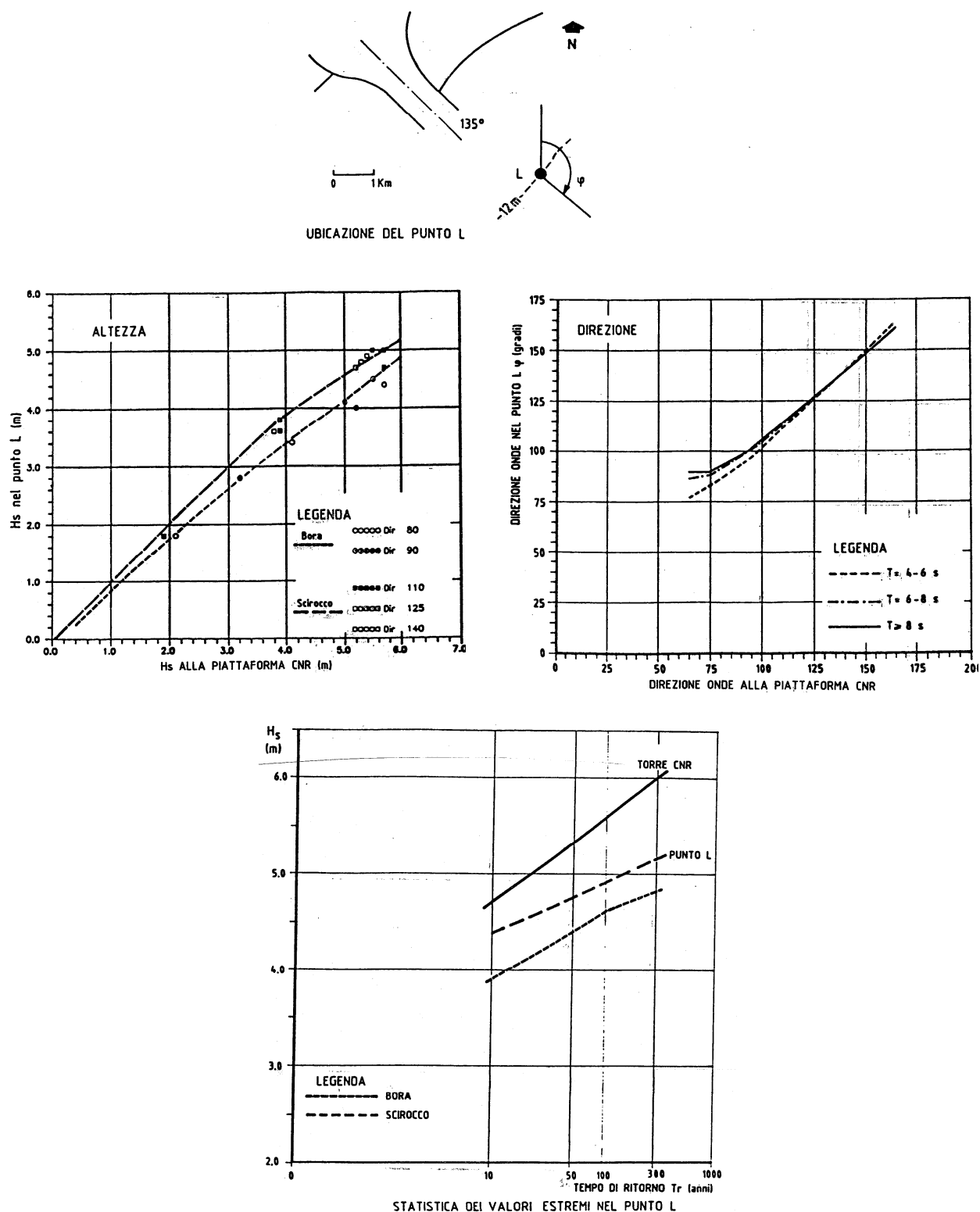


FIG. 3.11 - FUNZIONI DI TRASFERIMENTO DEL MOTO ONDOSO DALLA PIATTAFORMA CNR AL PUNTO L2

In conclusione nel punto L2 di fronte alla bocca di Lido si assumono i seguenti valori estremi del moto ondoso:


	Tempo di ritorno (anni)	5	10	100	300	1000
<b>ALLA PTF</b>	<b>Hs (m)</b>	4.4	4.7	5.6	6.0	6.4
	<b>Tp (s) settore di bora</b>	8.4	8.7	9.5	9.8	10.1
	<b>Tp (s) settore di scirocco</b>	9.4	9.8	10.6	11.0	11.4
<b>DI FRONTE ALLA BOCCA DI LIDO</b>	<b>Hs (m) settore di bora</b>	3.7	3.9	4.6	4.8	5.1
	<b>Hs (m) settore di scirocco</b>	4.2	4.4	4.9	5.2	5.4

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

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 Lido e riportata in Tab. 3.6.

STATISTICA COMBINATA ALLA PIATTAFORMA			BORA		SCIROCCO	
Tr (anni)	liv (m)	Hsptf (m)	Tp (s)	Hs L2 (m)	Tp (s)	Hs L2 (m)
5	< 0.7	4.4	8.4	3.7	9.4	4.2
5	1.00	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8
5	1.18	3.0	6.9	2.6	7.8	3.0
10	<0.75	4.7	8.7	3.9	9.8	4.4
10	1.00	4.4	8.4	3.7	9.4	4.2
10	1.30	3.5	7.5	3.0	8.4	3.4
100	< 0.8	5.6	9.5	4.6	10.6	4.9
100	1.30	5.0	8.9	4.1	10.1	4.6
100	1.50	4.6	8.6	3.8	9.7	4.3
100	1.65	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8
300	< 1.00	6.0	9.8	4.8	11.0	5.2
300	1.50	5.5	9.4	4.5	10.6	4.8
300	1.70	5.0	8.9	4.1	10.1	4.6
300	1.85	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8
1000	1.25	6.4	10.1	5.1	11.4	5.4
1000	1.70	6.0	9.8	4.8	11.0	5.2
1000	2.00	5.0	8.9	4.1	10.1	4.6
1000	2.10	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8

TAB. 3.6 - STATISTICA COMBINATA ONDE E LIVELLI ALL'ESTERNO DELLA BOCCA DI LIDO (PUNTO L2)

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 32
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

### 3.3. Moto ondoso alla barriera di San Nicolò

#### 3.3.1. Onde estreme

Per l'esame della penetrazione delle onde estreme all'interno della bocca di Lido e la sua definizione alla barriera si sono utilizzati da un lato i risultati dei modelli numerici *Pharos* [Rif. 1] e *Gemma* [Rif. 2], dall'altro quelli delle prove sul modello fisico dell'intera bocca realizzato presso il Centro Sperimentale di Voltabarozzo in scala 1:64 in diverse configurazioni [Rif. 2] e [Rif. 3].

Il modelli numerici utilizzati sono 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 i modelli sono in grado di tenere conto anche della distribuzione angolare dell'energia. Tutti i risultati del *Pharos* si riferiscono alla configurazione del progetto di massima del 1992, mentre quelli di *Gemma* alla configurazione del progetto definitivo con diga esterna. In entrambi i casi le simulazioni sono state eseguite in condizioni di paratoie abbassate ed in assenza di corrente.


Entrambi i modelli hanno evidenziato che, nel caso di onda monodirezionale, le onde che penetrano maggiormente in corrispondenza della barriera di San Nicolò sono quelle provenienti dal settore di scirocco. Per quanto riguarda invece il contributo direzionale dell'energia il modello *Pharos* mostra che per la direzione di 135°N il coefficiente di spreading medio alla barriera è praticamente unitario, mentre per il settore di bora-levante *Gemma* fornisce un valore unitario per la direzione di 105°N e sensibilmente maggiore per la direzione di 85°N.

Le prove su modello fisico sono state condotte nella configurazione attuale della bocca con onde e correnti provenienti da 125°N e nella configurazione del progetto di massima con onde sia da 105°N che da 125°N (Studio B.5.13/II fase). Successivamente si è analizzata la configurazione del progetto definitivo con la diga esterna e l'approfondimento dei fondali alla barriera di San Nicolò.

In seguito all'approvazione dello studio di inserimento architettonico alle bocche di porto è stata modificata la configurazione dell'isola artificiale tra il canale di San Nicolò e quello di Treporti (Studio B.6.63). Le ultime prove di moto ondoso su modello fisico sono state eseguite, con la nuova configurazione dell'isola ed in assenza della diga esterna, per il settore di Scirocco (dir 135°N) e per quello di Bora (85°N). I valori delle onde in generazione sono stati desunti dalla statistica del moto ondoso nel punto L2 precedentemente definito.

Il modello fisico riproduce una superficie molto vasta e pari a 35 Km<sup>2</sup> di cui 20 Km<sup>2</sup> di mare antistante la bocca, con sezione di chiusura in corrispondenza delle testate dei moli, e l'area rimanente a rappresentare il canale interno della bocca ed il bacino lagunare a questa afferente (Fig. 3.12). L'area rappresentante i fondali



	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 33
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

marini termina ad una profondità variabile tra -8.0 e -11.0 m s.l.m.m. La zona di posizionamento dei generatori d'onda, il cui fronte ha larghezza pari a 2300 m prototipo, è realizzata ad una profondità costante di -31.0 m e si raccorda alla zona modellata con piano inclinato di 1:20.

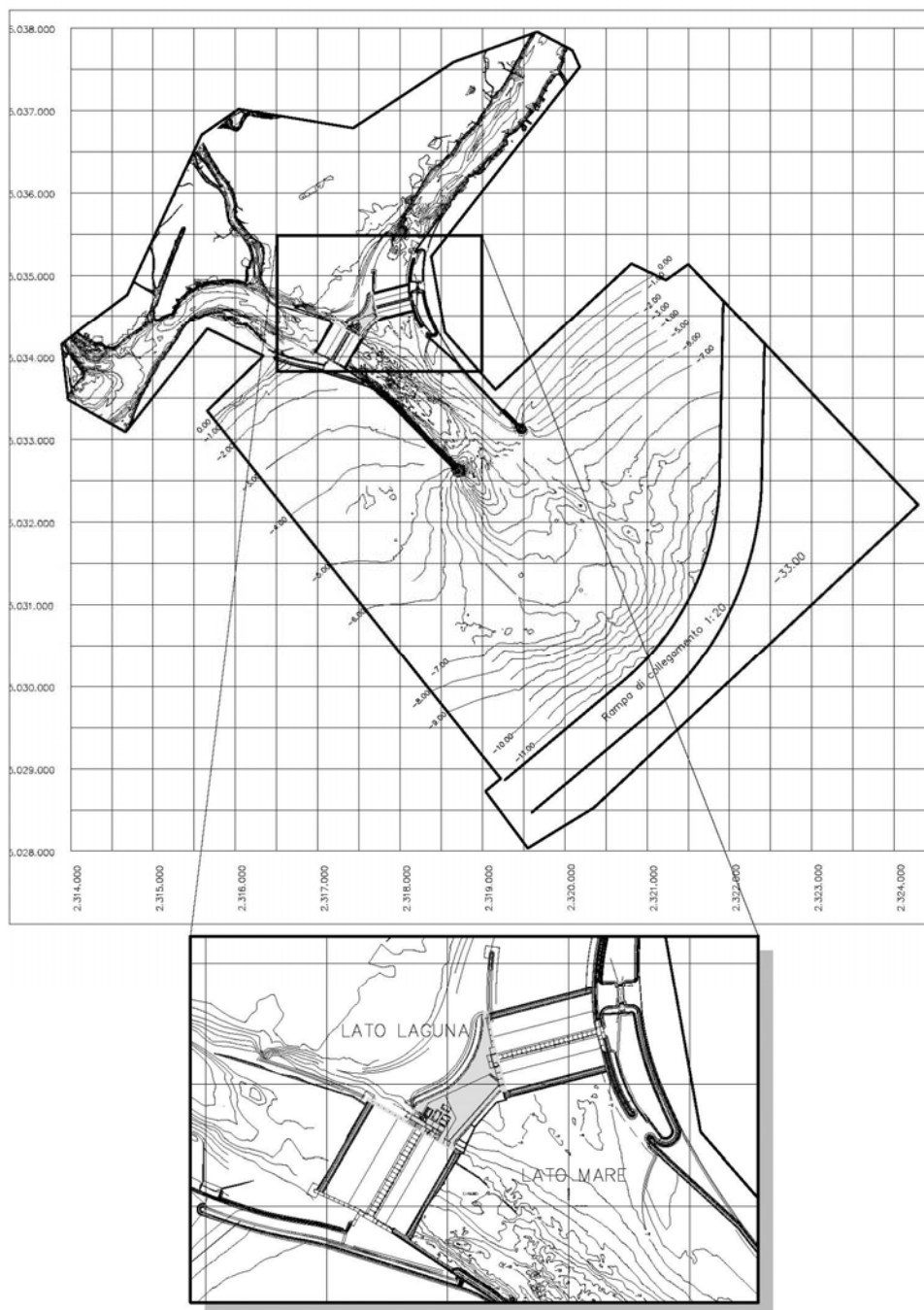
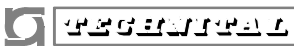


FIG. 3.12 - PLANIMETRIA DEL MODELLO FISICO IN Scala 1:64 DELLA BOCCA DI LIDO CON L'ULTIMA CONFIGURAZIONE DELLE OPERE

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 34
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

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, lungo le 2 sezioni trasversali di fronte alla schiera di paratoie, lungo le opere di spalla e all'interno del porto rifugio. La seguente Fig. 3.13 mostra l'ubicazione delle sonde in prossimità della barriera di San Nicolò.

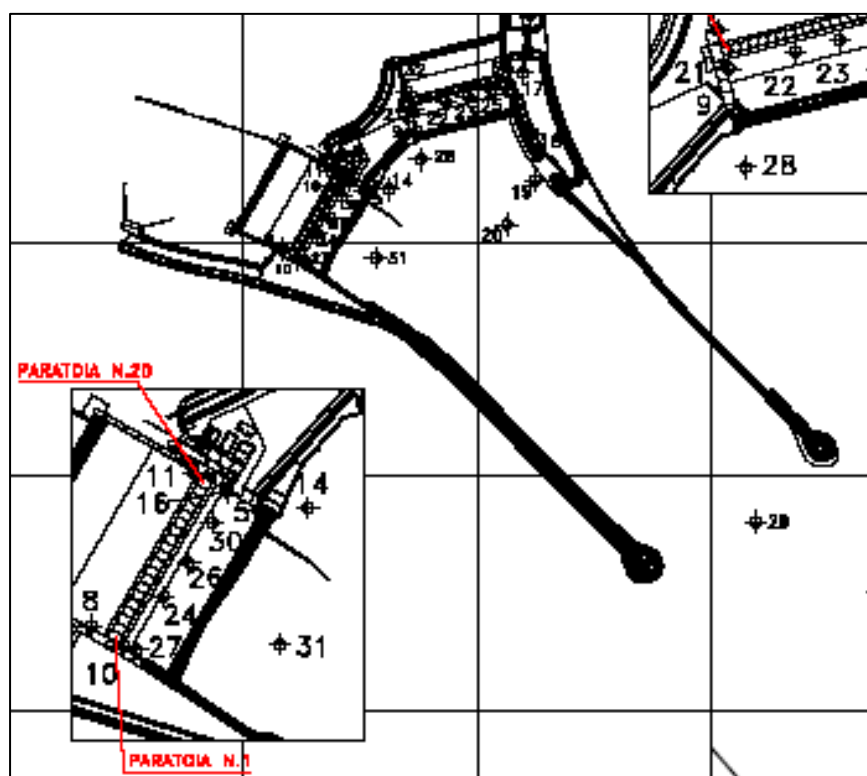


FIG. 3.13 - UBICAZIONE DELLE SONDE DI MOTO ONDOSONO NEL MODELLO IN PROSSIMITÀ DELLA BARRIERA DI SAN NICOLÒ

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 27, 24, 26, 30 e 5; per la spalla nord le altezze d'onda sono state dedotte dall'analisi dei risultati delle sonde 5, 16 e 11, mentre per la spalla sud dalle sonde 27, 10 e 8. In condizione di paratoie abbassate le sonde 11 e 8 sono state spostate in prossimità dello sperone lato laguna.

I risultati delle prove su modello fisico hanno sostanzialmente confermato quanto osservato con il modello numerico: le onde maggiori alla barriera di San Nicolò sono state misurate per il settore di Scirocco come evidenziato in Fig. 3.14.

Per il settore di bora le altezze d'onda risultano distribuite abbastanza uniformemente lungo la barriera, per il settore di scirocco si osserva una zona centrale con uguale altezza d'onda, un decremento in prossimità della spalla sud e un forte incremento in prossimità della spalla nord.

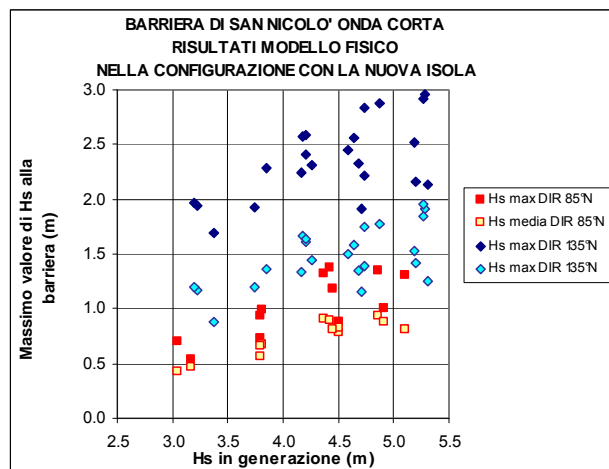


FIG. 3.14 - ONDE DI BREVE PERIODO MISURATE NEL MODELLO FISICO IN PROSSIMITÀ DELLA BARRIERA DI SAN NICOLÒ

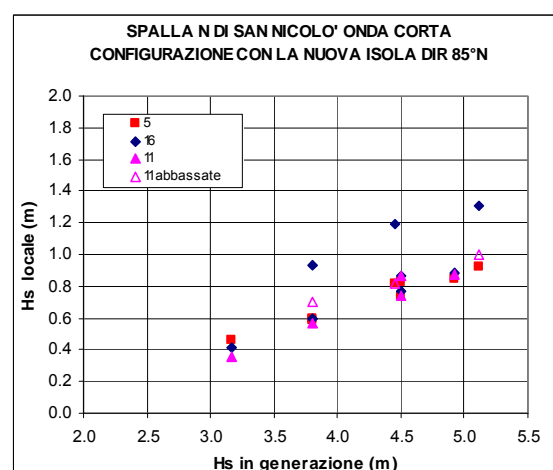
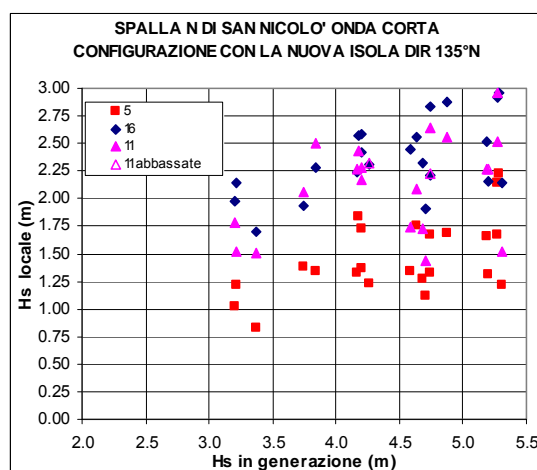


FIG. 3.15 - ONDE DI BREVE PERIODO MISURATE IN PROSSIMITÀ DELLA SPALLA NORD

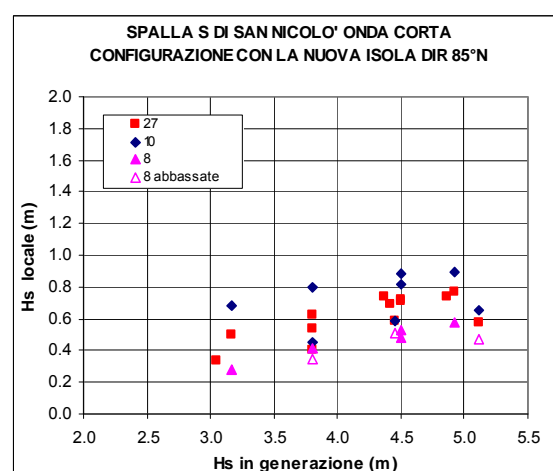
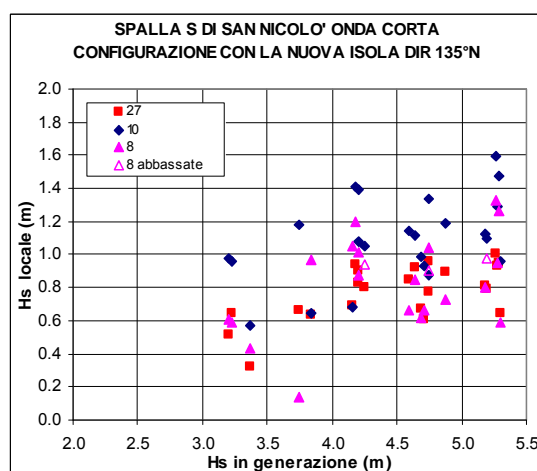
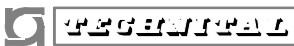


FIG. 3.16 - ONDE DI BREVE PERIODO MISURATE IN PROSSIMITÀ DELLA SPALLA SUD

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 36
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Pertanto l'onda di progetto in corrispondenza della spalla nord coincide con quella assunta per il dimensionamento dei cassoni di soglia, mentre per la spalla sud risulta pari al 75% di quella considerata per i cassoni di soglia.

Va sottolineato che nel caso di eventi provenienti dal settore di scirocco l'altezza d'onda dedotta dalle prove su modello fisico va incrementata per tener conto dell'onda generata dal vento locale che, date le dimensioni della bocca e il suo orientamento, anche nel caso di eventi estremi non può essere trascurato.

Per quanto riguarda le onde di lungo periodo non si sono rilevati fenomeni di amplificazione dovuti alla geometria del canale di bocca. Anche nel corso delle mareggiate estreme si osservano in prossimità dell'ingresso della bocca onde lunghe caratterizzate da un'altezza significa di poco superiore al metro che si propagano nella sezione di barriera con modesta variabilità. Per tutti i cassoni di barriera, sia di alloggiamento delle paratoie che di spalla si considera la relazione riportata in Fig. 3.17.

