

autostrade // per l'italia

NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

Adeguamento del sistema

A7 – A10 – A12

PROGETTO DEFINITIVO

OPERA A MARE NEL CANALE DI CALMA

IDRAULICA

Relazione meteomarina

IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA

Ing. Paolo De Paoli
Ord. Ingg. Pavia N. 1739

RESPONSABILE UFFICIO IDR

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Orlando Mazza
Ord. Ingg. Pavia N. 1496

RESPONSABILE AREA DI PROGETTO GENOVA

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Maurizio Torresi
Ord. Ingg. Milano N. 16492

RESPONSABILE FUNZIONE STP

WBS		RIFERIMENTO ELABORATO										DATA:		REVISIONE					
G16	DIRETTORIO					FILE					FEBBRAIO 2011	n.	data						
	codice commessa				N.Prog.	unita'	n. progressivo					1	APRILE 2012						
--	1	1	0	7	1	2	0	4	I	D	R	9	0	2	0	-	2	2	MAGGIO 2012

 spea autostrade	Ingegneria europea	COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO Ing. Ilaria Lavander	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	
			ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	
CONSULENZA A CURA DI :		PRESTITEMA S.p.A.	IL RESPONSABILE UFFICIO/UNITA'	Ing. Paolo De Paoli Ord. Ingg. Pavia N. 1739

VISTO DEL COORDINATORE GENERALE SPEA DIREZIONE OPERATIVA PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE LAVORI ASPI Ing. Alberto Selleri	VISTO DEL COMMITTENTE autostrade // per l'italia Ing. Giorgio Fabriani	VISTO DEL CONCEDENTE 
---	--	--

INDICE

1	SCOPO E CONTENUTI DELLA RELAZIONE	10
2	PUBBLICAZIONI, STUDI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO	12
3	ESPOSIZIONE DEL PARAGGIO D'INTERESSE	14
4	I LIVELLI DEL MARE	15
5	LE CORRENTI LITORANEE	20
6	LE CONDIZIONI ANEMOMETRICHE	31
6.1	Il clima di vento.....	31
6.2	Le condizioni estreme di vento.....	33
7	IL CLIMA DI MOTO ONDOSO AL LARGO.....	34
7.1	I dati di moto ondoso disponibili.....	34
7.2	Il clima di moto ondoso al largo	35
7.2.1	I dati della RON di La Spezia	35
7.2.2	I dati dell'UKMO	37
8	GLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSO AL LARGO	39
8.1	Valori estremi delle onde al largo di La Spezia	39
8.2	Valori estremi delle onde al largo nel punto UKMO.....	40
9	PERIODO DI RITORNO DELL'ONDA DI PROGETTO	47
10	PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE.....	50
10.1	Schematizzazioni e batimetrie	50
10.2	Simulazioni e risultati ottenuti	51
11	DESCRIZIONE SOMMARIA DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO	56

12 PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI NEL CANALE ATTRAVERSO LE IMBOCCATURE ALLE ESTREMITA' DELLA DIGA FORANEA: STATO DI FATTO E DI PROGETTO	60
12.1 Configurazioni di riferimento: schematizzazioni	60
12.2 I coefficienti di riflessione delle opere	63
12.2.1 La diga di Voltri	63
12.2.2 La nuova conterminazione della diga foranea con cella antiriflettente	65
12.3 Simulazioni e risultati ottenuti	67
12.4 Onde nel canale di calma.....	74
12.5 Onde in corrispondenza delle opere	74
13 STUDIO DEGLI EFFETTI DELLA NUOVA OPERA IN TERMINI DI MOTO ONDOSI NELL'AREA IN PROSSIMITA' DELLA BANCHINA ILVA	76
13.1 Configurazioni di riferimento: schematizzazioni	76
13.2 Simulazioni e risultati ottenuti	78
14 STUDIO DEGLI EFFETTI DELLA NUOVA OPERA IN TERMINI DI MOTO ONDOSI NELL'AREA DI ACCESSO AL BACINO DI MULTEDO	81
14.1 Configurazioni di riferimento: schematizzazioni	81
14.2 Simulazioni e risultati ottenuti	83
15 STUDIO DELLA TRACIMAZIONE DELL'ONDA DALLA DIGA FORANEA ESISTENTE NEL CANALE DI CALMA.....	88
15.1 Valutazione dell'onda trasmessa a tergo della diga foranea esistente	88
15.2 Valutazione della portata di tracimazione in relazione alla distanza dal muro di protezione	92
15.3 Conclusioni e raccomandazioni	95
16 ANALISI DELLA NAVIGABILITA' NEL NUOVO CANALE DI CALMA E DEI FENOMENI IDRAULICI GENERATI DAL PASSAGGIO DEI NATANTI.....	97
16.1 L'attività di navigazione esistente nel canale di calma	97