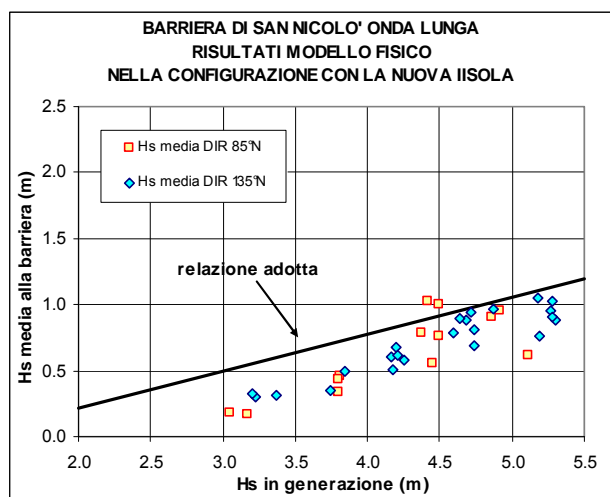



FIG. 3.17- ONDE DI LUNGO PERIODO MISURATE NEL MODELLO FISICO IN PROSSIMITÀ DELLA BARRIERA DI SAN NICOLÒ

Il confronto delle altezze d'onda misurate davanti e a tergo delle paratoie sia nello studio B.5.13/II che nello studio B.6.63 ha mostrato un elevato valore del coefficiente di trasmissione delle onde di breve periodo (dell'ordine dell'80%) 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: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 37
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

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

STATISTICA COMBINATA ALLA PIATTAFORMA			STATISTICA COMBINATA IN L2				ALLA BARRIERA DI SAN NICOLÒ			
Tr (anni)	liv (m)	Hs (m)	BORA		SCIROCCO		BORA		SCIROCCO	
			Tp (s)	Hs L2 (m)	Tp (s)	Hs L2 (m)	Hs (m) corta	Hs (m) lunga	Hs (m) corta	Hs (m) lunga
5	<0.7	4.4	8.4	3.7	9.4	4.2	1.5	0.7	1.9	0.8
5	1.00	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8	1.4	0.6	1.7	0.7
5	1.18	3.0	6.9	2.6	7.8	3.0	1.1	0.4	1.4	0.5
10	<0.75	4.7	8.7	3.9	9.8	4.4	1.6	0.8	2.0	0.9
10	1.00	4.4	8.4	3.7	9.4	4.2	1.5	0.7	1.9	0.8
10	1.30	3.5	7.5	3.0	8.4	3.4	1.2	0.5	1.6	0.6
100	<0.8	5.6	9.5	4.6	10.6	4.9	2.0	0.9	2.4	1.0
100	1.30	5.0	8.9	4.1	10.1	4.6	1.8	0.8	2.2	0.9
100	1.50	4.6	8.6	3.8	9.7	4.3	1.6	0.7	2.0	0.9
100	1.65	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8	1.4	0.6	1.8	0.7
300	<1.00	6.0	9.8	4.8	11.0	5.2	2.1	1.0	2.6	1.1
300	1.50	5.5	9.4	4.5	10.6	4.8	1.9	0.9	2.4	1.0
300	1.70	5.0	8.9	4.1	10.1	4.6	1.8	0.8	2.2	0.9
300	1.85	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8	1.4	0.6	1.9	0.7
1000	<1.25	6.4	10.1	5.1	11.4	5.4	2.2	1.1	2.8	1.2
1000	1.70	6.0	9.8	4.8	11.0	5.2	2.1	1.0	2.7	1.1
1000	2.00	5.0	8.9	4.1	10.1	4.6	1.8	0.8	2.3	0.9
1000	2.05	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8	1.4	0.6	2.0	0.7

TAB. 3.7 - STATISTICA COMBINATA ONDE E LIVELLI PER I CASSONI DI SOGLIA DELLA BARRIERA DI SAN NICOLÒ

STATISTICA COMBINATA ALLA PIATTAFORMA			STATISTICA COMBINATA IN L2				ALLA SPALLA NORD DI SAN NICOLÒ			
Tr (anni)	liv (m)	Hs (m)	BORA		SCIROCCO		BORA		SCIROCCO	
			Tp (s)	Hs L2 (m)	Tp (s)	Hs L2 (m)	Hs (m) corta	Hs (m) lunga	Hs (m) corta	Hs (m) lunga
5	<0.7	4.4	8.4	3.7	9.4	4.2	1.5	0.7	1.9	0.8
5	1.00	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8	1.4	0.6	1.7	0.7
5	1.18	3.0	6.9	2.6	7.8	3.0	1.1	0.4	1.4	0.5
10	<0.75	4.7	8.7	3.9	9.8	4.4	1.6	0.8	2.0	0.9
10	1.00	4.4	8.4	3.7	9.4	4.2	1.5	0.7	1.9	0.8
10	1.30	3.5	7.5	3.0	8.4	3.4	1.2	0.5	1.6	0.6
100	<0.8	5.6	9.5	4.6	10.6	4.9	2.0	0.9	2.4	1.0
100	1.30	5.0	8.9	4.1	10.1	4.6	1.8	0.8	2.2	0.9
100	1.50	4.6	8.6	3.8	9.7	4.3	1.6	0.7	2.0	0.9
100	1.65	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8	1.4	0.6	1.8	0.7
300	<1.00	6.0	9.8	4.8	11.0	5.2	2.1	1.0	2.6	1.1
300	1.50	5.5	9.4	4.5	10.6	4.8	1.9	0.9	2.4	1.0
300	1.70	5.0	8.9	4.1	10.1	4.6	1.8	0.8	2.2	0.9
300	1.85	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8	1.4	0.6	1.9	0.7
650	<1.20	6.2	10.0	5.0	11.2	5.3	2.2	1.1	2.7	1.1
650	1.60	5.8	9.6	4.7	10.8	5.1	2.0	1.0	2.6	1.1
650	1.90	5.0	8.9	4.1	10.1	4.6	1.8	0.8	2.3	0.9
650	2.00	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8	1.4	0.6	1.9	0.7
1000	<1.25	6.4	10.1	5.1	11.4	5.4	2.2	1.1	2.8	1.2
1000	1.70	6.0	9.8	4.8	11.0	5.2	2.1	1.0	2.7	1.1
1000	2.00	5.0	8.9	4.1	10.1	4.6	1.8	0.8	2.3	0.9
1000	2.05	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8	1.4	0.6	2.0	0.7

TAB. 3.8 - STATISTICA COMBINATA ONDE E LIVELLI PER I CASSONI DELLA SPALLA NORD DI SAN NICOLÒ

STATISTICA COMBINATA ALLA PIATTAFORMA			STATISTICA COMBINATA IN L2				ALLA SPALLA SUD DI SAN NICOLÒ			
			BORA		SCIROCCO		BORA		SCIROCCO	
Tr (anni)	liv (m)	Hs (m)	Tp (s)	Hs L2 (m)	Tp (s)	Hs L2 (m)	Hs (m) corta	Hs (m) lunga	Hs (m) corta	Hs (m) lunga
5	<0.7	4.4	8.4	3.7	9.4	4.2	1.2	0.7	1.4	0.8
5	1.00	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8	1.1	0.6	1.3	0.7
5	1.18	3.0	6.9	2.6	7.8	3.0	0.8	0.4	1.0	0.5
10	<0.75	4.7	8.7	3.9	9.8	4.4	1.2	0.8	1.5	0.9
10	1.00	4.4	8.4	3.7	9.4	4.2	1.2	0.7	1.4	0.8
10	1.30	3.5	7.5	3.0	8.4	3.4	0.9	0.5	1.2	0.6
100	<0.8	5.6	9.5	4.6	10.6	4.9	1.5	0.9	1.8	1.0
100	1.30	5.0	8.9	4.1	10.1	4.6	1.3	0.8	1.6	0.9
100	1.50	4.6	8.6	3.8	9.7	4.3	1.2	0.7	1.5	0.9
100	1.65	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8	1.1	0.6	1.4	0.7
300	<1.00	6.0	9.8	4.8	11.0	5.2	1.6	1.0	2.0	1.1
300	1.50	5.5	9.4	4.5	10.6	4.8	1.4	0.9	1.8	1.0
300	1.70	5.0	8.9	4.1	10.1	4.6	1.3	0.8	1.7	0.9
300	1.85	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8	1.1	0.6	1.4	0.7
650	<1.20	6.2	10.0	5.0	11.2	5.3	1.6	1.1	2.0	1.1
650	1.60	5.8	9.6	4.7	10.8	5.1	1.5	1.0	1.9	1.1
650	1.90	5.0	8.9	4.1	10.1	4.6	1.3	0.8	1.7	0.9
650	2.00	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8	1.1	0.6	1.5	0.7
1000	<1.25	6.4	10.1	5.1	11.4	5.4	1.7	1.1	2.1	1.2
1000	1.70	6.0	9.8	4.8	11.0	5.2	1.6	1.0	2.0	1.1
1000	2.00	5.0	8.9	4.1	10.1	4.6	1.3	0.8	1.7	0.9
1000	2.05	4.0	8.0	3.4	9.0	3.8	1.1	0.6	1.5	0.7

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

Per quanto riguarda la direzione di incidenza del moto ondoso i rilievi fotografici eseguiti sul modello fisico sia in situazione attuale che nella configurazione del progetto definitivo mostrano che i fronti d'onda si presentano paralleli alla sezione di barriera, ruotando in corrispondenza delle spalle. Tale rotazione risulta al massimo dell'ordine dei 30°.

### 3.3.2. Onde frequenti

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

Le misure alla stazione 25 (di coordinate 2307740 E, 5034471 N), ubicata lungo il canale di San Nicolò, sono state eseguite nel periodo dal gennaio 1989 al gennaio 1992, per un totale di dati equivalente a 2 anni di registrazioni complete. Le registrazioni sono state effettuate con cadenza trioraria e durata di 15 minuti.

Nella Fig. 3.18 vengono riportati i valori misurati nella stazione 25 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.

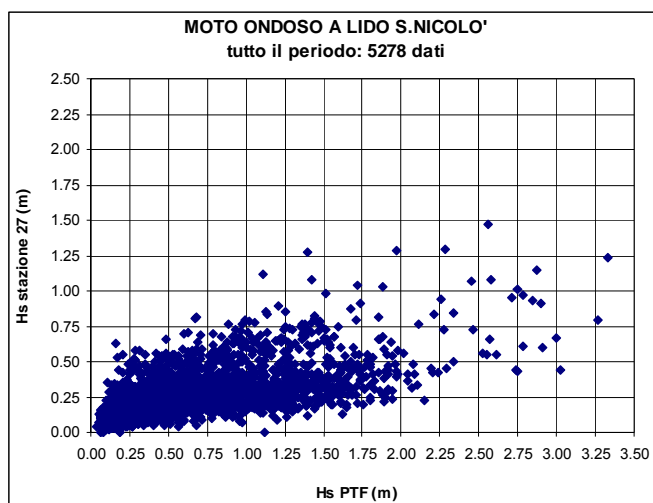


FIG. 3.18 - RIDUZIONE DI HS DAL LARGO ALLA STAZIONE 27 DI SAN NICOLÒ

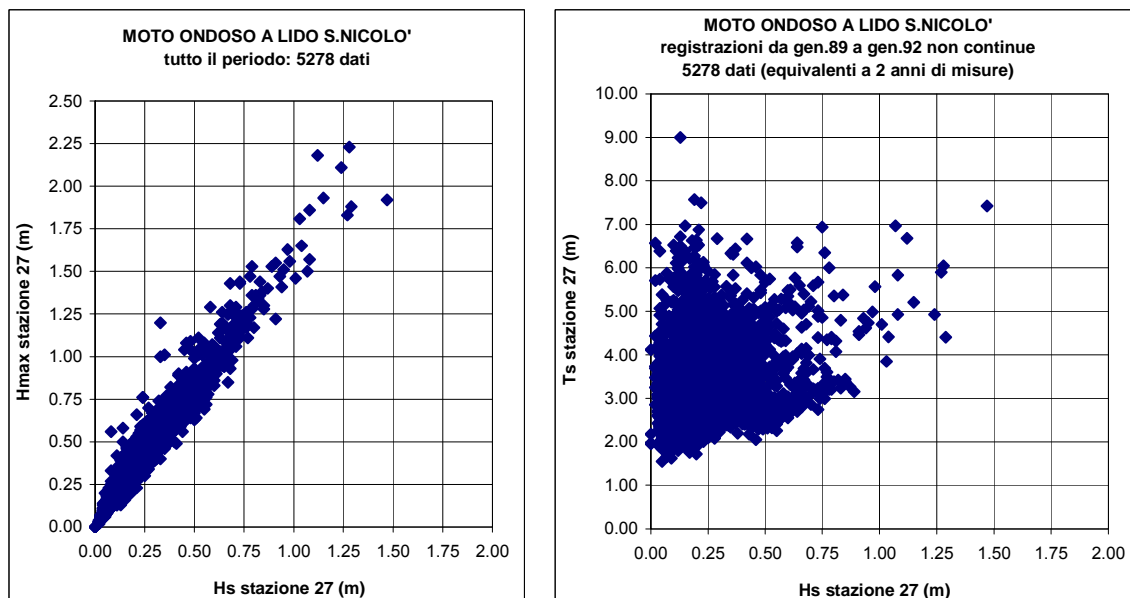
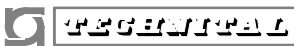


FIG. 3.19 - STAZIONE 27 DI SAN NICOLÒ : RELAZIONE TRA HS E TS (A SINISTRA) E TRA HS E HMAX (A DESTRA)

Occorre rammentare che tali misure si riferiscono ad una configurazione precedente la realizzazione degli interventi per la regolazione dei flussi di marea e che quindi sono di carattere indicativo. Le prove eseguite su modello fisico in configurazione attuale (studio B.5.13/I) hanno evidenziato che nel caso di onde al

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 40
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

generatore con altezza significativa inferiore a 4.3 m, le onde misurate alla sonda 27 A (Fig. 3.20), ubicata nella stessa posizione della stazione di misura in natura, non sono sempre risultate le maggiori nella zona della futura barriera. Per generare un campione rappresentativo del moto ondoso ricorrente nella zona della futura barriera durante l'esecuzione delle opere si è stabilito di moltiplicare i dati misurati alla stazione 27 per il fattore 1.20.

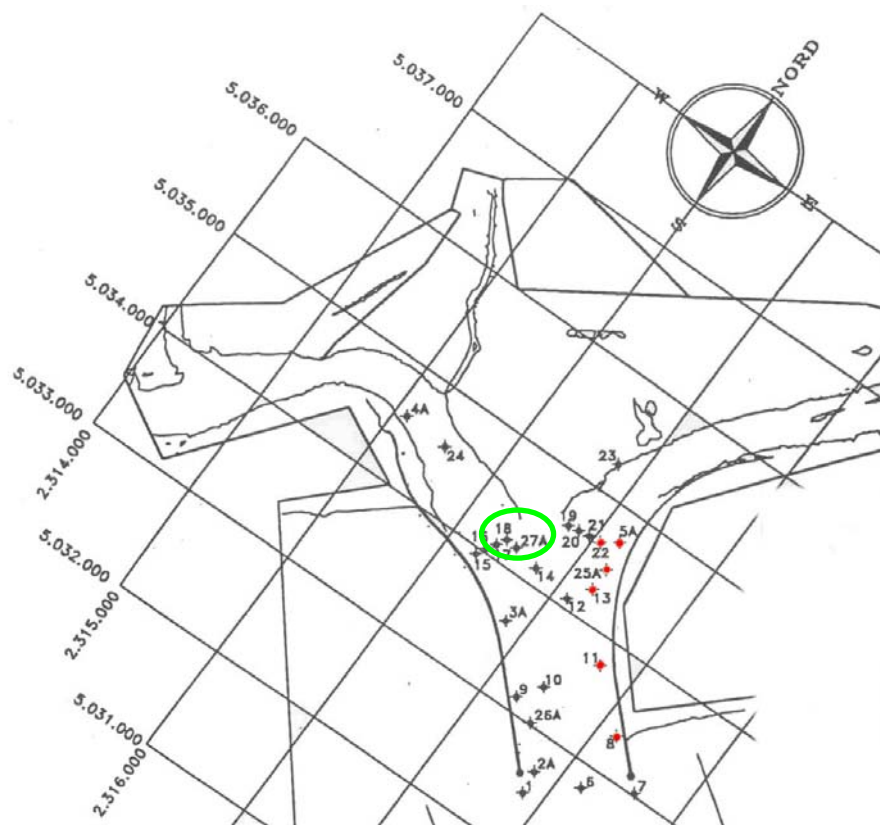


FIG. 3.20 - UBICAZIONE DELLE SONDE NEL MODELLO FISICO IN CONFIGURAZIONE ATTUALE

Nelle tabelle seguenti si riporta la frequenza campionaria congiunta dell'altezza d'onda  $H_s$  e del corrispondente periodo  $T_s$ , sia per l'intero campione modificato di dati, sia suddividendo il campione in periodo invernale (da ottobre a marzo) ed estivo (da aprile a settembre).



N° tot dati registrati Hs*1.2		Valore centrale della classe Hs (m)								Tot. parz.
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	
Ts (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	59	458	63	6	0	1	0	0	0	587
3	334	2352	301	64	21	4	1	1	0	3078
4	146	783	119	65	12	2	2	0	0	1129
5	83	241	34	11	5	4	2	0	0	380
6	17	53	8	5	1	0	0	0	0	84
7	3	10	2	1	1	0	0	0	0	17
8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tot. Parz.	643	3898	528	152	40	11	5	1	0	5278
Tot. Cum.		4541	5069	5221	5261	5272	5277	5278	5278	

% 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	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	
Ts (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	1.12	8.68	1.19	0.11	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	11.12
3	6.33	44.56	5.70	1.21	0.40	0.08	0.02	0.02	0.00	58.32
4	2.77	14.84	2.25	1.23	0.23	0.04	0.04	0.00	0.00	21.39
5	1.57	4.57	0.64	0.21	0.09	0.08	0.04	0.00	0.00	7.20
6	0.32	1.00	0.15	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	1.59
7	0.06	0.19	0.04	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32
8	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
9	0.00	0.00	0.02	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
Tot. Parz.	12.18	73.85	10.00	2.88	0.76	0.21	0.09	0.02	0.00	100
Tot. Cum.		86.04	96.04	98.92	99.68	99.89	99.98	100.00	100.00	
% sup		13.96	3.96	1.08	0.32	0.11	0.02	0.00	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	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	
Ts (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	98	760	105	10	0	2	0	0	0	974
3	554	3904	500	106	35	7	2	2	0	5109
4	242	1300	198	108	20	3	3	0	0	1874
5	138	400	56	18	8	7	3	0	0	631
6	28	88	13	8	2	0	0	0	0	139
7	5	17	3	2	2	0	0	0	0	28
8	2	2	0	0	0	0	0	0	0	3
9	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tot. Parz.	1067	6470	876	252	66	18	8	2	0	8760
Tot. Cum.		7537	8413	8665	8732	8750	8758	8760	8760	
sup		1223	347	95	28	10	2	0	0	


TAB. 3.10 - ONDE IN CORRISPONDENZA DELLA FUTURA BARRIERA DI LIDO SAN NICOLÒ:  
STATISTICA ANNUALE

N° tot dati registrati in inverno Hs*1.2		Valore centrale della classe Hs (m)								Tot. parz.
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	
Ts (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	53	289	54	5	1	1	0	0	0	403
3	325	1215	179	59	20	3	2	1	0	1804
4	144	426	81	57	9	2	1	0	0	720
5	46	120	14	7	5	3	2	0	0	197
6	6	16	6	3	1	0	0	0	0	32
7	1	5	2	1	1	0	0	0	0	10
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tot. Parz.	575	2071	337	132	37	9	5	1	0	3167
Tot. Cum.		2646	2983	3115	3152	3161	3166	3167	3167	

% 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	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	
Ts (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	1.67	9.13	1.71	0.16	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	12.72
3	10.26	38.36	5.65	1.86	0.63	0.09	0.06	0.03	0.00	56.96
4	4.55	13.45	2.56	1.80	0.28	0.06	0.03	0.00	0.00	22.73
5	1.45	3.79	0.44	0.22	0.16	0.09	0.06	0.00	0.00	6.22
6	0.19	0.51	0.19	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01
7	0.03	0.16	0.06	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.03	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
Tot. Parz.	18.16	65.39	10.64	4.17	1.17	0.28	0.16	0.03	0.00	100
Tot. Cum.		83.55	94.19	98.36	99.53	99.81	99.97	100.00	100.00	
% sup		16.45	5.81	1.64	0.47	0.19	0.03	0.00	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	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	
Ts (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	73	400	75	7	1	1	0	0	0	557
3	449	1680	248	82	28	4	3	1	0	2495
4	199	589	112	79	12	3	1	0	0	996
5	64	166	19	10	7	4	3	0	0	272
6	8	22	8	4	1	0	0	0	0	44
7	1	7	3	1	1	0	0	0	0	14
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tot. Parz.	795	2864	466	183	51	12	7	1	0	4380
Tot. Cum.		3659	4126	4308	4359	4372	4379	4380	4380	
sup		721	254	72	21	8	1	0	0	

TAB. 3.11 - ONDE IN CORRISPONDENZA DELLA FUTURA BARRIERA DI LIDO SAN NICOLÒ:  
STATISTICA INVERNALE


	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 43
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

N° tot dati registrati in estate Hs*1.2		Valore centrale della classe Hs (m)								Tot. parz.
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	
Ts (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	13	165	6	0	0	0	0	0	0	184
3	44	1116	107	6	1	0	0	0	0	1274
4	8	338	54	8	1	0	0	0	0	409
5	1	158	19	4	1	0	0	0	0	183
6	2	42	4	2	0	2	0	0	0	52
7	0	6	1	0	0	0	0	0	0	7
8	0	2	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.	68	1827	191	20	3	2	0	0	0	2111
Tot. Cum.		1895	2086	2106	2109	2111	2111	2111	2111	

% dati registrati in estate		Valore centrale della classe Hs (m)								Tot. parz.
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	
Ts (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	0.62	7.82	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.72
3	2.08	52.87	5.07	0.28	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	60.35
4	0.38	16.01	2.56	0.38	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	19.37
5	0.05	7.48	0.90	0.19	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	8.67
6	0.09	1.99	0.19	0.09	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	2.46
7	0.00	0.28	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33
8	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
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.	3.22	86.55	9.05	0.95	0.14	0.09	0.00	0.00	0.00	100
Tot. Cum.		89.77	98.82	99.76	99.91	100.00	100.00	100.00	100.00	
% sup		10.23	1.18	0.24	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	

N° ore all'anno in estate		Valore centrale della classe Hs (m)								Tot. parz.
		0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	
Hs (m)	≥ 0.00	≥ 0.125	≥ 0.375	≥ 0.625	≥ 0.875	≥ 1.125	≥ 1.375	≥ 1.625	≥ 1.875	
Ts (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	27	342	12	0	0	0	0	0	0	382
3	91	2316	222	12	2	0	0	0	0	2643
4	17	701	112	17	2	0	0	0	0	849
5	2	328	39	8	2	0	0	0	0	380
6	4	87	8	4	0	4	0	0	0	108
7	0	12	2	0	0	0	0	0	0	15
8	0	4	0	0	0	0	0	0	0	4
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tot. Parz.	141	3791	396	41	6	4	0	0	0	4380
Tot. Cum.		3932	4328	4370	4376	4380	4380	4380	4380	
sup		448	52	10	4	0	0	0	0	

TAB. 3.12 - ONDE IN CORRISPONDENZA DELLA FUTURA BARRIERA DI LIDO SAN NICOLÒ:  
STATISTICA ESTIVA

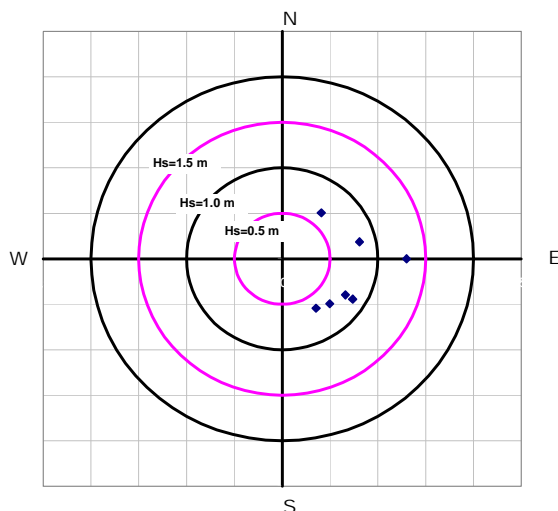
	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 44
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Per quanto riguarda le mareggiate in Fig. 3.21 si riporta la distribuzione stagionale delle altezze d'onda al picco per le mareggiate che hanno superato il valore  $H_s=0.5$  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 SAN NICOLÒ' (dati dedotti da stazione 27)

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

Dati estivi (2111) relativi al periodo da gen.89 a gen.92



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

Dati invernali (3167) relativi al periodo da gen.89 a gen.92

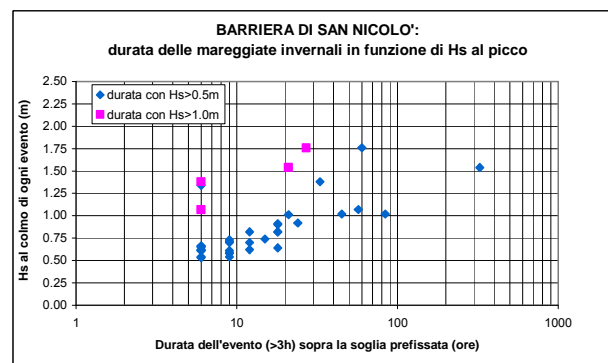
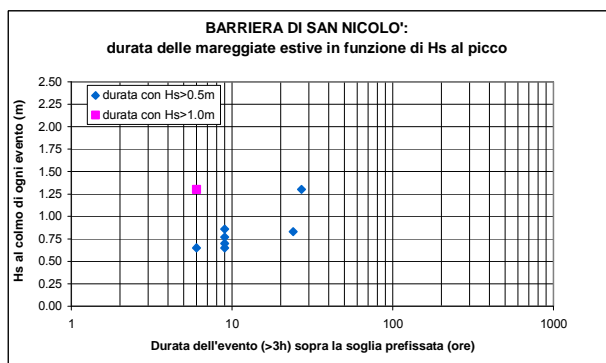
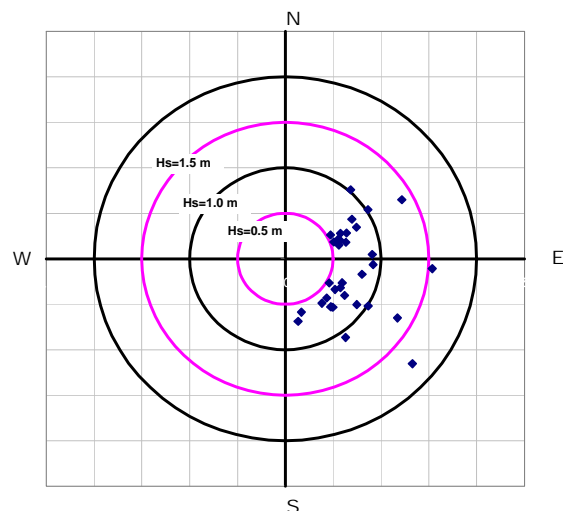



FIG. 3.21 - SAN NICOLÒ: DISTRIBUZIONE DIREZIONALE E STAGIONALE DEL VALORE DELL'ALTEZZA D'ONDA AL PICCO PER GLI EVENTI CON  $H_s$  AL PICCO  $>0.5$  M E LORO DURATA

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 45
	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  $H_s=1.40\text{m}$ .

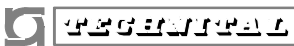
Adottando il coefficiente di riduzione tra massima altezza d'onda lungo la sezione di barriera e altezza d'onda ai due lati evidenziato per le onde estreme, l'onda con ricorrenza annuale alla spalla sud risulta pari ad 1.0m, mentre alla spalla nord rimane di 1.40m.

Il periodo di picco associato a tali altezze d'onda varia tra 6.3 e 8.3 s.

Sulla base delle misure effettuate all'interno della bocca nel periodo 1989-1992, 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 San Nicolò sono quelli riportati nella seguente tabella.

SAN NICOLÒ		
Hs (m)	Tp (s)	
0.75	4.8	5.5
1.00	5.5	6.2
1.25	6.2	6.8
annuale		
1.4	6.3	8.3

TAB. 3.13 - RELAZIONE TRA ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA E PERIODO DI PICCO ALLA BARRIERA DI SAN NICOLÒ DEDOTTA DALLE MISURE EFFETTUATE NEL PERIODO 1989-1992

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 46
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Lo strumento installato a San Nicolò nell'ambito del più recente studio B.6.96/III [Rif. 4] si trova all'esterno della zona della protezione del fondale sul lato mare al centro del canale di bocca (punto di coordinate 2317470 E, 5034029 N), come indicato in Fig. 3.22 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.

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.

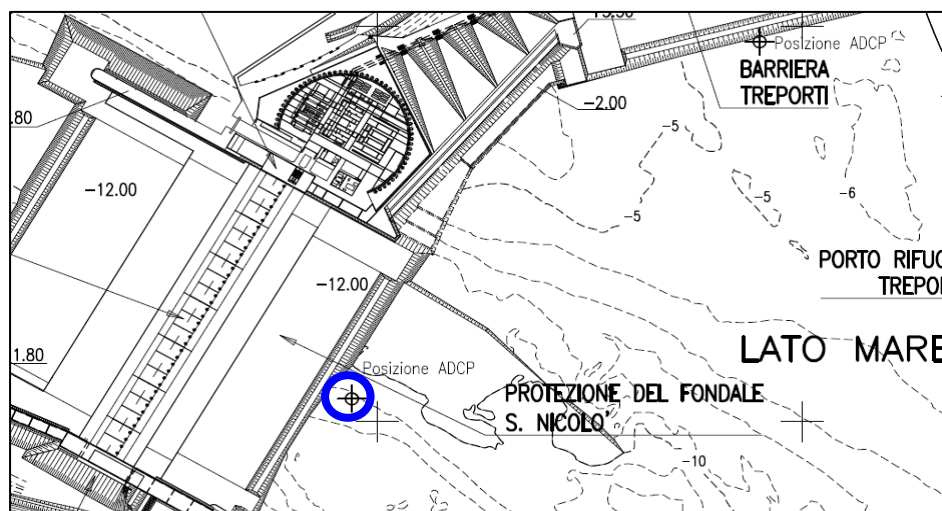


FIG. 3.22 - UBICAZIONE DELLO STRUMENTO INSTALLATO A SAN NICOLÒ

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. 3.23 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. Si osserva che in condizioni di mare da bora/levante l'altezza d'onda a San Nicolò si mantiene minore di 1.0m, anche per levati valori di altezza d'onda al largo. Per il settore di scirocco si osserva una maggiore penetrazione del moto ondoso, il massimo valore registrato nel periodo di osservazione è di circa 1.50m.

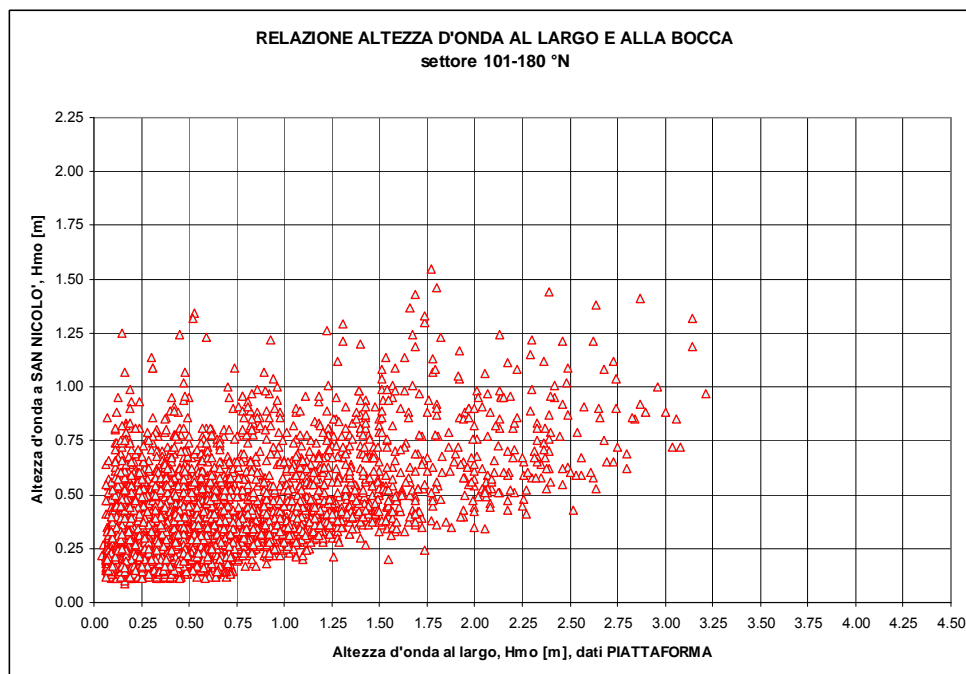
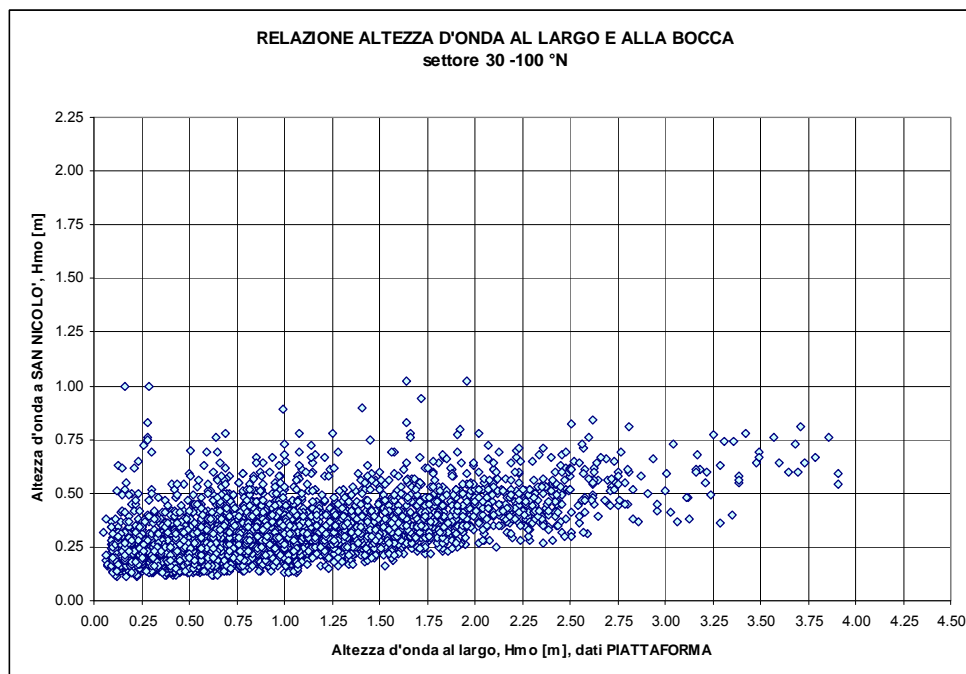


FIG. 3.23 - RIDUZIONE DI HS DAL LARGO AL CANALE DI SAN NICOLÒ PER IL SETTORE DI BORA-LEVANTE (SOPRA) E DI SCIROCCO (SOTTO) - DATI STUDIO B.6.96/III E B.6.96/II FASE – 2^PERIZIA DI VARIANTE E SUPPLETIVA. PERIODO: LUGLIO 2009 - OTTOBRE 2010

La Fig. 3.24 riporta, in alto, gli scatter plots del periodo di picco dedotto dalle misure dell'ADCP, in funzione dell'altezza d'onda significativa da cui si osserva un elevato numero di dati caratterizzati da  $T_p=2s$ , indipendentemente dal valore di  $H_{m0}$ . Per onde con  $H_s > 0.5m$  tali valori sono irrealistici, poiché viene superato il limite di frangimento. Tale problema non viene riscontrato nelle misure del surface tracking che però, presentano alcuni valori molto levati del periodo di picco.

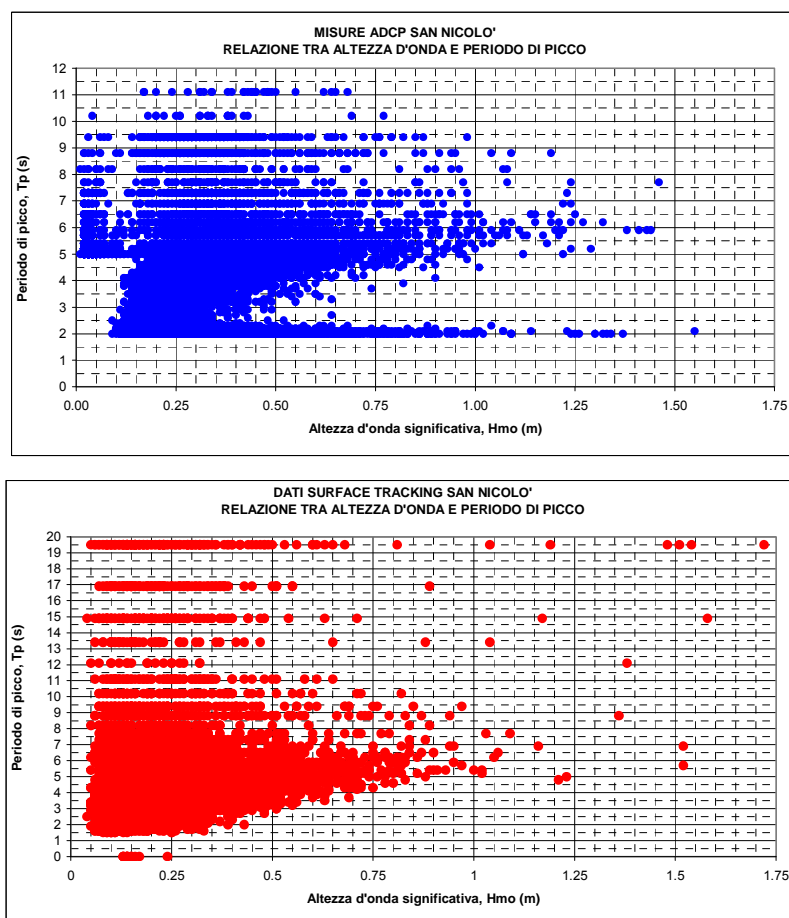



FIG. 3.24 - VALORI DI ALTEZZA D'ONDA E DEL PERIODO DI PICCO CORRISPONDENTI DEDOTTI DALLE REGISTRAZIONI DELL'ADCP (IN ALTO) E DEL SURFACE TRACKING (IN BASSO)- DATI STUDIO B.6.96/III. PERIODO: LUGLIO 2009 - OTTOBRE 2010

Ad ogni modo 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.



	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 49
	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 20/7/2009 al 31/10/2010): si osserva l'effetto della corrente in riflusso che tende ad aumentare l'altezza d'onda.

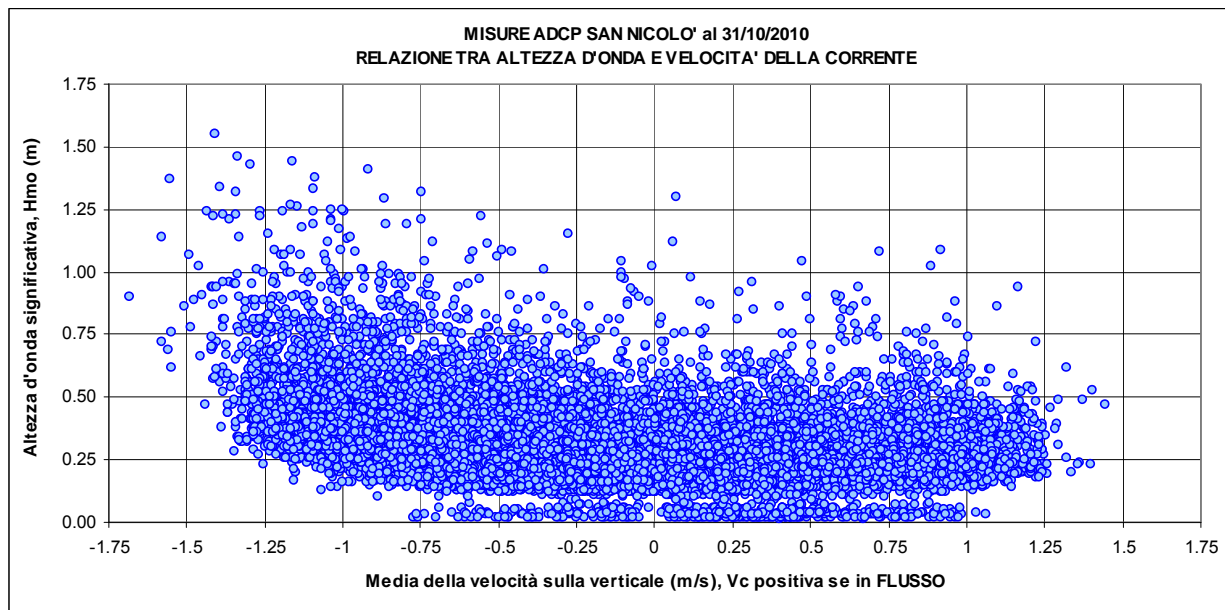


FIG. 3.25 - MISURE DI ALTEZZA D'ONDA E VELOCITÀ DELLA CORRENTE ACQUISITE DALL'ADCP ALLA BOCCA DI LIDO SAN NICOLÒ (20/7/09- 31/10/10)

## 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).

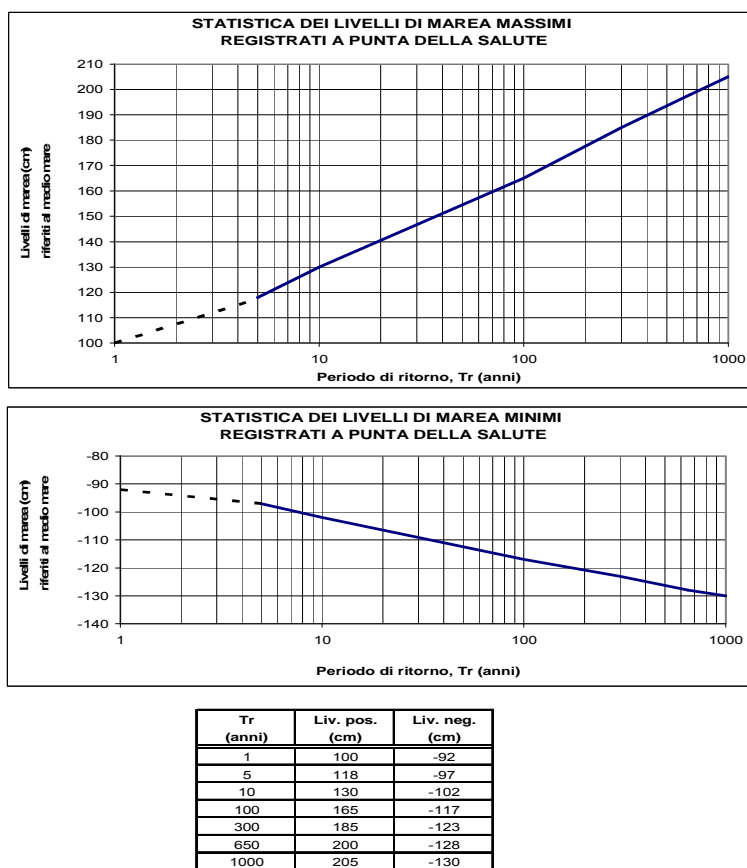
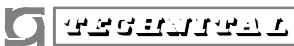


FIG. 4.1 - STATISTICA DEI LIVELLI DI MAREA MASSIMI E MINIMI REGISTRATI A PUNTA DELLA SALUTE

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 51
	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.

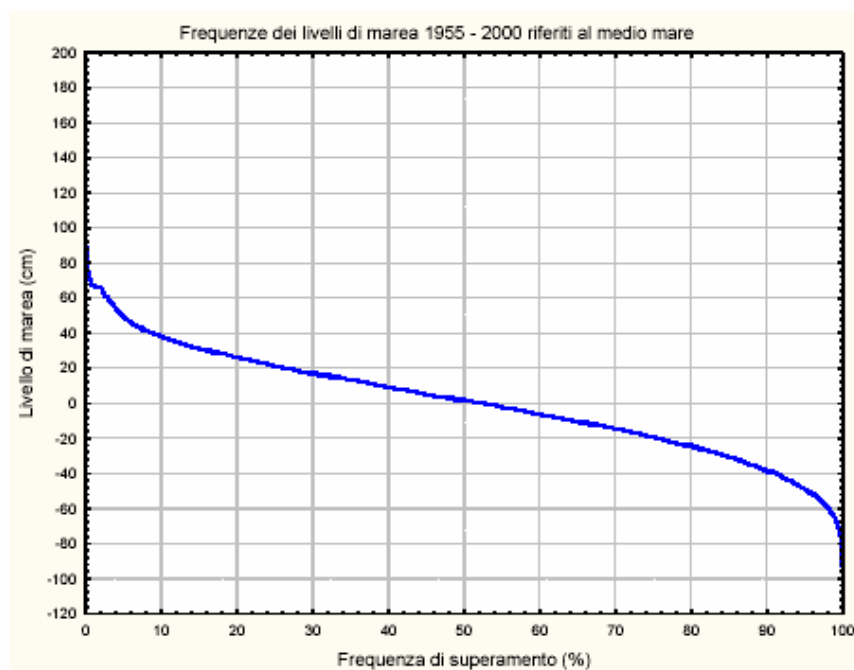



FIG. 4.2 - FREQUENZA DI SUPERAMENTO DEI LIVELLI REGISTRATI A PUNTA DELLA SALUTE

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. 4].