16.2	La sicurezza della navigazione all'interno del canale di calma.....	101
16.3	Verifica della larghezza del nuovo canale.....	102
16.4	I fenomeni idraulici generati dal passaggio dei natanti	125

INDICE DELLE FIGURE

Figura 3-1 -	Settore di traversia relativo al paraggio di interesse	14
Figura 4-1 -	Genova: escursioni di marea nel periodo Agosto '98-Novembre '00	16
Figura 4-2 -	Imperia: escursioni di marea nel periodo Agosto '98-Novembre '00	16
Figura 4-3 -	Esempio di scomposizione della registrazione di marea nelle componenti meteorologica ed astronomica (stazione di Genova, anno 2006)	18
Figura 5-1 -	Ubicazione dei punti di misura dei dati disponibili	22
Figura 5-2 -	Piattaforma-isola: distribuzione (%) della velocità di corrente per direzione di propagazione e rosa della corrente (-2 m dalla superficie)	24
Figura 5-3 -	Piattaforma-isola: distribuzione (%) della velocità di corrente per direzione di propagazione e rosa della corrente (-48 m dalla superficie)	25
Figura 5-4 -	Haven: distribuzione (%) della velocità di corrente per direzione di propagazione e rosa della corrente (-4 m dalla superficie)	28
Figura 5-5 -	Haven: distribuzione (%) della velocità di corrente per direzione di propagazione e rosa della corrente (-50 m dalla superficie)	29
Figura 6-1 -	Rosa dei venti - Stazione Rete Mareografica Nazionale (2001-2007)	32
Figura 7-1 -	Ubicazione dei punti di misura o ricostruzione del moto ondoso	35
Figura 7-2 -	Rosa del moto ondoso al largo ottenuta con i dati registrati dall'ondametro di La Spezia (1989-2003)	36
Figura 7-3 -	Rosa del moto ondoso al largo di Vado, ottenuta con i dati Ukmo 1987 - 2008	38
Figura 10-1 -	Batimetria di input per il modello Swan a grande scala (2500m x 2500m) e posizioni dell'ondametro di La Spezia e del Porto Petroli	51
Figura 10-2 -	Batimetria, schema di dettaglio per i modelli a scala locale a maglie equispaziate di 40 m e punti di calcolo dei valori estremi di altezza d'onda	51
Figura 10-3 -	Rosa del moto ondoso in corrispondenza della boa di porto petroli calcolata mediante l'applicazione del modello Swan a grande scala	52
Figura 10-4 -	Risultati simulazioni Tr 10 anni - onde estreme al largo provenienti da 120° N	53
Figura 10-5 -	Risultati simulazioni Tr 10 anni - onde estreme al largo provenienti da 150° N	53
Figura 10-6 -	Risultati simulazioni Tr 10 anni - onde estreme al largo provenienti da 180° N	54
Figura 10-7 -	Risultati simulazioni Tr 10 anni - onde estreme al largo provenienti da 210° N	54
Figura 11-1 -	Planimetria e sezione trasversale del nuovo deposito a mare	58
Figura 11-2 -	Sezione tipo della conterminazione	59
Figura 12-1 -	Layout 1: Stato di fatto	62
Figura 12-2 -	Layout 2: Configurazione di progetto	62