 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 52
	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.

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 53
	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.

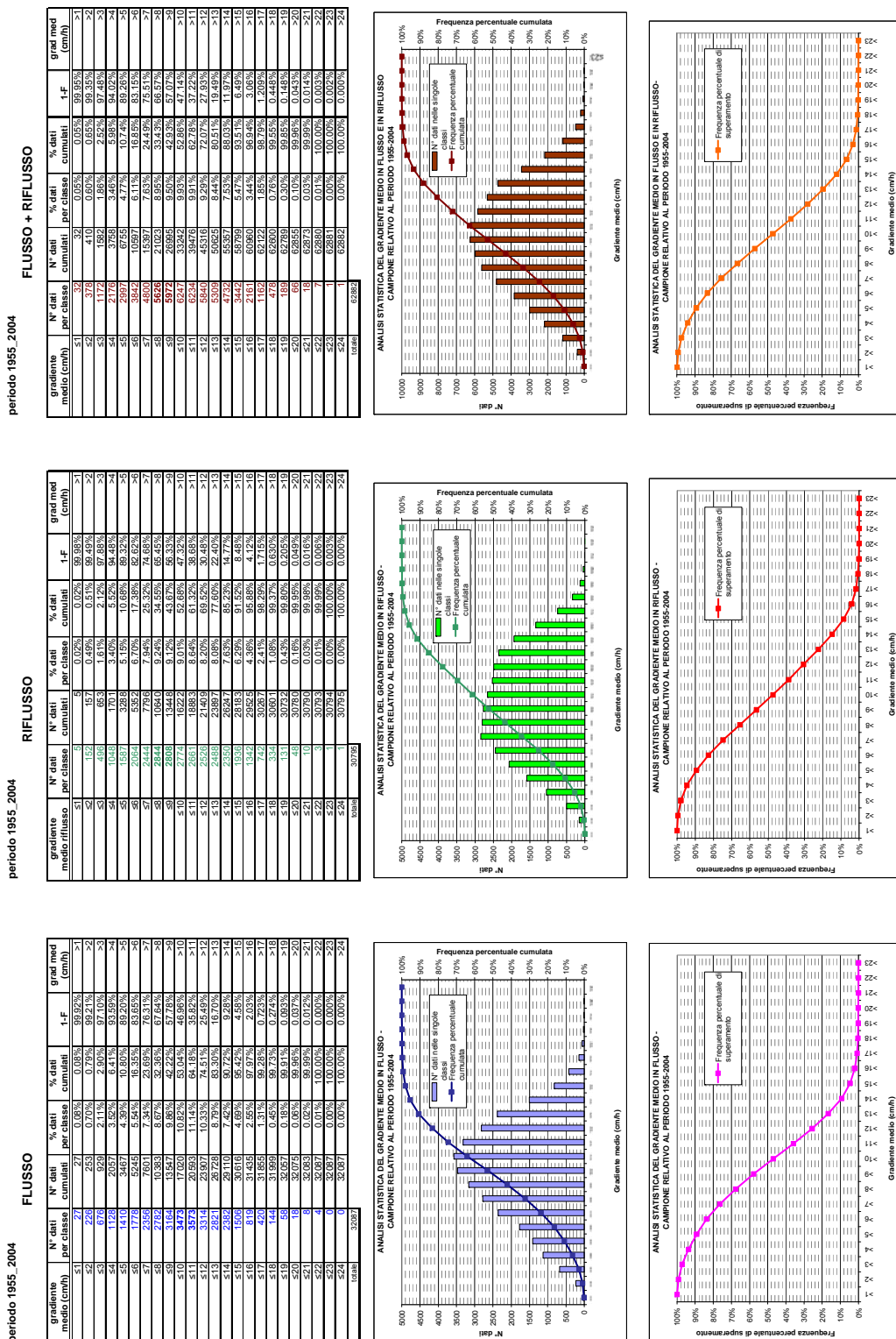


FIG. 4.3 - ANALISI STATISTICA DEI GRADIENTI MEDI DI MAREA (DAI LIVELLI ORARI MISURATI A PUNTA DELLA SALUTE NEL PERIODO 1955-2004)

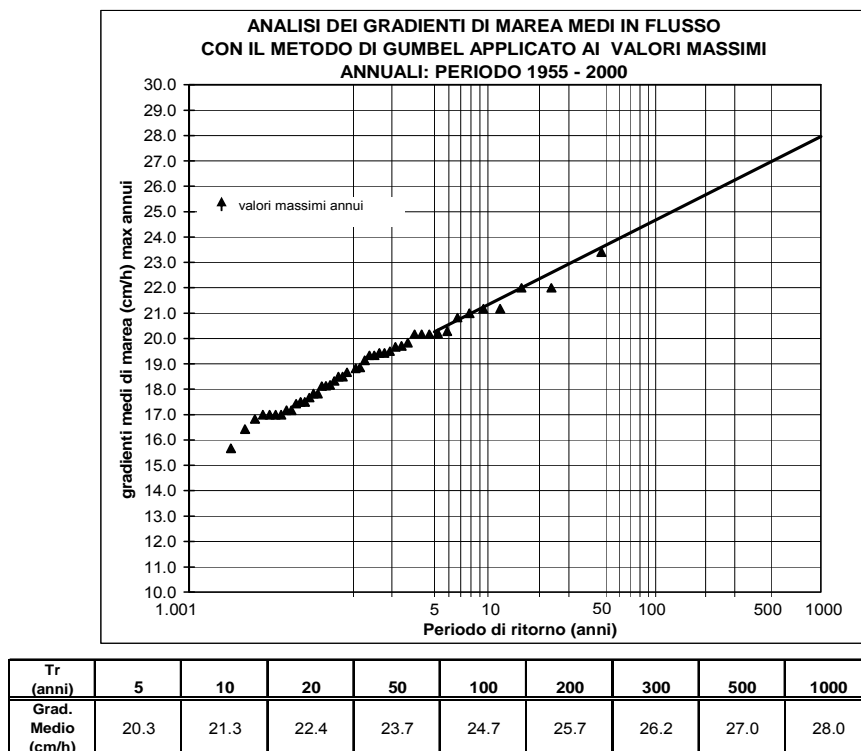


FIG. 4.4 - PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E VALORI ESTREMI DEL GRADIENTE IN FLUSSO

#### 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

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 San Nicolò).

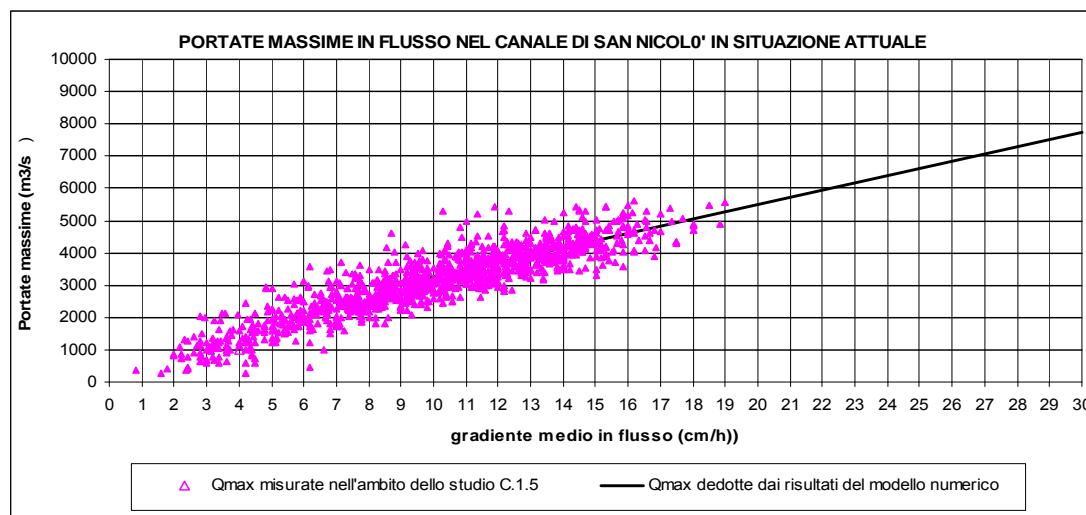



FIG. 4.5 - CONFRONTO TRA I DATI SPERIMENTALI E LA RELAZIONE ADOTTATA TRA GRADIENTE MEDIO E PORTATA MASSIMA NEL CANALE DI SAN NICOLÒ NELLA CONFIGURAZIONE ANTECEDENTE LA COSTRUZIONE DELLE OPERE MOBILI



	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 57
	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).

Per quanto riguarda le velocità massime il modello fornisce nella zona della barriera e della protezione dei fondali valori leggermente maggiori (+10%) in condizioni di riflusso rispetto al flusso, confermando quanto si osserva in situazione attuale. Il campo di velocità è distribuito in modo pressoché uniforme lungo la sezione, a meno delle opere di spalla in corrispondenza delle quali si osserva un significativo decremento.

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.

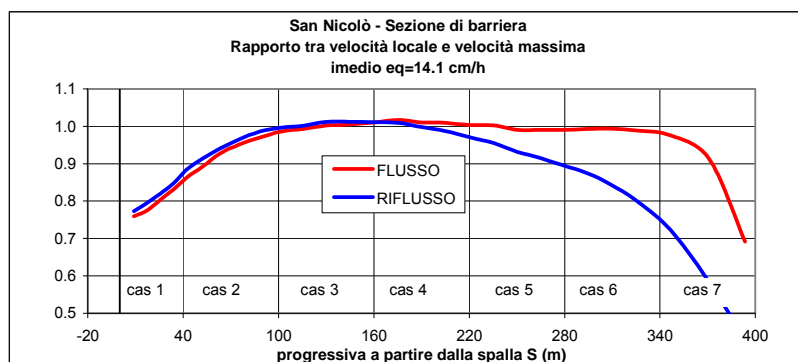
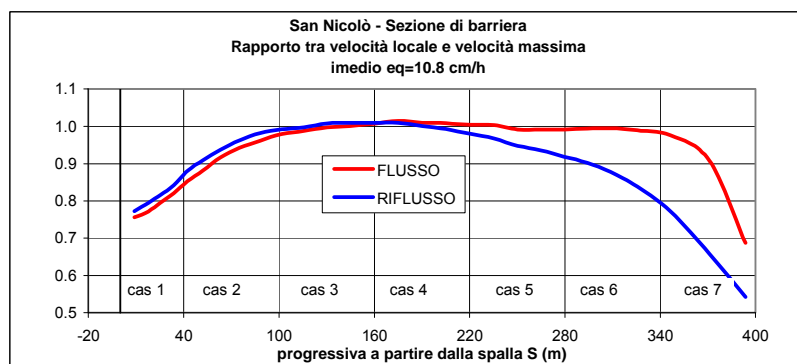
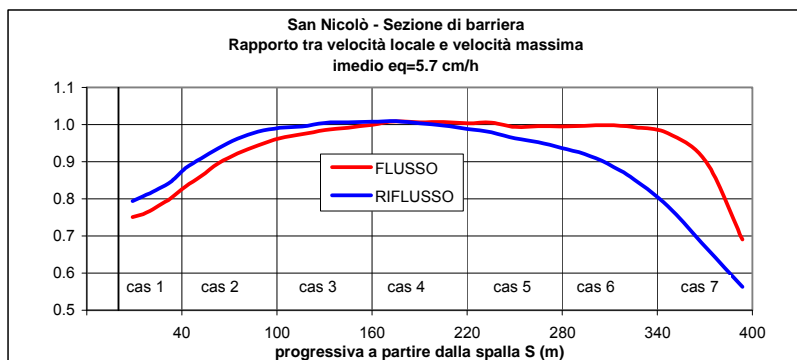
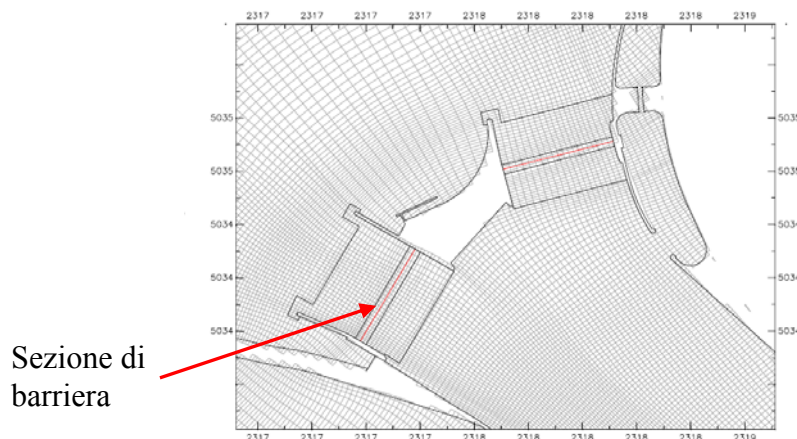


FIG. 4.6 - RAPPORTO TRA VELOCITÀ LOCALE E VELOCITÀ MASSIMA IN CORRISPONDENZA DELLA SEZIONE DI BARRIERA

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, diversa tra flusso e riflusso è diagrammata in Fig. 4.7.

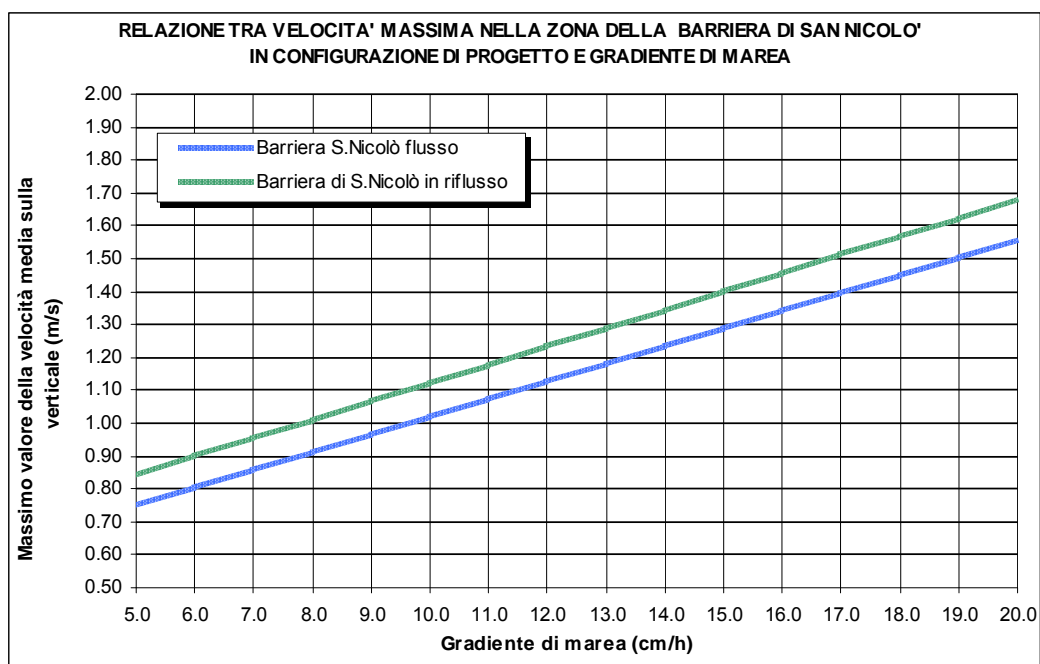


FIG. 4.7 - VELOCITÀ MASSIMA NELLA ZONA DI BARRIERA IN FUNZIONE DEL GRADIENTE DI MAREA

Applicando tali relazioni 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.

periodo 1955\_2004 SEZIONE DI BARRIERA DI SAN NICOLO'

FLUSSO

velocità max nel ciclo (m/s)	N° dati per classe	% dati cumulati	% dati per classe	% dati cumulati	t-F	vel max (m/s)
<0,6	0	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	>0,6
0,6	256	0,80%	0,80%	0,80%	99,20%	>0,6
0,7	1598	4,98%	5,78%	5,78%	94,22%	>0,7
0,8	4431	13,61%	18,49%	18,49%	80,61%	>0,8
0,9	5539	16,87%	25,36%	25,36%	63,74%	>0,9
1,0	6118	18,75%	44,11%	44,11%	45,00%	>1,0
1,1	21705	66,86%	70,96%	70,96%	32,04%	>1,1
1,2	5609	17,14%	88,10%	88,10%	14,96%	>1,2
1,3	3352	10,17%	98,27%	98,27%	4,73%	>1,3
1,4	1197	3,62%	100,00%	100,00%	0,27%	>1,4
1,5	29	0,09%	100,00%	100,00%	0,00%	>1,5
1,6	6	0,02%	100,00%	100,00%	0,00%	>1,6
1,7	0	0,00%	100,00%	100,00%	0,00%	>1,7
1,8	0	0,00%	100,00%	100,00%	0,00%	>1,8
1,9	0	0,00%	100,00%	100,00%	0,00%	>1,9
2,0	0	0,00%	100,00%	100,00%	0,00%	>2,0
Totale	32097					

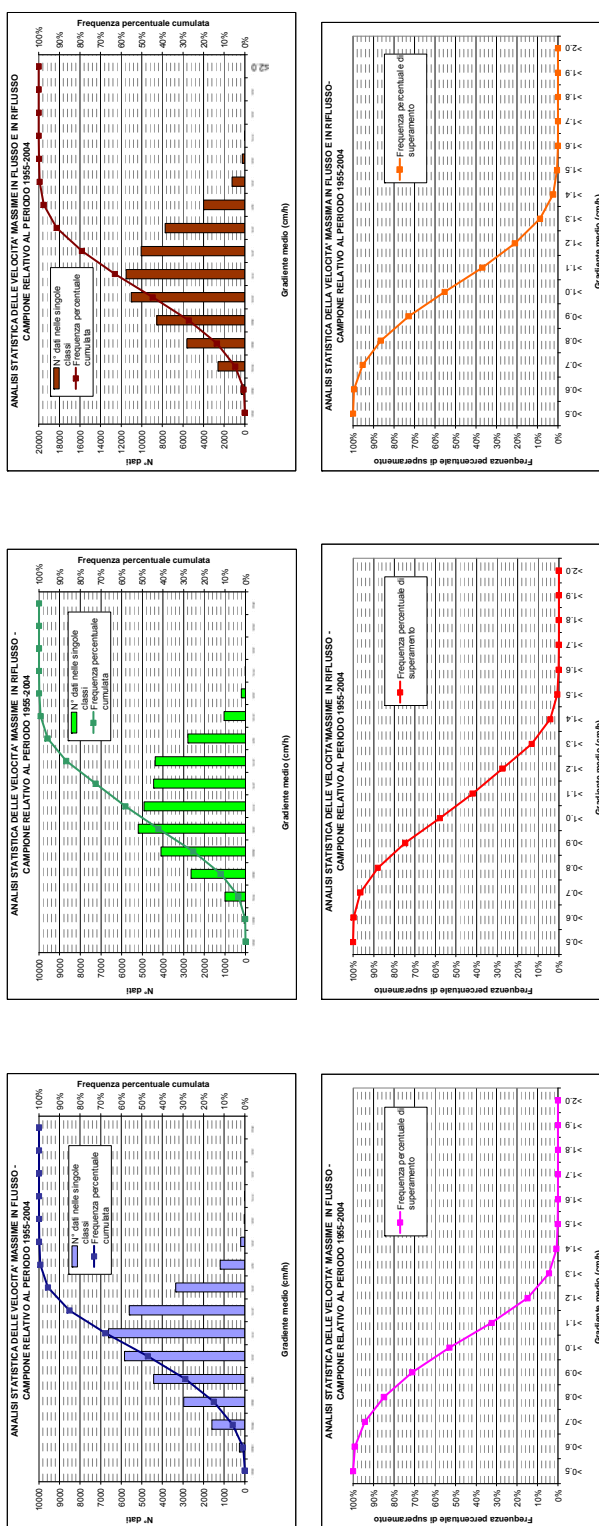
RIFLUSSO

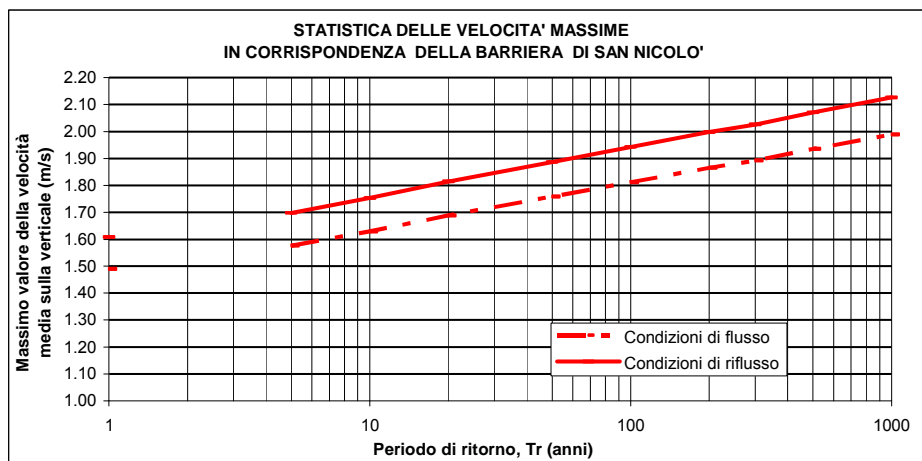
velocità max nel ciclo (m/s)	N° dati per classe	% dati cumulati	% dati per classe	% dati cumulati	t-F	vel max (m/s)
<0,6	0	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	>0,6
0,6	64	0,21%	0,21%	0,21%	99,79%	>0,6
0,7	597	1,87%	2,08%	2,08%	97,92%	>0,7
0,8	4038	12,59%	13,31%	13,31%	85,33%	>0,8
0,9	5188	15,88%	29,19%	29,19%	69,44%	>0,9
1,0	4313	13,13%	42,32%	42,32%	57,32%	>1,0
1,1	2259	6,99%	49,31%	49,31%	41,84%	>1,1
1,2	4451	13,72%	63,03%	63,03%	27,39%	>1,2
1,3	4171	12,84%	75,87%	75,87%	13,55%	>1,3
1,4	3064	9,54%	85,41%	85,41%	7,15%	>1,4
1,5	207	0,64%	86,05%	86,05%	0,15%	>1,5
1,6	21	0,07%	86,12%	86,12%	0,01%	>1,6
1,7	3	0,01%	86,13%	86,13%	0,00%	>1,7
1,8	0	0,00%	86,13%	86,13%	0,00%	>1,8
1,9	0	0,00%	86,13%	86,13%	0,00%	>1,9
2,0	0	0,00%	86,13%	86,13%	0,00%	>2,0
Totale	30795					

FLUSSO + RIFLUSSO

velocità max nel ciclo (m/s)	N° dati per classe	% dati cumulati	% dati per classe	% dati cumulati	t-F	vel max (m/s)
<0,6	0	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	>0,6
0,6	320	0,51%	0,51%	0,51%	99,49%	>0,6
0,7	2960	4,73%	5,24%	5,24%	98,38%	>0,7
0,8	8560	13,56%	18,79%	18,79%	84,82%	>0,8
0,9	11334	17,55%	36,34%	36,34%	67,28%	>0,9
1,0	26033	41,34%	77,68%	77,68%	55,34%	>1,0
1,1	39614	61,34%	89,02%	89,02%	37,00%	>1,1
1,2	49673	76,00%	96,78%	96,78%	21,07%	>1,2
1,3	27397	42,28%	99,99%	99,99%	8,72%	>1,3
1,4	6016	9,37%	100,00%	100,00%	0,20%	>1,4
1,5	26	0,04%	100,00%	100,00%	0,00%	>1,5
1,6	27	0,04%	100,00%	100,00%	0,00%	>1,6
1,7	3	0,00%	100,00%	100,00%	0,00%	>1,7
1,8	0	0,00%	100,00%	100,00%	0,00%	>1,8
1,9	0	0,00%	100,00%	100,00%	0,00%	>1,9
2,0	0	0,00%	100,00%	100,00%	0,00%	>2,0
Totale	65882					

FIG. 4.8 - ANALISI STATISTICA DELLA VELOCITÀ MASSIMA NELLA ZONA DELLA BARRIERA DI SAN NICOLO' 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)	V flusso (m/s)	V riflusso (m/s)
50.00%		9.60	1.00	1.10
5.00%		14.90	1.29	1.40
0.13%	1	18.70	1.49	1.61
	5	20.30	1.58	1.70
	10	21.30	1.63	1.75
	50	23.70	1.76	1.89
	100	24.70	1.81	1.94
	1000	28.00	1.99	2.13

FIG. 4.9 - STATISTICA DELLE VELOCITÀ MASSIME, MEDIE SULLA VERTICALE, IN CORRISPONDENZA DELLA ZONA DELLA BARRIERA DI SAN NICOLÒ

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.