Figura 12-3 -	Configurazioni del coronamento delle dighe a parete verticale analoghe a quella della Diga di Voltri e coefficienti di riflessione al variare dell'altezza d'onda, ottenuti da modello fisico	64
Figura 12-4 -	Configurazione della sezione testata su modello fisico, analoga a quella della nuova conterminazione, e coefficienti di riflessione ottenuti dalle prove, al variare del periodo d'onda	66
Figura 12-5 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 1 (stato di fatto) - Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=3.9$ m - $T_p=9.8$ s - Dir 147° N	69
Figura 12-6 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 2 (configurazione di progetto) - Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=3.9$ m - $T_p=9.8$ s - Dir 147° N	69
Figura 12-7 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 1 (stato di fatto) - Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=4.7$ m - $T_p=10.1$ s - Dir 163°	70
Figura 12-8 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 2 (configurazione di progetto) - Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=4.7$ m - $T_p=10.1$ s - Dir 163° N	70
Figura 12-9 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 1 (stato di fatto) - Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=5.6$ m - $T_p=10.6$ s - Dir 183°	71
Figura 12-10 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 2 (configurazione di progetto) - Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=5.6$ m - $T_p=10.6$ s - Dir 183° N	71
Figura 12-11 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 1 (stato di fatto) - Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=6.7$ m - $T_p=11.7$ s - Dir 203°	72
Figura 12-12 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 2 (configurazione di progetto) - Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=6.7$ m - $T_p=11.7$ s - Dir 203°	72
Figura 13-1 -	Raffronto ingombro planimetrico Opera a Mare e bacino di manovra "Spintore" a servizio banchina ILVA	76
Figura 13-2 -	Configurazione di progetto nell'area in prossimità della banchina ILVA	77
Figura 13-3 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=2.3$ m - $T_p=7.9$ s - Dir 137° N	79
Figura 13-4 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - soluzione di progetto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=2.3$ m - $T_p=7.9$ s - Dir 137° N	79
Figura 13-5 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.2$ m - $T_p=8.3$ s - Dir 158° N	80
Figura 13-6 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - soluzione di progetto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.2$ m - $T_p=8.3$ s - Dir 158° N	80
Figura 14-1 -	Configurazione di progetto in prossimità dell'area di accesso al bacino di Maltedò	82

Figura 14-2 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=2.3$ m - $T_p=7.9$ s - Dir 137° N	84
Figura 14-3 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - soluzione di progetto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=2.3$ m - $T_p=7.9$ s - Dir 137° N	84
Figura 14-4 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.2$ m - $T_p=8.3$ s - Dir 158° N	85
Figura 14-5 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - soluzione di progetto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.2$ m - $T_p=8.3$ s - Dir 158° N	85
Figura 14-6 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.7$ m - $T_p=8.6$ s - Dir 182° N	86
Figura 14-7 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - soluzione di progetto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.7$ m - $T_p=8.6$ s - Dir 182° N	86
Figura 14-8 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=5.1$ m - $T_p=10.1$ s - Dir 204° N	87
Figura 14-9 -	Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - soluzione di progetto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=5.1$ m - $T_p=10.1$ s - Dir 204° N	87
Figura 15-1-	Valutazione del coefficiente di trasmissione in funzione delle caratteristiche geometriche del cassone e dell'altezza d'onda	89
Figura 15-2-	Valutazione della variazione del volume di tracimazione in funzione della distanza dal muro di protezione (landward distance x)	94
Figura 16-1 -	Canale con circolazione a senso unico	103
Figura 16-2 -	Canale a doppio senso di circolazione	103
Figura 16-3 -	Scenario 1a: larghezza del canale a 2 sensi per nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natante fino a 8 nodi	110
Figura 16-4 -	Scenario 1b: larghezza del canale a 2 sensi per nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natante fino a 12 nodi	111
Figura 16-5 -	Scenario 1c: larghezza del canale a 2 sensi per nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natante maggiore di 12 nodi	112
Figura 16-6 -	Scenario 2a: larghezza del canale a 2 sensi per rimorchiatore Inghilterra o Svezia in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natante fino a 8 nodi	113
Figura 16-7 -	Scenario 2b: larghezza del canale a 2 sensi per rimorchiatore Inghilterra o Svezia in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natante fino a 12 nodi	114
Figura 16-8 -	Scenario 2c: larghezza del canale a 2 sensi per rimorchiatore Inghilterra o Svezia in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natante maggiore di 12 nodi	115

Figura 16-9 -	Scenario 3a: larghezza del canale a 2 sensi per rimorchiatore Inghilterra o Svezia e nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natanti fino a 8 nodi	116
Figura 16-10 -	Scenario 3d: larghezza del canale a 2 sensi per rimorchiatore Inghilterra o Svezia e nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità nave bus fino a 12 nodi e rimorchiatore fino a 8 nodi	117
Figura 16-11 -	Scenario 3b: larghezza del canale a 2 sensi per rimorchiatore Inghilterra o Svezia e nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natanti fino a 12 nodi	118
Figura 16-12 -	Scenario 3c: larghezza del canale a 2 sensi per rimorchiatore Inghilterra o Svezia e nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natanti maggiore di 12 nodi	119
Figura 16-13 -	Scenario 4a: larghezza del canale a 1 senso per rimorchiatore Messico in condizioni meteomarine gravose – velocità natante fino a 8 nodi	120
Figura 16-14 -	Scenario 4b: larghezza del canale a 1 senso per rimorchiatore Messico in condizioni meteomarine gravose – velocità natante fino a 12 nodi	121
Figura 16-15 -	Scenario 4c: larghezza del canale a 1 senso per rimorchiatore Messico in condizioni meteomarine gravose – velocità natante maggiore di 12 nodi	122
Figura 16-16 -	Scenario 5a: larghezza del canale a 1 senso per nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natante maggiore di 12 nodi	123
Figura 16-17 -	Scenario 5b: larghezza del canale a 1 senso per nave bus Mare Express in condizioni meteomarine gravose – velocità natante maggiore di 12 nodi	124
Figura 16-18 -	Sistema ondoso generato dal transito di un imbarcazione	125
Figura 16-19 -	Diagramma di Schijf	128

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 4.1 -	Valori massimi annuali della marea meteorologica	17
Tabella 4.2 -	Risultati dell'analisi statistica dei livelli estremi	19
Tabella 5.1 -	Piattaforma-Isola: valori estremi di corrente a -2 m e a -48 m dalla superficie	26
Tabella 6.1 -	Distribuzione della frequenza percentuale del vento per direzione di provenienza - Stazione Rete Mareografica Nazionale (2001-2007)	32
Tabella 6.2 -	Valori della velocità del vento (m/s) in funzione del tempo di ritorno - dati della Stazione Rete Mareografica Nazionale	33
Tabella 7.1 -	Clima d'onda ottenuto con i dati registrati dall'ondametro di La Spezia (1989-2003)	37
Tabella 7.2 -	Clima d'onda ottenuto con i dati ukmo per il periodo 1987-2008	38

Tabella 8.1 -	Valori estremi delle onde al largo di La Spezia	40
Tabella 8.2 -	Statistica delle onde estreme al largo del paraggio di Genova, riferita al settore di traversia 105 – 135 ° N	42
Tabella 8.3 -	Statistica delle onde estreme al largo del paraggio di Genova, riferita al settore di traversia 135 – 165 ° N	42
Tabella 8.4 -	Statistica delle onde estreme al largo del paraggio di Genova, riferita al settore di traversia 165 – 195 ° N	43
Tabella 8.5 -	Statistica delle onde estreme al largo del paraggio di Genova, riferita al settore di traversia 195 – 225 ° N	43
Tabella 8.6 -	Statistica delle onde estreme al largo del paraggio di Genova - omnidirezionale	43
Tabella 8.7 -	Valori estremi delle onde al largo di Genova (punto Ukmo)	44
Tabella 9.1 -	Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo T_v	47
Tabella 9.2 -	Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera P_f	48
Tabella 10.1 -	Clima ondoso sottocosta in corrispondenza della boa di porto petroli calcolato mediante l'applicazione del modello Swan a grande scala	52
Tabella 10.2 -	Valori estremi direzionali delle onde in corrispondenza della diga foranea (profondità -15 m)	55
Tabella 12.1 -	Condizioni estreme di moto ondoso di input per il modello Diffrac	67
Tabella 12.2 -	Il moto ondoso nel nuovo canale di larghezza 75 m – tempo di ritorno 5 anni	74
Tabella 12.3 -	Il moto ondoso nel nuovo canale di larghezza 75 m – tempo di ritorno 20 anni	74
Tabella 12.4 -	Le onde di progetto in corrispondenza delle nuove opere	75
Tabella 13.1 -	Condizioni di moto ondoso di input per il modello Diffrac	78
Tabella 14.1 -	Condizioni di moto ondoso di input per il modello Diffrac – tempo di ritorno 5 anni	83
Tabella 14.2 -	Condizioni di moto ondoso di input per il modello Diffrac – tempo di ritorno 20 anni	83
Tabella 15.1-	Onda trasmessa per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 5 anni	90
Tabella 15.2-	Onda trasmessa per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 20 anni	90
Tabella 15.3-	Onda nel canale per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 5 anni	91
Tabella 15.4-	Onda nel canale per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 20 anni	91
Tabella 15.5 -	Portate medie di tracimazione per onde con tempo di ritorno 20 anni	93
Tabella 15.6 -	Rapporto tra il volume di tracimazione in corrispondenza del filo interno del cassone ($x=13.5$ m) e il volume totale al muro paraonde per onde con tempo di ritorno 20 anni	94