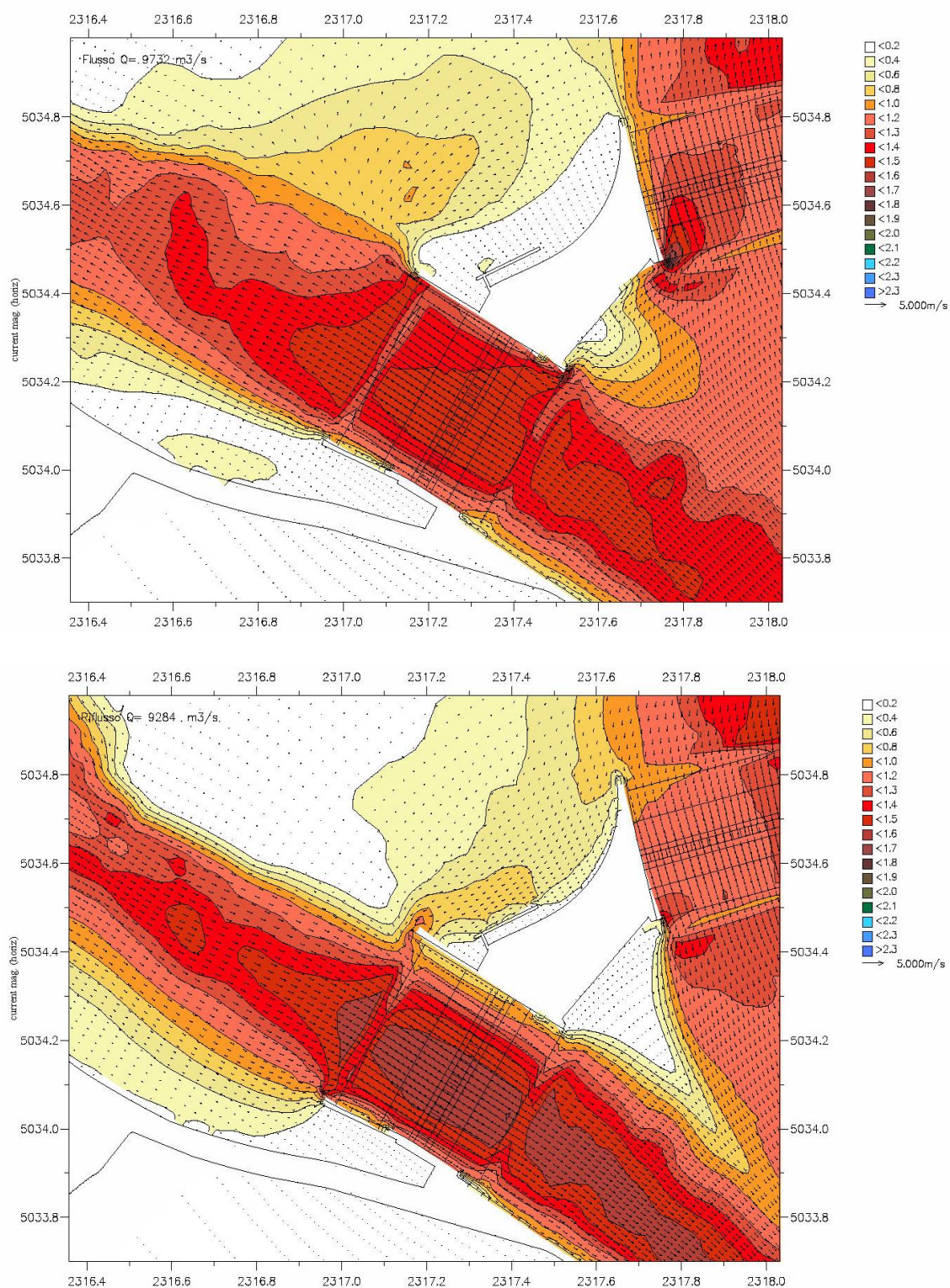


FIG. 4.10 - CAMPO DI VELOCITÀ IN PROSSIMITÀ DELLA BARRIERA DI SAN NICOLÒ PER UN EVENTO CON RICORRENZA CIRCA ANNUALE (SOPRA FLUSSO, SOTTO RIFLUSO)



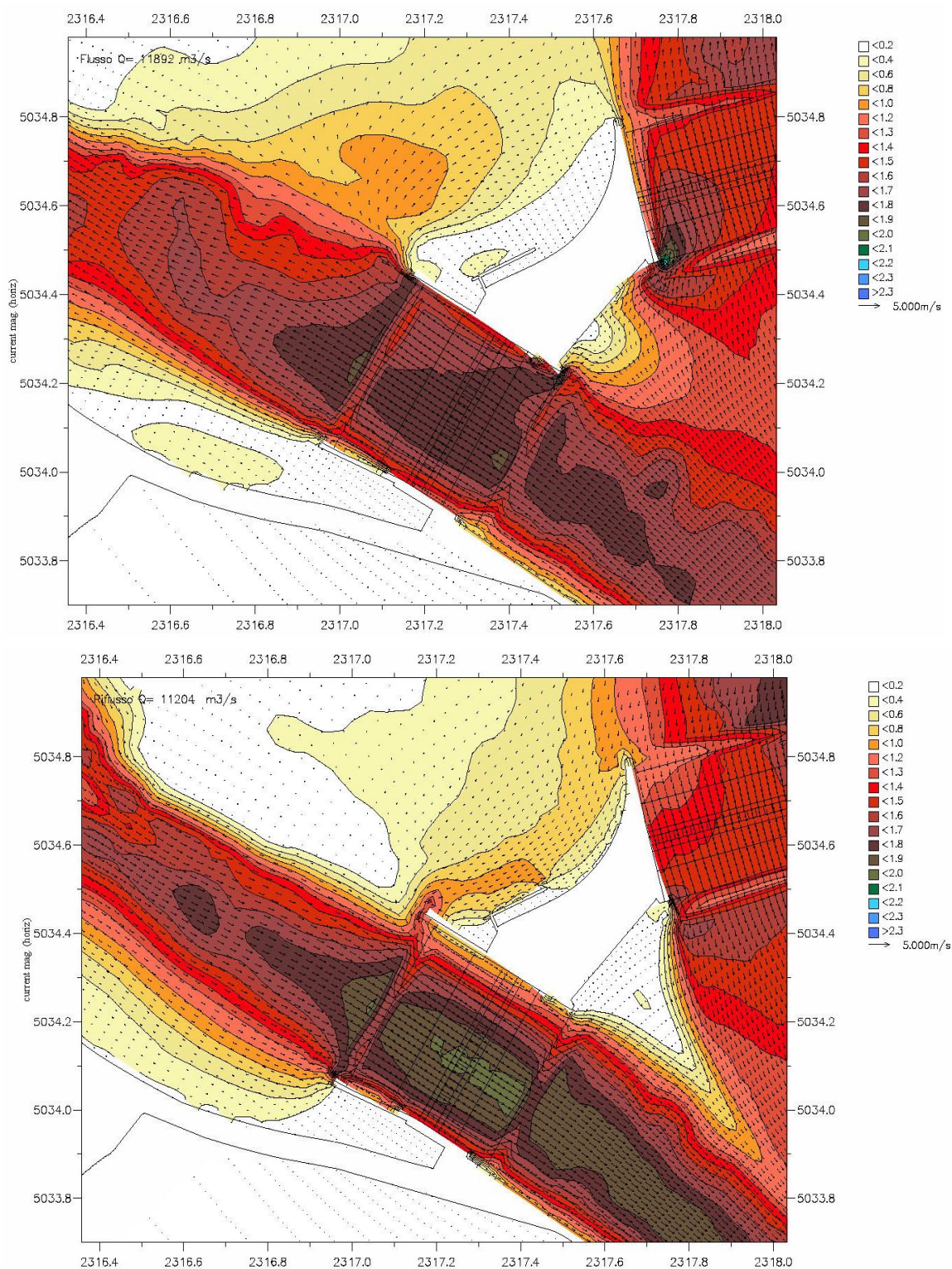


FIG. 4.11 - CAMPO DI VELOCITÀ IN PROSSIMITÀ DELLA BARRIERA DI SAN NICOLÒ PER UN EVENTO CON PERIODO DI RITORNO  $T_r=100$  ANNI (SOPRA FLUSSO, SOTTO RIFLUSO)



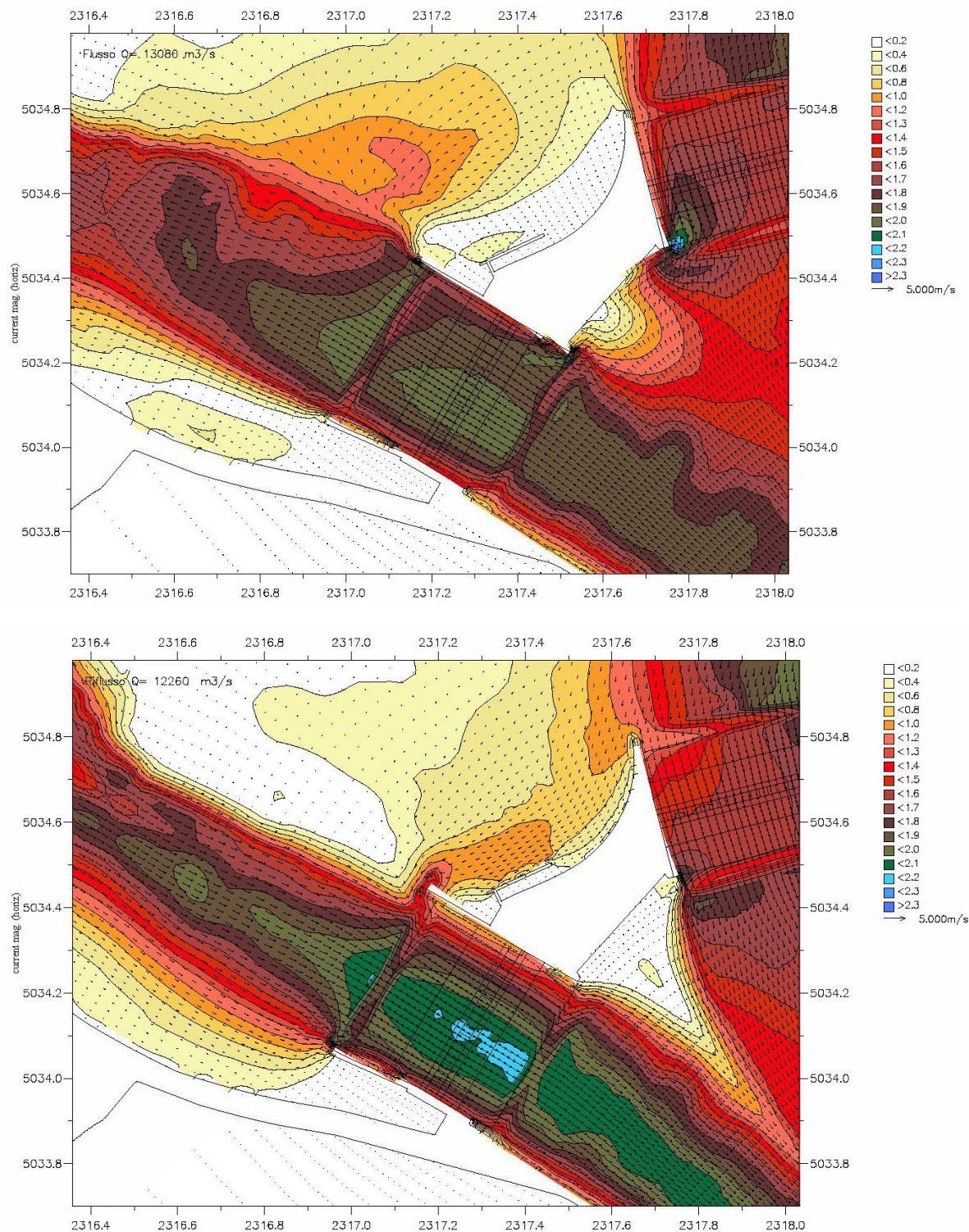



FIG. 4.12- CAMPO DI VELOCITÀ IN PROSSIMITÀ DELLA BARRIERA DI SAN NICOLÒ PER UN EVENTO CON PERIODO DI RITORNO  $T_r=1000$  ANNI (SOPRA FLUSSO, SOTTO RIFLUSSO)



	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 65
	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/III 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 (relativo al periodo luglio 2009- gennaio 2010) 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 per gradienti frequenti (sino a  $T_r=1$  anno) i valori di velocità valutati a partire dalla regressione delle misure risultano sempre inferiori a quelli valutati con la relazione di progetto. Per valori del gradiente medio  $\leq 15$  cm/h, la relazione di progetto ha una probabilità di superamento del 5%. Si rammenta che tali risultati si riferiscono ad un periodo di misura limitato e che andranno aggiornati via via che verranno acquisite nuove misure.

Di seguito si riportano, per diverse probabilità di superamento, i valori dei gradienti medi associati al valore limite di  $V_{cmax}=1.45$  m/s assunto per la posa dei cassoni di soglia.

SAN NICOLÒ'		MISURE gradiente medio [cm/h] associato a $V_{cmax} \quad 1.45 \text{ m/s}$	
		FLUSSO	RIFLUSSO
probabilità di non superamento	50%	20	16.5
	90%	18	15.5
	95%	17	15

TAB. 4.1 - ANALISI STATISTICA DELLA RELAZIONE TRA IL GRADIENTE MEDIO DI MAREA E LE MISURE DI VELOCITÀ DELLA CORRENTE (PERIODO LUGLIO 2009-GENNAIO 2010)

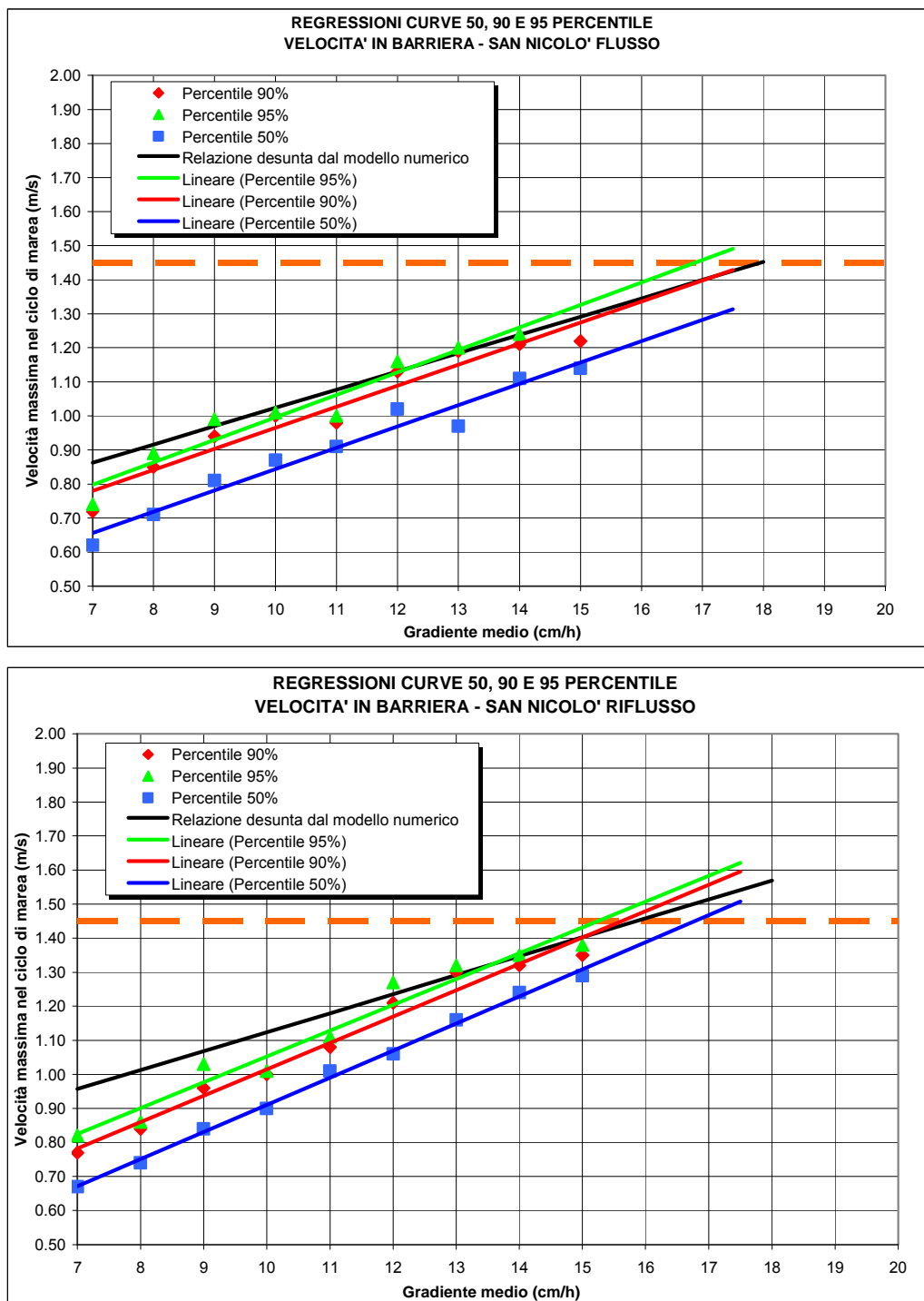



FIG. 4.13 - BOCCA DI LIDO SAN NICOLÒ: VELOCITÀ MISURATA (MEDIA SULLA VERTICALE) CON FATTORE DI TRASPOSIZIONE – REGRESSIONI CURVE 50, 90 E 95 PERCENTILE IN FLUSSO (SOPRA) E RIFLUSSO (SOTTO)

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 67
	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 bocca. Le misure sono state effettuate mediante strumenti posizionati sul fondale con cadenza di acquisizione oraria.

Più recentemente nell'ambito dello studio B.6.72 B [Rif. 11] sono state eseguite alcune campagne di misura in cui si sono acquisite con continuità, tra l'altro, la temperatura e la salinità dell'acqua in prossimità del molo sud di Lido a circa 500m sul lato mare dalla zona di barriera ed a una profondità di -8.0m slmm. 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 Lido.

MESE	Tmax °C	Tmin °C	Tmed °C
<b>Gen.</b>	10	4	7
<b>Feb.</b>	10	1	7
<b>Mar.</b>	13	7	9
<b>Apr.</b>	16	11	13
<b>Mag.</b>	22	13	18
<b>Giu.</b>	25	18	21
<b>Lug.</b>	26	20	24
<b>Ago.</b>	28	23	24
<b>Sett.</b>	25	19	22
<b>Ott.</b>	20	15	18
<b>Nov.</b>	16	7	11
<b>Dic.</b>	14	5	9

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

Il massimo valore della temperatura è stato registrato ad agosto e risulta pari a circa 28°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.

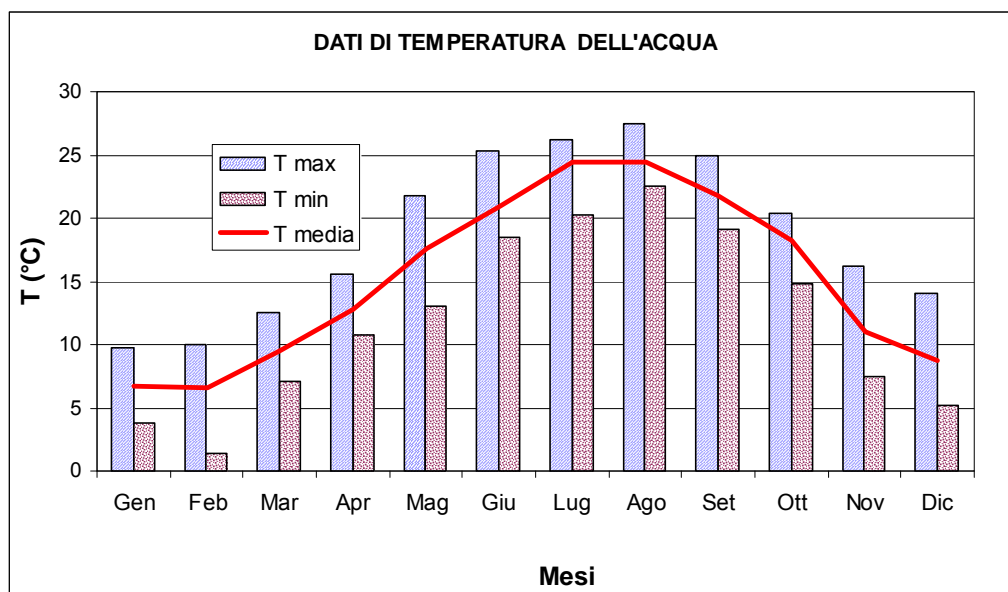


FIG. 5.1 - DISTRIBUZIONE MENSILE DELLA TEMPERATURA DELL'ACQUA ALLA BOCCA DI LIDO

## 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 del valore massimo e di quello medio è molto contenuta: i valori massimi si mantengono tra i 38.5 e i 40 psu, mentre quelli medi si mantengono pressoché costanti nell'anno e pari a 36 psu.