Tabella 15.7 - Rapporto tra il volume di tracimazione in corrispondenza di un limite posto a 5 m dal filo interno del cassone ($x=18.5$ m) e il volume totale al muro paraonde per onde con tempo di ritorno 20 anni	95
Tabella 16.1 - Caratteristiche delle navi che transitano nel canale: motonavi, catamarani	99
Tabella 16.2 - Caratteristiche delle navi che transitano nel canale: rimorchiatori	100
Tabella 16.3 - Larghezza minima di manovra	103
Tabella 16.4 - Incremento di larghezza per canali rettilinei determinato da fattori meteomarinari, ambientali e dalle condizioni di navigazione	104
Tabella 16.5 - Classificazione della pericolosità del carico (vedi punto i tabella precedente)	105
Tabella 16.6 - Incremento di larghezza per canali a doppio senso di circolazione	105
Tabella 16.7 - Incrementi di larghezza che tengono conto del "bank effect"	105
Tabella 16.8 - Larghezza del canale minima per i vari scenari considerati	109

1 SCOPO E CONTENUTI DELLA RELAZIONE

Scopo del presente studio è la determinazione delle condizioni meteomarine di riferimento per la progettazione delle opere di conterminazione del deposito a mare del materiale proveniente dallo smarino delle gallerie nell'ambito del progetto di potenziamento del nodo stradale e autostradale di Genova. Il deposito a mare verrà realizzato in un'area situata all'interno del canale di calma che separa la diga foranea dall'aeroporto Cristoforo Colombo di Genova, immediatamente a ridosso della pista aeroportuale.

Nello studio vengono presentate le analisi svolte per la valutazione delle condizioni meteomarine che saranno utilizzate sia per il dimensionamento delle nuove opere, sia per le verifiche di navigabilità del canale di calma che si determinerà a seguito degli interventi a mare. In queste analisi si è tenuto delle osservazioni poste dalle Autorità Competenti relativamente alla prima redazione del progetto definitivo.

Nel cap. 2 del presente studio viene presentato un elenco di studi e pubblicazioni consultati per lo sviluppo delle analisi.

Di seguito vengono presentate le analisi svolte ed in particolare i risultati ottenuti inerenti:

- le caratteristiche del paraggio di interesse (cap. 0);
- i livelli del mare (cap. 4);
- le correnti litoranee (cap. 5);
- le condizioni anemometriche frequenti ed estreme (cap. 6);
- il moto ondoso al largo in termini di clima e di condizioni estreme (cap. 7 e 8);
- il periodo di ritorno delle onde da considerare per la progettazione delle opere (cap. 9);
- il moto ondoso sottocosta in corrispondenza della diga foranea esistente (cap. 10);
- al cap. 11 è riportata una descrizione sommaria delle opere a mare per facilitare la lettura dei capitoli successivi;
- il moto ondoso in corrispondenza dell'opera di progetto per effetto della propagazione attraverso le imboccature alle estremità della diga foranea; a riguardo è stata valutata la distribuzione delle onde lungo lo sviluppo dell'opera di conterminazione mediante l'utilizzo

di un modello matematico in grado di riprodurre la diffrazione e la riflessione dell'onda (cap. 11);

- lo studio di dettaglio del moto ondoso all'interno del canale di calma in prossimità della banchina ILVA (cap. 13);
- lo studio degli effetti della nuova opera in termini di moto ondoso nell'area in prossimità della banchina ILVA (cap. 13);
- lo studio degli effetti della nuova opera in termini di moto ondoso nell'area di accesso al bacino di Multedo (cap. 14);
- lo studio della tracimazione dell'onda dalla diga esistente e gli effetti ai fini della navigazione nel canale di calma (cap. 15);
- l'esame delle condizioni di navigabilità nel nuovo canale di calma e i fenomeni idraulici generati dal passaggio dei natanti (cap. 16).

Si precisa infine che per quanto riguarda lo studio delle correnti indotte dalle condizioni di vento e marea viene fatta nella presente relazione una descrizione delle correnti su ampia scala basata su quanto disponibile da studi passati, mentre nel documento specifico ' Relazione idrodinamica e dispersiva' tale aspetto viene trattato in dettaglio con riferimento alle correnti locali nella zona dell'intervento, sulla base di ulteriori elaborazioni condotte da Technital con un modello matematico.

2 PUBBLICAZIONI, STUDI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Le varie analisi svolte hanno considerato anche il contributo di studi specialistici redatti in passato per il paraggio in esame.

Tra le varie pubblicazioni e studi consultati si citano i principali:

- ‘Studio meteomarinario’ svolto da Technital nell’ambito del progetto di un porto turistico tra Noli e Spotorno, per conto di Spotornoli S.r.l. nel 1993;
- ‘Il vento e lo stato del mare lungo le coste italiane e dell’Adriatico’ (1984) a cura dell’Istituto Idrografico della Marina;
- ‘Sulla previsione delle caratteristiche delle perturbazioni ondose e sulle azioni esercitate sull’antemurale’ nell’ambito dello studio meteomarinario svolto per il dimensionamento della diga a parete verticale di Genova Voltri;
- ‘Studio di fattibilità’ elaborato dalla società D’Appolonia nel 2008 per la valutazione delle ipotesi di riutilizzo del materiale di smarino prodotto dallo scavo delle gallerie previste dal progetto della Gronda Autostradale di Ponente per la formazione di una colmata sottomarina che costituisse l’imbasamento della Nuova Isola Areoportuale di Genova, al largo dell’attuale aeroporto;
- Studio meteo marino a supporto della progettazione esecutiva del ripristino della mantellata esterna alla diga foranea e al molo Duca di Galliera redatto dal Danish Hydraulic Institute;
- Studio meteomarinario svolto da Technital per la progettazione della piattaforma multifunzionale del porto di Vado Ligure (2009);
- C.S.LL.PP., CNR-GNDCI (1996). “Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime”. Pubbl. GNDCI n.1450;
- D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008. “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”;
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP. “Istruzioni per l’applicazione delle ‘Norme tecniche per le costruzioni’ di cui al D.M. 14 gennaio 2008”;
- EA (UK), ENW (NL), KFKI (DE) (2007). “EurOtop - Wave Overtopping of sea defences and related structures: assessment manual”;

- US Army Corps of Engineers (2006). “Coastal Engineering Manual”. Engineer Manual 1110-2-1100, Part VI – Chapter 5: Fundamentals of Design;
- Van der Meer, J.W. (1998). “Geometrical design of coastal structures”. Infram publication Nr. 2.
- G. Cuomo, W. Allsop et al. (2011). ‘Coastal structures 2011’ a Yokohama : ‘Wave loading, overtopping and transmission of low crest caisson breakwaters’.
- Tim Pullen, W. Allsop (2008). ‘Field and laboratory measurements of mean overtopping discharges and spatial distributions at vertical seawalls’.
- Zhong Peng, Qing-Ping (2011). ‘Spatial distribution of wave overtopping water behind coastal structures’.
- Danish Hydraulic Institute (1987). ‘Taranto naval base Hydraulic model tests reflection from quay structures ‘.

3 ESPOSIZIONE DEL PARAGGIO D'INTERESSE

Il tratto di litorale lungo il quale si sviluppa Genova presenta una normale a riva orientata di circa 190° N ed è caratterizzato da un settore di traversia che presenta un angolo di apertura di circa 115° , essendo delimitato dalle direttrici 115° N (Isola di Palmaria) e 230° N (Imperia).

In Figura 3-1 è evidenziato il settore di traversia relativo al paraggio di interesse.

Dall'osservazione della morfologia delle coste limitrofe e dall'analisi del fetch è possibile individuare un settore di traversia principale compreso tra le direttrici 190° N e 230° N.