Maggiore variabilità si osserva per i valori minimi che variano da 25 a 33 psu circa.

MESE	Smax psu	Smin psu	Smed psu
Gen.	39.83	28.39	36.59
Feb.	39.42	25.27	37.07
Mar.	39.39	32.10	36.73
Apr.	39.37	28.63	36.31
Mag.	39.24	26.59	35.42
Giu.	38.52	32.69	36.38
Lug.	38.71	32.38	35.79
Ago.	39.49	30.90	36.38
Sett.	39.31	32.03	36.28
Ott.	38.87	28.90	35.98
Nov.	39.18	27.83	36.14
Dic.	39.64	29.12	35.95

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

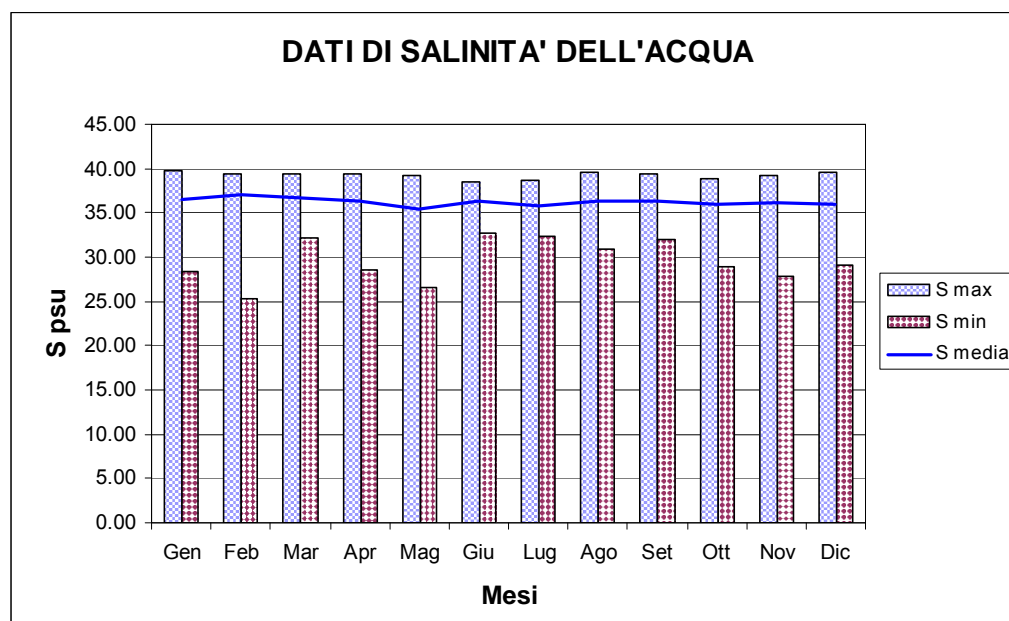
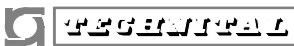


FIG. 5.2 - DISTRIBUZIONE MENSILE DELLA SALINITÀ DELL'ACQUA ALLA BOCCA DI LIDO

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 70
	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 Lido è stata effettuata a partire dalle registrazioni di temperatura e salinità [Rif. 12]; 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.

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.

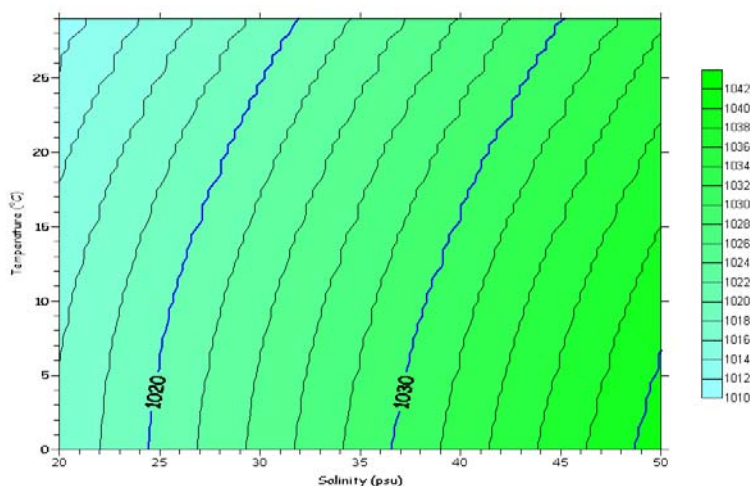



FIG. 5.3 - CURVE A DENSITÀ COSTANTE ( $\text{kg/m}^3$ ) IN FUNZIONE DELLA SALINITÀ E DELLA TEMPERATURA DELL'ACQUA DI MARE

L'analisi dei dati acquisiti alla -8.0m nel periodo 2005-2006 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  $1031 \text{ kg/m}^3$ , con valor medio pari a  $1026 \text{ kg/m}^3$ .

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

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 71
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## 6. TEMPERATURA E UMIDITÀ ARIA

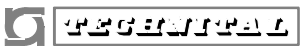
Sono stati raccolti ed elaborati i dati di temperatura dell'aria ed umidità relativa registrati alla stazione meteorologica dell'Istituto Bioclimatologico del Lido (lat. N 45°26', long. E 12°19'25") con intervallo di acquisizione di 1 ora per il periodo 1978-1987.

### 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)

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 72
	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.

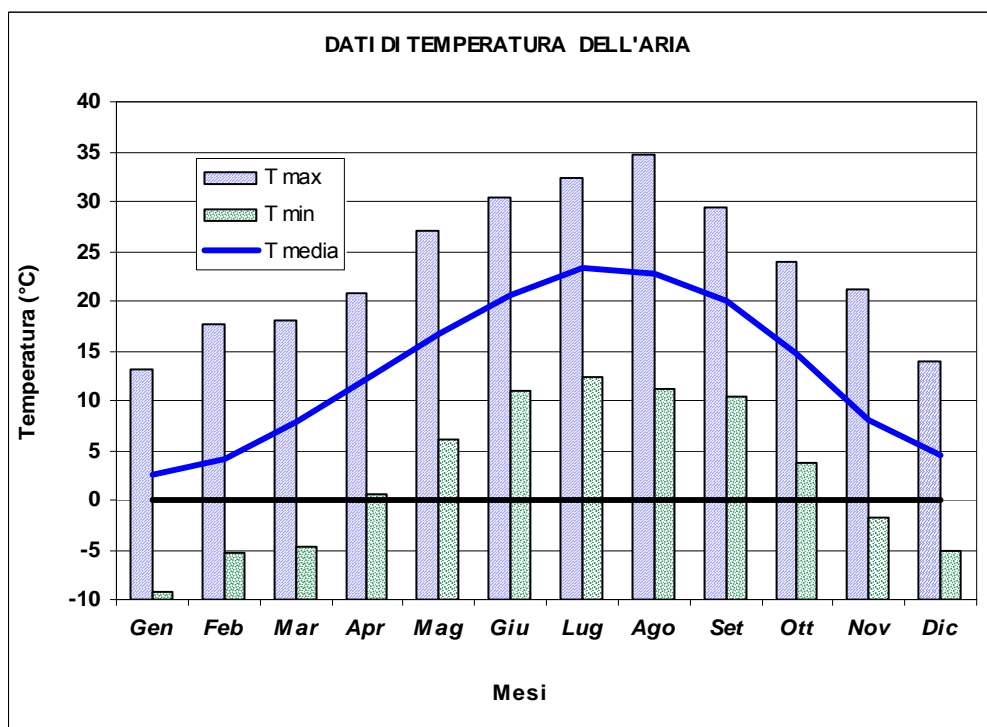



FIG. 6.1 - VALORI DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA SU BASE MENSILE (DATI ISTITUTO BIOCLIMATOLOGICO DEL LIDO PERIODO 1978-1987)




 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 73
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## 6.2. Umidità dell'aria

L'umidità media mensile varia dal 76%, in luglio, all'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)

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 74
	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 sud della barriera di San Nicolò 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.

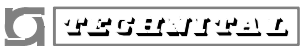
Il cassone di spalla della barriera di San Nicolò, dal punto di vista del comportamento idraulico, rientra nella tipologia delle dighe a parete verticale destinate a riflettere l'onda incidente (ovvero a creare dinanzi all'opera un processo di moto stazionario). Come indicato nel paragrafo 3.3.2 delle "Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime" [Rif. 13] 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 sud di San Nicolò, per la quale  $d=12m$  e, come si può dedurre dalla Tab. 3.9,  $\max [H(Tr=1000 \text{ anni})] = 1.67 \cdot 2.1 = 3.5$  (e quindi  $d > 1.5H = 5.3m$ ).

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 di stabilità in fase di cresta ed il valore  $H_{1/100}=1.67H_s$  per le verifiche di stabilità 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. 14].

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 75
	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. 15]:

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

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  $\beta$ .

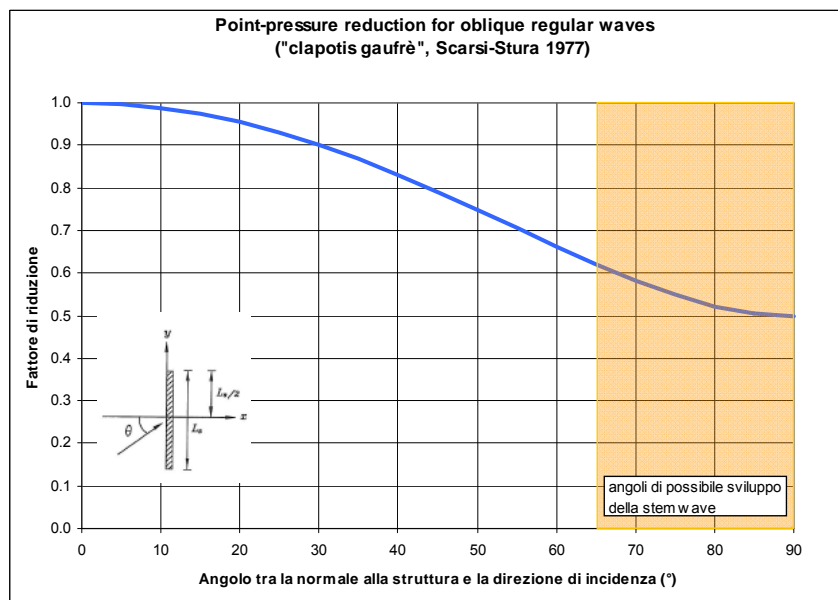
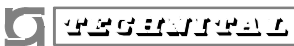


FIG. 7.1 - *POINT-PRESSURE FORCE REDUCTION* PER ONDE STAZIONARIE INCLINATE

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 76
	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. 16]. 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. 17] 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*”.

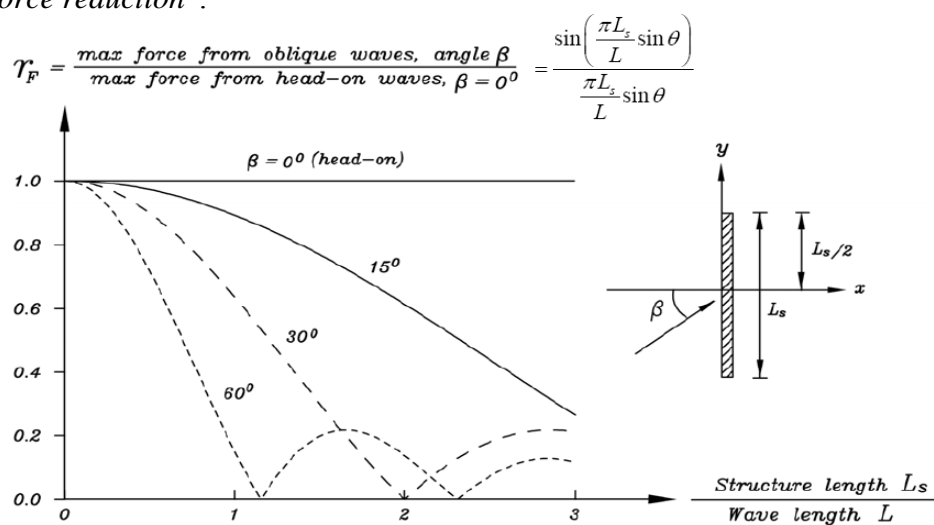


FIG. 7.2 - *PEAK-DELAY FORCE REDUCTION PER ONDE REGOLARI INCLINATE*

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 San Nicolò, per cui risulta  $L_s=60.2\text{m}$  e  $d=12\text{m}$ , 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.

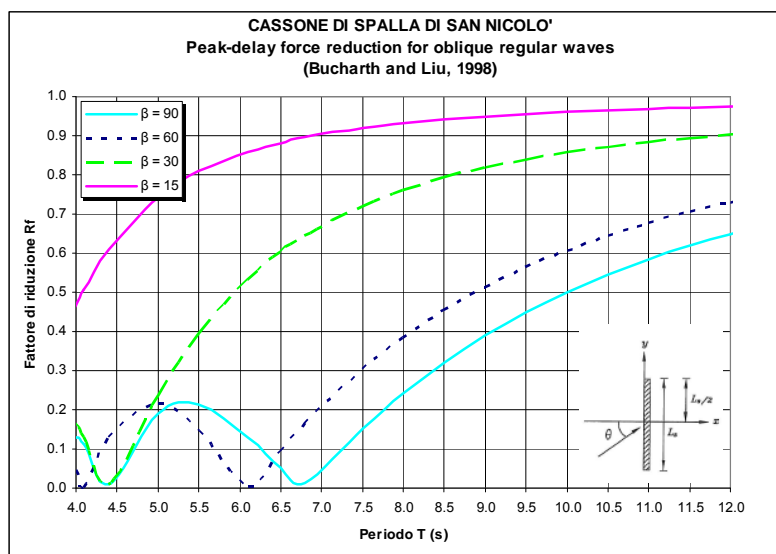


FIG. 7.3 - *PEAK-DELAY FORCE REDUCTION* PER IL CASSONE DI SPALLA DI SAN NICOLÒ

Nel caso di onde irregolari oblique non frangenti, il “*peak delay reduction factor*” può essere valutato come suggerito da Burcharth e Liu [Rif. 18] 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, poiché 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.

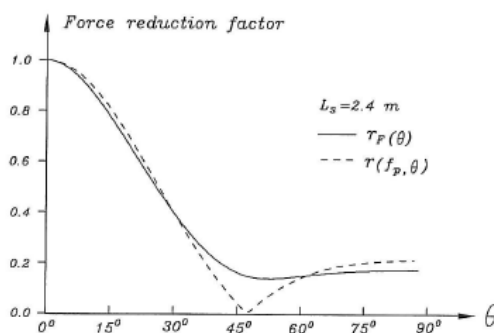
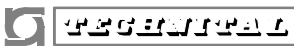


FIG. 7.4 - *CONFRONTO TRA IL PEAK-DELAY FORCE REDUCTION* PER ONDE REGOLARI E IRREGOLARI INCLINATE ( $H_s=0.16M$ ,  $T_p=12s$ ,  $D=0.3M$ ) AL VARIARE DELL’ANGOLO DI INCIDENZA

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 78
	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 sui due lati corti 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 che poi si irradia nella zona lato laguna retrostante, come indicato nello schema della figura seguente. Inoltre la continuità idraulica al di sotto del cassone nella 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.

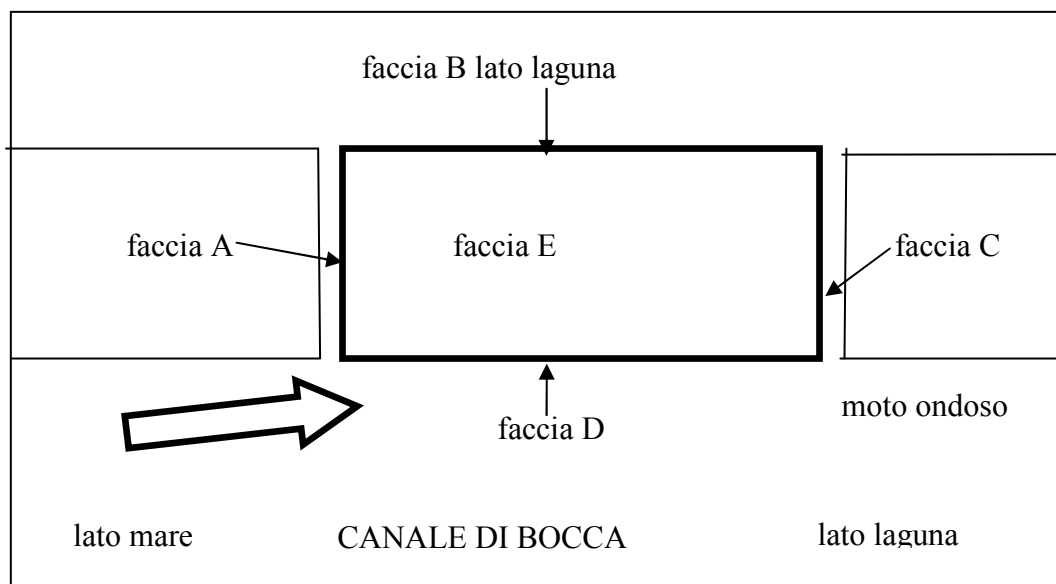



FIG. 7.5 - SCHEMA DEL CASSONE DI SPALLA ALL'INTERNO DEL RECESSO

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 [Rif. 19], come specificato di seguito.

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 79
	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. 20].

### 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

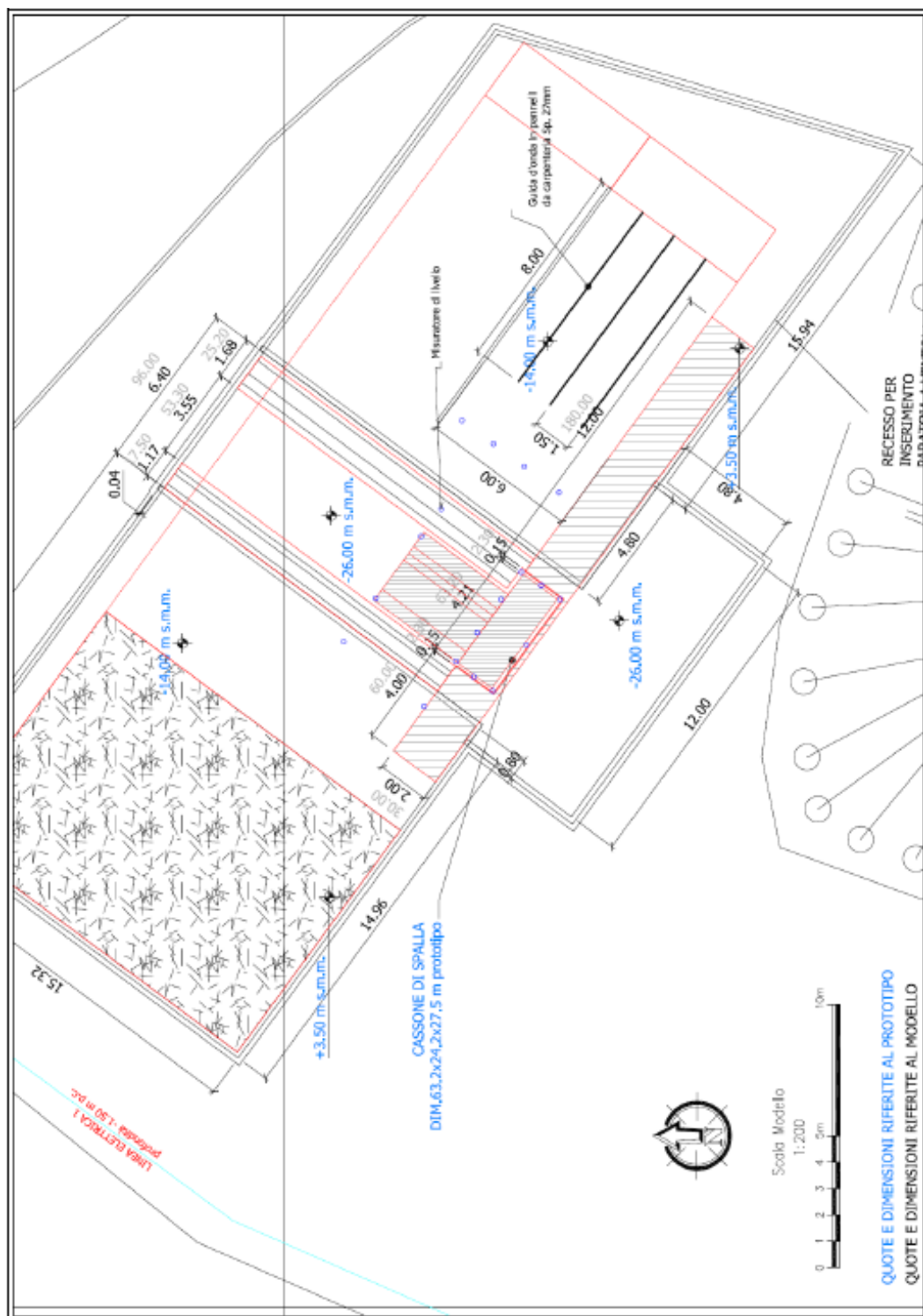
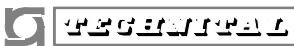


FIG. 7.7 - ALLESTIMENTO DEL MODELLO FISICO DEL CASSONE DI SPALLA IN SCALA 1:15



	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 81
	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.

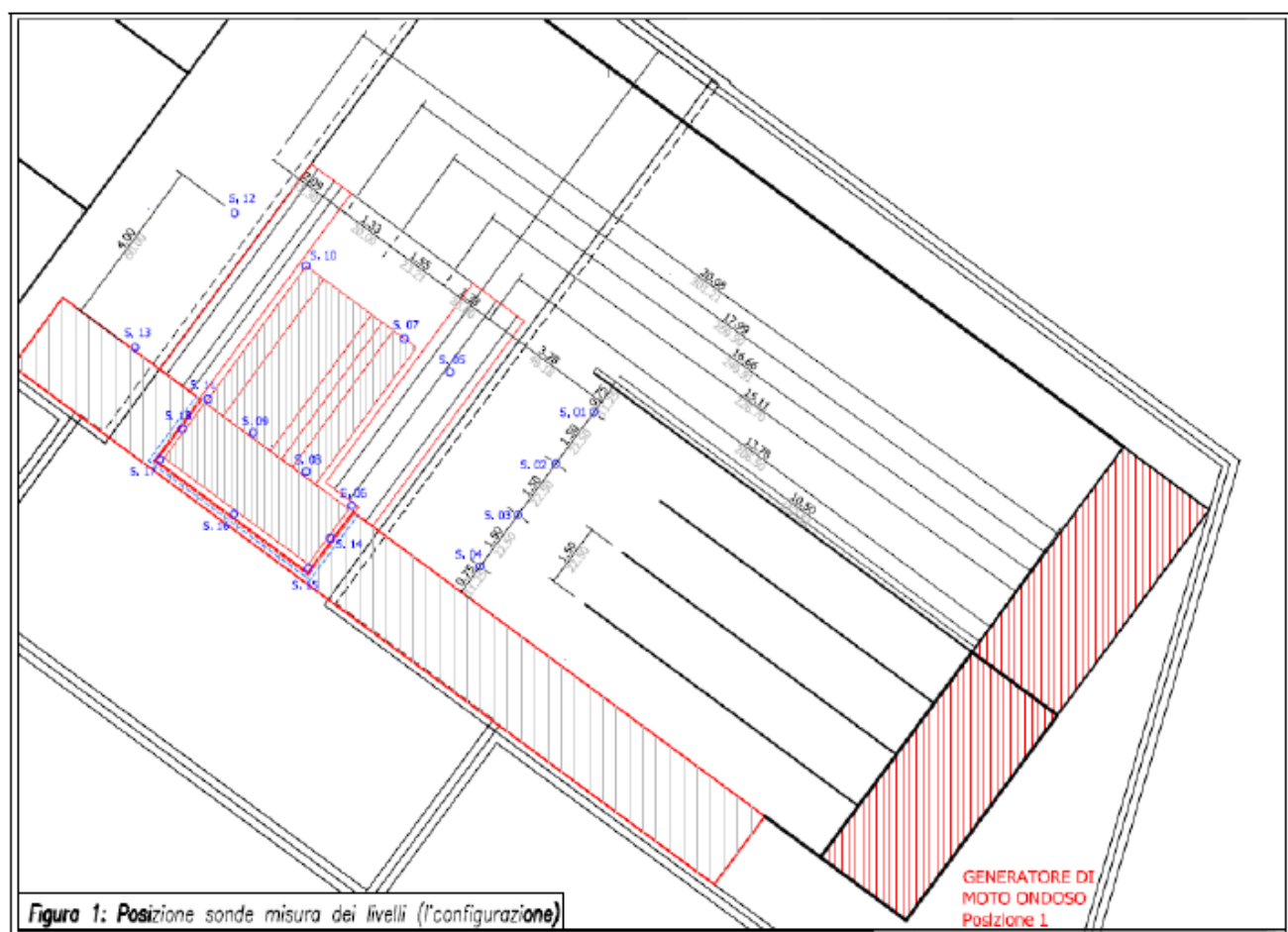
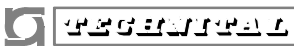


FIG. 7.8 - MODELLO FISICO DEL CASSONE DI SPALLA IN SCALA 1:15 – DISPOSIZIONE DELLE SONDE PER IL RILIEVO DEL MOTO ONDOSO

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 82
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

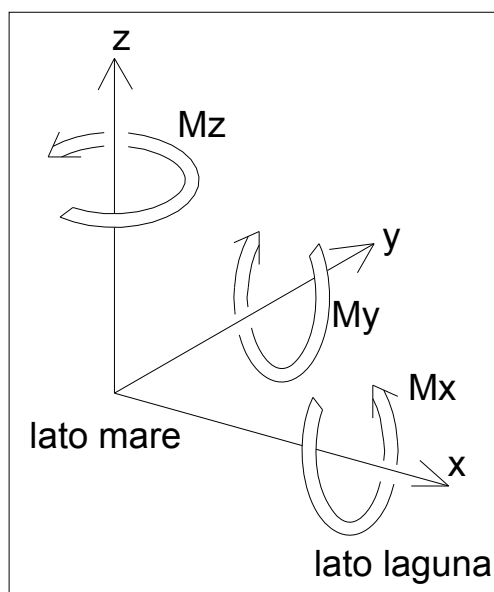
Le prove hanno previsto la misura delle azioni dinamiche dovute alle onde che si propagano nel canale di bocca quando il cassone si trova all'interno del recesso in appoggio puntuale. Per la misura delle sollecitazioni, è stato utilizzato un sistema costituito da celle di carico a flessione connesse 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'insieme celle – bielle (Fig. 7.9).

Sulla superficie esterna del cassone sono inoltre 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.

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.



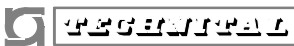
	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 83
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	



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

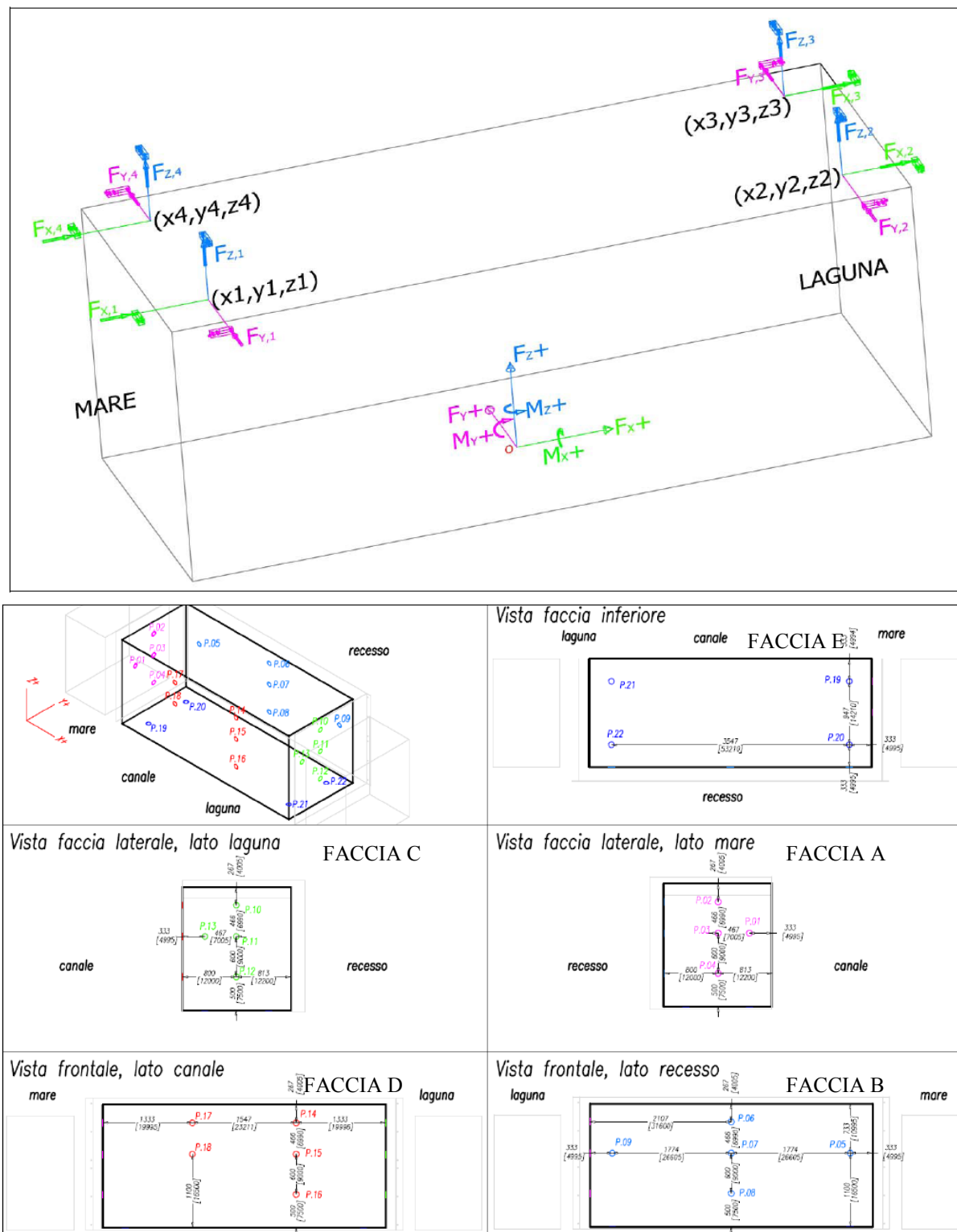



FIG. 7.10 - MODELLO FISICO DEL CASSONE DI SPALLA IN SCALA 1:15 – DISPOSIZIONE DELLE CELLE DI MISURA DELLE SOLLECITAZIONI (SOPRA) E DEI SENSORI DI PRESSIONE (SOTTO)

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 85
	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 60 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. Come geometria di riferimento è stata adottata quella del cassone di spalla sud di Malamocco per la quale sono state eseguite 25 prove con i recessi aperti e 19 prove con parziale chiusura dei recessi (a diverse profondità) con l'obiettivo di ridurre la propagazione del moto ondoso all'interno delle intercapedini e quindi le azioni risultanti sul manufatto.

Per il cassone di spalla sud di Chioggia, caratterizzato da una differente altezza del manufatto e da una diversa ampiezza delle intercapedini attorno alla struttura, sono state eseguite 4 prove con i recessi completamente aperti e 4 prove con i recessi verticali chiusi sino alla -14m.

Infine si è considerata la geometria del cassone di spalla sud di San Nicolò, contraddistinta, oltre che da una differente altezza del manufatto e da una diversa larghezza delle intercapedini lungo i lati corti della struttura, anche dalla presenza di un bacino aperto a tergo del cassone stesso. In questo caso si sono eseguite 5 prove con i recessi completamente aperti e 3 prove con i recessi verticali parzialmente chiusi. Tutte le prove hanno visto la riproduzione di onde policromatiche inclinate di 20° rispetto all'asse di bocca, con altezza in generazione di 0.75m, 1.0m e 1.50m. I periodi dell'onda esaminati sono risultati compresi tra 4.8s e 8.5s. In tutte le prove si è considerato un sovrizzo di marea di +0.5m slmm.


La seguente tabella sintetizza le caratteristiche di tutte le prove eseguite.

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 86
	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 VERTICALMENTE (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
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 NICOLO' 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: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 87
	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.

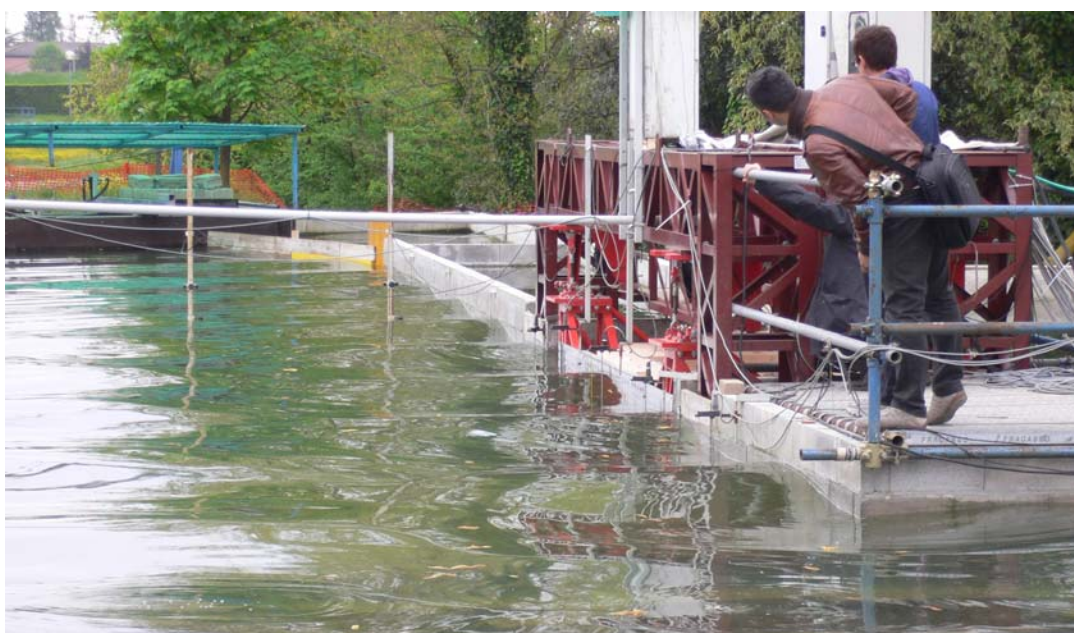


FIG. 7.11 - MODELLO FISICO DEL CASSONE DI SPALLA IN SCALA 1:15 – FORMAZIONE DELLA *STEM WAVE* NEL CASO DI ATTACCO INCLINATO ( $20^\circ$ ) DEL MOTO ONDO SO

Per quanto riguarda la propagazione dell'onda all'interno del recesso le prove eseguite sul cassone di spalla di San Nicolò Sud hanno evidenziato che, nel caso di recessi aperti, la presenza del bacino aperto a valle delle intercapedini fa sì che all'interno di queste ultime l'onda si amplifichi raggiungendo un valore che, per onde con periodo compreso tra 6 e 7 secondi, può essere prossimo al doppio di quello dell'onda che si propaga lungo il canale di bocca.

A tergo del cassone l'altezza d'onda significativa risulta dell'ordine di 0.5-0.6 volte quella incidente il lato canale, come evidenziato in Fig. 7.12 (diagrammi a sinistra).

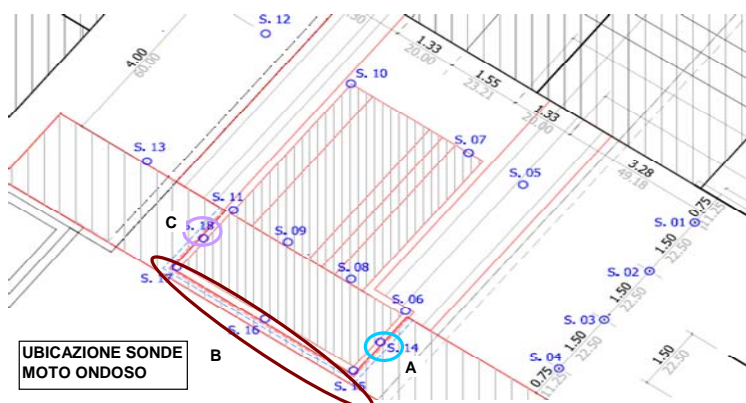
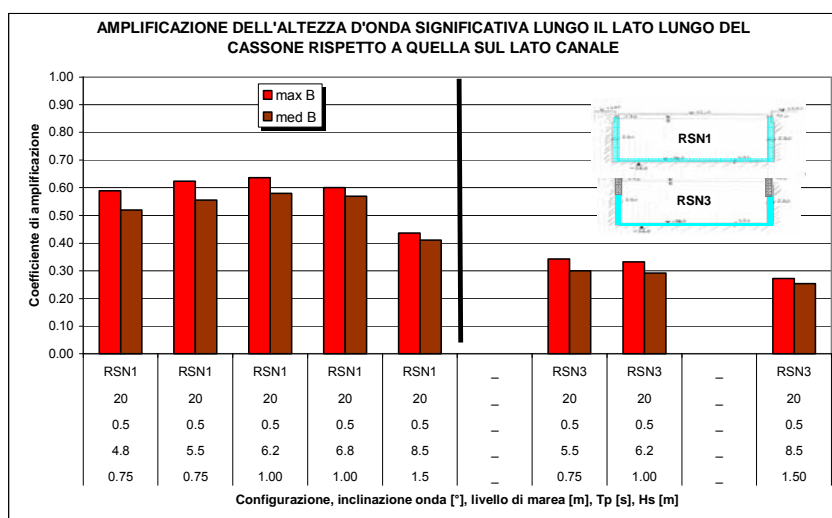
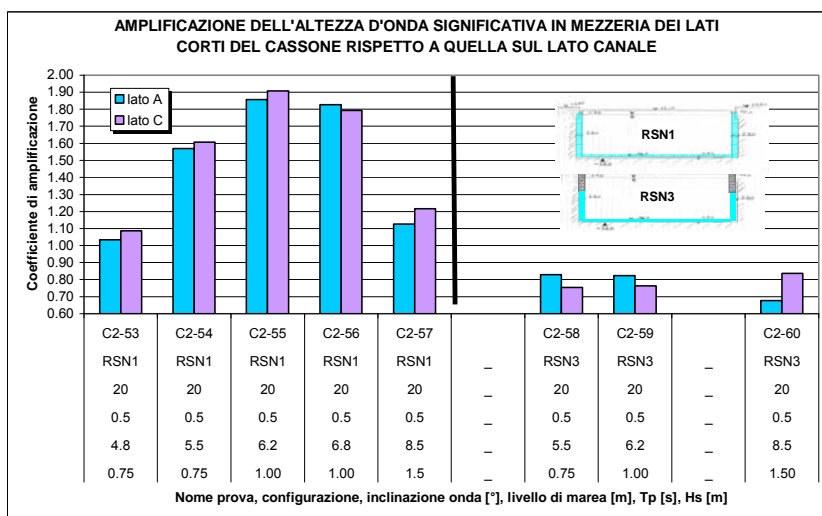
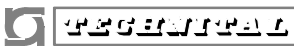


FIG. 7.12 - AMPLIFICAZIONE DELL'ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA LUNGO I LATI INTERNI DEL CASSONE RISPETTO A QUELLA SUL LATO CANALE. SOPRA: IN MEZZERIA DEI LATI CORTI DEL CASSONE (A E C), SOTTO: SUL LATO DARSENA (B). RISULTATI STUDIO B.6.96/II RELATIVI AL CASSONE DI SPALLA SUD DI SAN NICOLO'



	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 89
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

L'introduzione di una chiusura parziale dei recessi verticali estesa sino ad una profondità di 6m (configurazione RSN3 di Fig. 7.13 ) riduce il fenomeno di amplificazione del moto ondoso sui lati interni, come si osserva dai grafici nella parte destra di Fig. 7.12.



FIG. 7.13 - GEOMETRIA DI SAN NICOLÒ CON PARZIALE CHIUSURA DEI RECESSI VERTICALI SINO ALLA -6.0M SLMM

La Fig. 7.14 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 delle prove eseguite sul cassone di spalla di San Nicolò Sud. L'introduzione delle chiusure verticali comporta come conseguenza una riduzione delle azioni agenti sul cassone, variabile con il periodo del moto ondoso, più marcata per l'azione orizzontale  $F_x$  che per le altre.

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.

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 sui cassoni andatori, piuttosto che adottare la soluzione con parziale chiusura dei recessi.

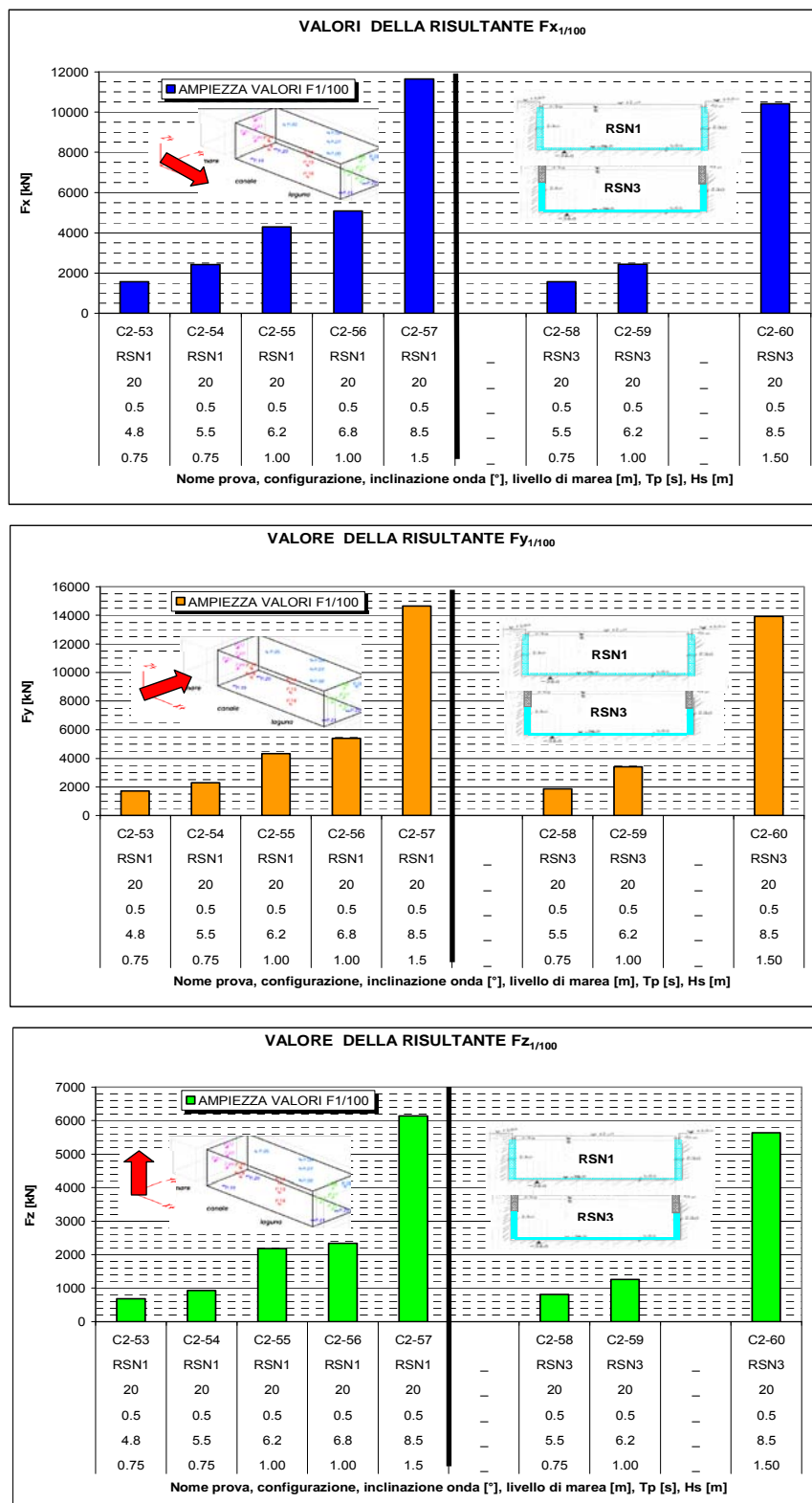



FIG. 7.14 – VALORI DELLE AZIONI  $F_{1/100}$  OTTENUTI NELLE PROVE DEL CASSONE DI SPALLA DI SAN NICOLÒ

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 91
	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 sui cassoni andatori NS-21 e NS-40, precedentemente installati;
- 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 rigidezza 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 sud di San Nicolò, tenuto conto che i ritegni di sommità trovano riscontro sui cassoni andatori, si è assunto un valore unitario per tale rapporto.