Figura 3-1 - Settore di traversia relativo al paraggio di interesse

4 I LIVELLI DEL MARE

Nel Golfo di Genova l'ampiezza di marea è modesta, come dimostrano i dati mareografici delle stazioni di Genova ed Imperia forniti dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale dei Servizi Tecnici Nazionali ora confluiti nell'APAT (Agenzia per l'Ambiente ed il Territorio) per il periodo 1998-2008. A titolo di esempio si riportano in Figura 4-1 e Figura 4-2 i livelli misurati ad Imperia e Genova nel periodo Agosto 98 - Novembre 2000.

I valori massimi di marea registrati nel periodo sono pari a +0.5 m per il sito di Genova e a +0.43 m per quello di Imperia. I valori minimi sono, rispettivamente, di -0.33 m e -0.36 m.

Le variazioni del livello marino definiscono un segnale complesso, che può considerarsi il risultato delle interazioni tra due componenti fondamentali: la marea astronomica, di natura periodica e causata dalle forze di attrazione combinate della luna e del sole, e la cosiddetta componente meteorologica, aleatoria e dovuta agli effetti indotti sulla superficie marina dalle variazioni delle condizioni atmosferiche. Con riferimento ai porti marittimi, i fenomeni meteorologici in grado di influenzare il livello del mare sono essenzialmente le variazioni di pressione atmosferica ed il vento, i cui effetti, in generale, non possono essere identificati separatamente.

Per poter eseguire un'analisi statistica della componente meteorologica del segnale di marea, e fare quindi previsioni di livello legate al tempo di ritorno, le registrazioni di marea sono state elaborate al fine di separare le due componenti astronomica e meteorologica. L'elaborazione è stata effettuata sulla serie storica delle registrazioni disponibili per il mareografo di Genova, relative al periodo 1998 – 2008. I dati hanno formato orario e sono riferiti allo 0 IGM.

La marea meteorologica, $\eta_m(t)$, può essere determinata eliminando dal segnale registrato, $\eta(t)$, le oscillazioni dovute alle componenti di frequenza tipiche della banda diurna della marea astronomica, $\eta_a(t)$. Gli effetti meteorologici, infatti, influenzano largamente le componenti armoniche sub-mareali dello spettro di frequenza del livello marino comprese nella banda limitata dalle componenti mareali diurna e mensile.