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 92
	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 2 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)

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


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

##### Verifica a ribaltamento:

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

##### Verifica a scorrimento:

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

 <b>PROGETTA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 93
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Verifica a stacco:

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

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:

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

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

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

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 rigidezza assiale del perno e del ritegno di sommità***

Verifica a ribaltamento:

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

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 94
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

$i_Y$  = 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:

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

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

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 95
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Dove:

$N_p$  = carico verticale sul singolo perno

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

#### Azioni sui ritegni

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

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

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

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.

Pertanto le funzioni obiettivo per questa fase sono state dedotte dalla prova Jon\_100\_062\_05iRSN1 (codice C255) caratterizzata da un'onda in generazione con periodo  $T_p=6.2s$ ,  $H_s=1.0$ , livello di marea= $0.5m$ , direzione di incidenza di  $20^\circ$ , moltiplicando i risultati sperimentali per il coefficiente 0.75 in virtù dell'ipotesi di linearità tra altezza d'onda incidente e azioni risultanti.

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

$i_x = 55.1m$  (interasse tra i perni in direzione x)


$i_y = 14.8 m$  (interasse tra i perni in direzione y)

$H_{ritegni} = 24.5m$  (distanza dei ritegni dal fondo del cassone, corrispondente alla  $+1.5m$  slmm)

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

Si è inoltre tenuto conto della minore larghezza del cassone di spalla sud di San Nicolò rispetto a quello provato su modello fisico scalando le azioni  $F_x$ ,  $F_z$  e  $M_y$  nel rapporto 20/24.

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

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 96
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

schema calcolo	$H_s$ [m]	$T$ [s]	$Z_{scorr}$ [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]
50-50	0.75	6.2	12108	601	452	1944	685	2629	840
moto rigido	0.75	6.2	10647	498	398	2204	748	2952	965

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

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

Si osserva che lo schema 50-50 risulta più penalizzante per la zavorra di stabilizzazione e per i carichi sui perni, mentre quello di moto rigido induce le maggiori azioni sui ritegni laterali.

Per definire la zavorra complessiva occorre considerare il contributo instabilizzante dovuto alla marea. Considerando una variazione del livello medio mare pari a  $\pm 0.7$ m, si ottengono i valori riportati nella seguente tabella:

Marea			
$A_{marea}$ [m <sup>2</sup> ]	$h_{marea}$ [m]	$dZ_{marea}$ [kN]	$N_{p,marea}$ [kN/PIN]
380	0.7	4478	1791


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 17000kN come indicato nella seguente tabella.

$h_{marea}$ [m]	$H_s$ [m]	$T$ [s]	$Z_{scorr}$ [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	16586	5419	452	2204	748	2952	965

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



	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 97
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

### 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:

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

#### 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 (Fz). 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\_05iRSN1 (codice C257) 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  $20^\circ$ , 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*. Inoltre per le onde con periodo maggiore di 8.5s si è tenuto conto dell'incremento dell'azione risultante sulla struttura dovuta alla maggiore lunghezza dell'onda incidente. 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.

Solo Onda, da risultati Modello Fisico scalati				Marea			Onda+ marea
<i>Tr</i> [anni]	<i>Hs</i> [m]	<i>Tp</i> [s]	<i>Z<sub>decomp</sub></i> [KN]	<i>A<sub>marea</sub></i> [m2]	<i>h<sub>marea</sub></i> [m]	<i>dZ<sub>marea</sub></i> [KN]	<i>Z<sub>decomp</sub></i> [KN]
1	1.0	8.5	30379	1200	1.0	20200	50579
5	1.4	9.4	50259	1200	0.7	14140	64399
10	1.5	9.8	58336	1200	0.8	15150	73486

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

### 7.3.3. Carichi per le analisi strutturali

#### ***Faccia lato canale***


Sulla faccia lato canale si considera una distribuzione di pressioni lungo la verticale alla Sainflou (si veda il paragrafo successivo), cui non si applica la riduzione del “*point-pressure factor*”, a causa della presenza della *stem wave*. Si terrà invece conto dell'attacco obliquo dell'onda considerando lungo lo sviluppo orizzontale della parete, per semplicità computazionale, anziché un profilo sinusoidale delle pressioni, un'alternanza di cavo cresta su gruppi di 3+3 celle attigue. I valori di altezza d'onda e periodo da utilizzarsi nei 2 scenari sono quelli precedentemente definiti:

- Appoggio su perni:  $H_s=0.75\text{m}$  e  $T_p=6.2\text{s}$
- Appoggio su sacconi (prima fase):  $H_s=1.0\text{m}$ ,  $T_p=8.5\text{s}$

#### ***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: (prova di riferimento Jon\_100\_062\_05iRSN1 - codice C255): il rapporto delle pressioni sulle 2 facce è di 1:4 (di compressione sull'una e decompressione sull'altra). Assumendo  $H_s=0.75\text{m}$  e  $T_p=6.2\text{s}$  le

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 99
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

pressioni (valore  $p_{1/100}$ ) valgono:  $p_A = 4.8$  kPa e  $p_C = 1.2$  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\_05iRSN1 - codice C257): il rapporto delle pressioni sulle 2 facce è di 1:1.5 (di compressione sull'una e decompressione sull'altra). Assumendo  $H_s=1.0$ m e  $T_p=8.5$ s le pressioni (valore  $p_{1/100}$ ) valgono:  $p_A = 12.2$  kPa e  $p_C = 8.2$  kPa, lo scenario è reversibile, scambiando i lati su cui agisce la pressione.

#### ***Faccia lato darsena***


Si assume una distribuzione di pressioni costanti lungo la superficie della faccia lato darsena di valore pari a:

- Appoggio su perni:  $p_B = 1.5$  kPa (pressione/depressione)
- Appoggio su sacconi di prima fase:  $p_B = 4.0$  kPa (pressione/depressione)

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

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

- Appoggio su perni:  $p_E = 1.3$  kPa (pressione/depressione)
- Appoggio su sacconi di prima fase:  $p_E = 4.1$  kPa (pressione/depressione)

 <b>CONSORZIO VENEZIA NUOVA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 100
	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. 21]). 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 (-12.0m 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 (-22.95 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: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 101
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Con riferimento allo schema rappresentato in Fig. 7.15, 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

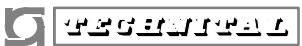
$$\eta' = H_d - h_0$$

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

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

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  $T_s$ .

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 102
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

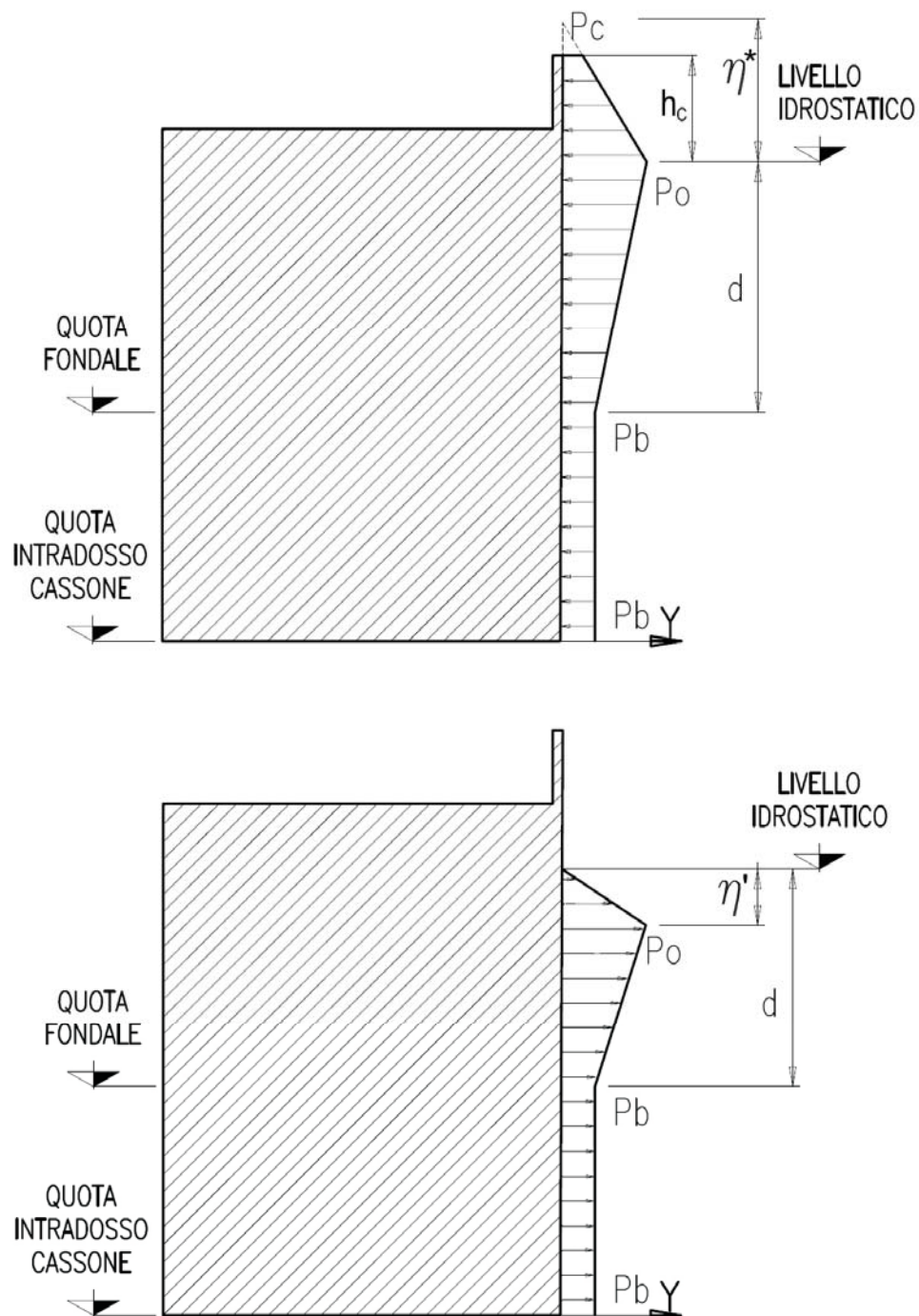
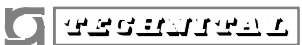


FIG. 7.15 - ANDAMENTO DELLE PRESSIONI LUNGO LA VERTICALE SUL CASSONE DI SPALLA IN ACCORDO CON LA TEORIA DI SAINTFLOU: SOPRA IN CORRISPONDENZA DELLA CRESTA DELL'ONDA, SOTTO IN CORRISPONDENZA DEL CAVO


	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 103
	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.


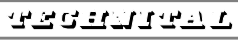
Per quanto riguarda la faccia del cassone lato darsena l'effetto del moto ondoso, può essere assimilato ad una variazione di livello idrostatico, adottando per  $T_r=100$  anni un dislivello di  $\pm 0.20m$ , per  $T_r=1000$  anni un dislivello pari a  $\pm 0.25m$ .

 <b>REGIONE</b> <b>VENEZIA</b>	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 104
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

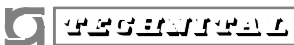
## 8. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [Rif. 1] Progetto definitivo delle opere alle bocche – Relazione meteomarina e morfologica, VE0734 – PDRT006
- [Rif. 2] Relazione finale dello Studio B.6.63 “Realizzazione di una serie di prove sul modello fisico della bocca di Lido in scala 1:64”, MV024C – ST – RF - 001 del 21/02/2006
- [Rif. 3] Studio B.5.13/I e Studio B.5.13/II fase “Prove su modello fisico della bocca di Lido”
- [Rif. 4] Studio B.6.96/III fase – Studio per il controllo della messa in opera del cassone di soglia di Lido Treporti. Rapporto Finale di sintesi dell’attività di gestione e raccolta dati dello strumento installato alla bocca di Lido San Nicolò”. Maggio 2010
- [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] Studio B.6.72 B/I Fase “Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari”
- [Rif. 12] 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. 13] Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici “Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime”. Publ. GNCDI n.1450, 1996
- [Rif. 14] USACE “Coastal Engineering Manual”, Part VI “Design of coastal project element – Fundamentals of design”, giugno 2006
- [Rif. 15] Scarsi, Stura “Sulla riflessione obliqua delle onde di mare”, Estratto dagli Atti dell’Accademia Ligure di scienze e Lettere, Vol.XXXIII, 1976



 	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 105
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

- [Rif. 16] 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
- [Rif. 17] Battjes “Effect of short-crestedness on wave loads on long structures” Applied Ocean Research, Vol.4,n°3, 1982
- [Rif. 18] 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. 19] Studio B.6.96/II fase – “Prove su modello in vasca del cassone di spalla” Rapporto Finale CF, Aprile 2010
- [Rif. 20] Studio B.6.96/II fase – Prove su modello fisico in scala 1:15. Rapporti di prova da C2-53 a C2-60
- [Rif. 21] Relazione finale dello Studio B.7.03/I: - “Completamento della sperimentazione sul gruppo cerniera-connettore delle paratoie e costruzione della preserie/ I fase”, MV115C –ST-RF – 1001 del 15/12/2006

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 106
	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 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 Lido depurato delle calme (ott.1987 – dic.2007) .....	28
Fig. 3.11 - Funzioni di trasferimento del moto ondoso dalla piattaforma CNR al punto L2.....	30
Fig. 3.12 - Planimetria del modello fisico in scala 1:64 della bocca di Lido con l'ultima configurazione delle opere .....	33
Fig. 3.13 - Ubicazione delle sonde di moto ondoso nel modello in prossimità della barriera di San Nicolò .....	34
Fig. 3.14 - Onde di breve periodo misurate nel modello fisico in prossimità della barriera di San Nicolò .....	35
Fig. 3.15 - Onde di breve periodo misurate in prossimità della spalla nord .....	35
Fig. 3.16 - Onde di breve periodo misurate in prossimità della spalla sud .....	35
Fig. 3.17- Onde di lungo periodo misurate nel modello fisico in prossimità della barriera di San Nicolò .....	36

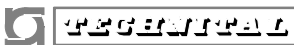
	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 107
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Fig. 3.18 - Riduzione di Hs dal largo alla stazione 27 di San Nicolò .....	39
Fig. 3.19 - Stazione 27 di San Nicolò : relazione tra Hs e Ts (a sinistra) e tra Hs e Hmax (a destra) .....	39
Fig. 3.20 - Ubicazione delle sonde nel modello fisico in configurazione attuale .....	40
Fig. 3.21 - San Nicolò: Distribuzione direzionale e stagionale del valore dell'altezza d'onda al picco per gli eventi con Hs al picco > 0.5m e loro durata .....	44
Fig. 3.22 - Ubicazione dello strumento installato a San Nicolò' .....	46
Fig. 3.23 - Riduzione di Hs dal largo al canale di San Nicolò per il settore di bora-levante (sopra) e di scirocco (sotto) - Dati studio B.6.96/III e B.6.96/II fase – 2^perizia di variante e suppletiva. Periodo: luglio 2009 - ottobre 2010 .....	47
Fig. 3.24 - Valori di altezza d'onda e del periodo di picco corrispondenti dedotti dalle registrazioni dell'ADCP (in alto) e del surface tracking (in basso)- Dati studio B.6.96/III. periodo: luglio 2009 - ottobre 2010 .....	48
Fig. 3.25 - Misure di altezza d'onda e velocità della corrente acquisite dall'ADCP alla bocca di Lido San Nicolò (20/7/09- 31/10/10) .....	49
Fig. 4.1 - Statistica dei livelli di marea massimi e minimi registrati a Punta della Salute .....	50
Fig. 4.2 - Frequenza di superamento dei livelli registrati a Punta della Salute .....	51
Fig. 4.3 - Analisi statistica dei gradienti medi di marea (dai livelli orari misurati a Punta della Salute nel periodo 1955-2004) .....	54
Fig. 4.4 - Probabilità di superamento e valori estremi del gradiente in flusso .....	55
Fig. 4.5 - Confronto tra i dati sperimentali e la relazione adottata tra gradiente medio e portata massima nel canale di San Nicolò nella configurazione antecedente la costruzione delle opere mobili .....	56
Fig. 4.6 - Rapporto tra velocità locale e velocità massima in corrispondenza della sezione di barriera .....	58
Fig. 4.7 - Velocità massima nella zona di barriera in funzione del gradiente di marea .....	59
Fig. 4.8 - Analisi statistica della velocità massima nella zona della barriera di San Nicolò desunta dall'analisi dei gradienti medi di marea (dai livelli orari misurati a Punta della Salute nel periodo 1955-2004) .....	60
Fig. 4.9 - Statistica delle velocità massime, mediate sulla verticale, in corrispondenza della zona della barriera di San Nicolò .....	61
Fig. 4.10 - Campo di velocità in prossimità della barriera di San Nicolò per un evento con ricorrenza circa annuale (sopra flusso, sotto riflusso) .....	62
Fig. 4.11 - Campo di velocità in prossimità della barriera di San Nicolò per un evento con periodo di ritorno Tr=100 anni (sopra flusso, sotto riflusso) .....	63
Fig. 4.12 - Campo di velocità in prossimità della barriera di San Nicolò per un evento con periodo di ritorno Tr=1000 anni (sopra flusso, sotto riflusso) .....	64
Fig. 4.13 - Bocca di lido San Nicolò: Velocità misurata (media sulla verticale) con fattore di trasposizione – Regressioni curve 50, 90 e 95 percentile in flusso (sopra) e riflusso (sotto) .....	66
Fig. 5.1 - Distribuzione mensile della temperatura dell'acqua alla bocca di Lido .....	68

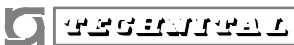
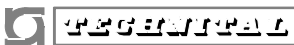

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 108
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Fig. 5.2 - Distribuzione mensile della salinità dell'acqua alla bocca di Lido .....	69
Fig. 5.3 - Curve a densità costante ( $\text{kg/m}^3$ ) in funzione della salinità e della temperatura dell'acqua di mare .....	70
Fig. 6.1 - Valori della temperatura dell'aria su base mensile (dati Istituto Bioclimatologico del Lido periodo 1978-1987) .....	72
Fig. 7.1 - <i>Point-pressure force reduction</i> per onde stazionarie inclinate .....	75
Fig. 7.2 - <i>Peak-delay force reduction</i> per onde regolari inclinate.....	76
Fig. 7.3 - <i>Peak-delay force reduction</i> per il cassone di spalla di San Nicolò .....	77
Fig. 7.4 - Confronto tra il <i>peak-delay force reduction</i> per onde regolari e irregolari inclinate ( $H_s=0.16\text{m}$ , $T_p=12\text{s}$ , $d=0.3\text{m}$ ) al variare dell'angolo di incidenza.....	77
Fig. 7.5 - Schema del cassone di spalla all'interno del recesso.....	78
Fig. 7.6 - Panoramica generale del modello fisico .....	79
Fig. 7.7 - Allestimento del modello fisico del cassone di spalla in scala 1:15.....	80
Fig. 7.8 - Modello fisico del cassone di spalla in scala 1:15 – Disposizione delle sonde per il rilievo del moto ondoso .....	81
Fig. 7.9 - Modello fisico del cassone di spalla in scala 1:15.....	83
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).....	84
Fig. 7.11 - Modello fisico del cassone di spalla in scala 1:15 – Formazione della <i>stem wave</i> nel caso di attacco inclinato ( $20^\circ$ ) del moto ondoso .....	87
Fig. 7.12 - Amplificazione dell'altezza d'onda significativa lungo i lati interni del cassone rispetto a quella sul lato canale. Sopra: in mezzzeria dei lati corti del cassone (A e C), sotto: sul lato darsena (B). Risultati Studio B.6.96/II relativi al cassone di spalla sud di San Nicolò' .....	88
Fig. 7.13 - Geometria di San Nicolò con parziale chiusura dei recessi verticali sino alla -6.0m slmm .....	89
Fig. 7.14 – Valori delle azioni $F_{1/100}$ ottenuti nelle prove del cassone di spalla di San Nicolò' .....	90
Fig. 7.15 - 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 .....	102

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 109
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

## INDICE DELLE TABELLE

Tab. 2.1 - Distribuzione direzionale del vento 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 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 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 Lido (dati ott. 1987- dic.2007) .....	29
Tab. 3.5 - Valori estremi del moto ondoso di fronte alla bocca di Lido .....	31
Tab. 3.6 - Statistica combinata onde e livelli all'esterno della bocca di Lido (punto L2) .....	31
Tab. 3.7 - Statistica combinata onde e livelli per i cassoni di soglia della barriera di San Nicolò .....	37
Tab. 3.8 - Statistica combinata onde e livelli per i cassoni della spalla nord di San Nicolò .....	37
Tab. 3.9 - Statistica combinata onde e livelli per i cassoni della spalla sud di San Nicolò .....	38
Tab. 3.10 - Onde in corrispondenza della futura barriera di Lido San Nicolò: statistica annuale .....	41
Tab. 3.11 - Onde in corrispondenza della futura barriera di Lido San Nicolò: statistica invernale .....	42
Tab. 3.12 - Onde in corrispondenza della futura barriera di Lido San Nicolò: statistica estiva .....	43
Tab. 3.13 - Relazione tra altezza d'onda significativa e periodo di picco alla barriera di San Nicolò dedotta dalle misure effettuate nel periodo 1989-1992 .....	45
Tab. 4.1 - Analisi statistica della relazione tra il gradiente medio di marea e le misure di velocità della corrente (periodo luglio 2009-gennaio 2010).....	65
Tab. 5.1 - Distribuzione mensile della temperatura dell'acqua alla bocca di Lido.....	67
Tab. 5.2 - Distribuzione mensile della salinità dell'acqua alla bocca di Lido .....	69
Tab. 6.1 - Valori della temperatura massima e minima mensile e corrispondenti valori dell'umidità relativa (dati Istituto Bioclimatologico del Lido periodo 1978-1987) .....	71
Tab. 6.2 - Valori medi mensili della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa (dati Istituto Bioclimatologico del Lido periodo 1978-1987) .....	73

	Rev. C0	Data: 21/03/12	El. MV081P-PE-NCR-5013	Pag. n. 110
	Rev.	Data:	Dati di progetto Condizioni meteomarine ed azioni conseguenti	

Tab. 7.1 -	Caratteristiche delle prove eseguite sul modello fisico del cassone di spalla.....	86
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.....	96
Tab. 7.3 -	Valori della zavorra e dei carichi sui pins dovuti alla marea.....	96
Tab. 7.4 -	Valori della zavorra necessaria per contrastare le azioni meteomarine e dei carichi sui pins e sui ritegni di sommità nella fase di appoggio su perni .....	96
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 .....	98