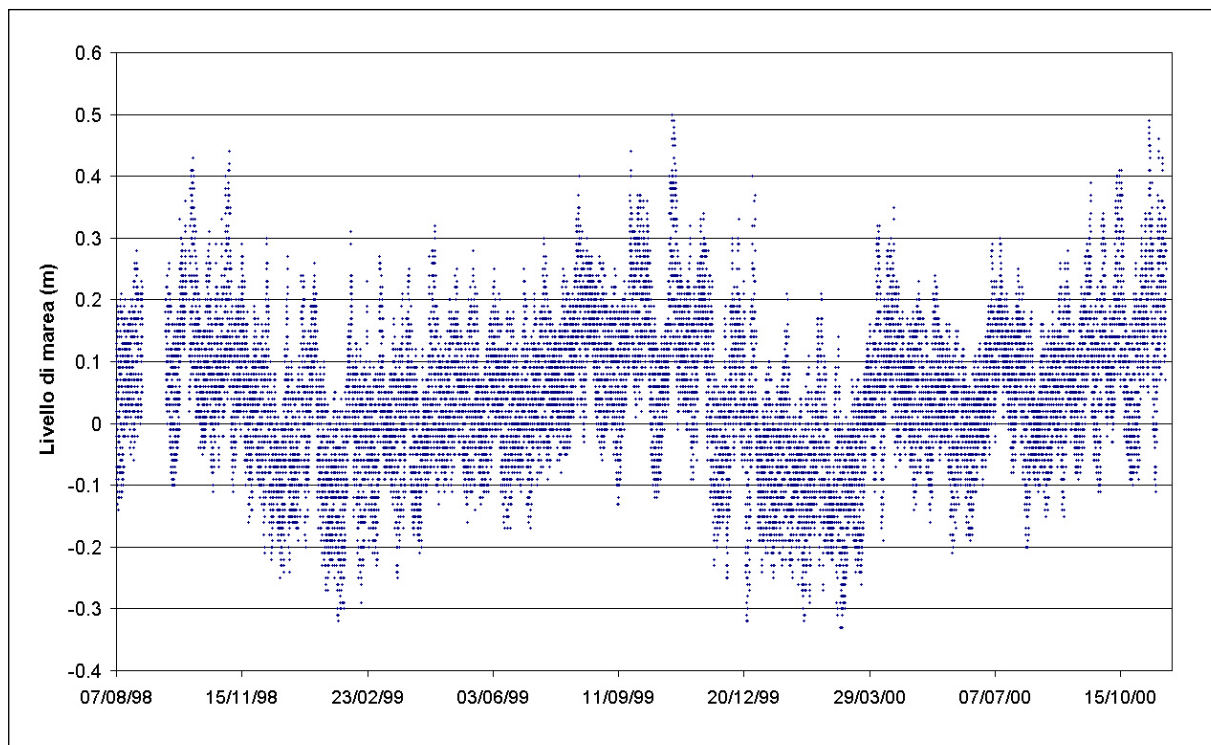


Figura 4-1 - Genova: escursioni di marea nel periodo Agosto '98-Novembre '00

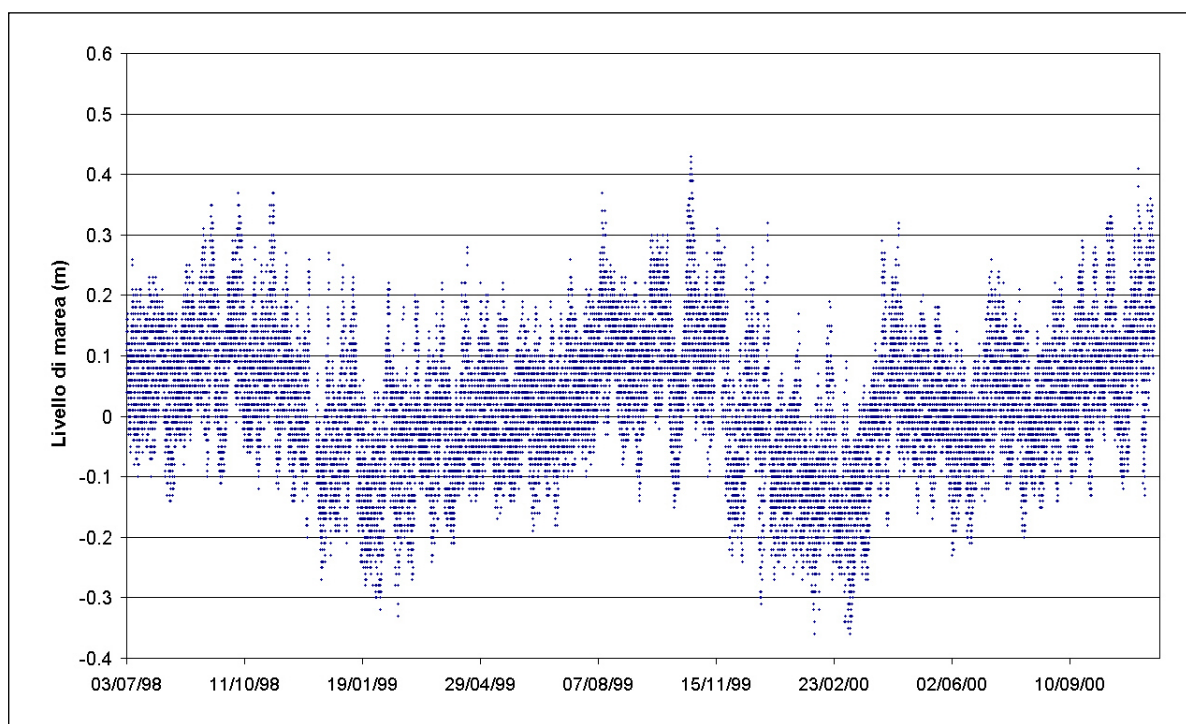


Figura 4-2 - Imperia: escursioni di marea nel periodo Agosto '98-Novembre '00

Pertanto la componente meteorologica $\eta_m(t)$ è stata determinata applicando al mareogramma rilevato $\eta(t)$ un opportuno filtro orario passa-basso, in grado di trattenere le componenti semidiurna e diurna della marea lasciando passare i contributi associabili a frequenze più basse. La marea astronomica è costituita dalla differenza tra il mareogramma registrato e quello residuo ottenuto applicando il filtro passa-basso, ovvero il mareogramma meteorologico. Nella Figura 4-3 si riporta a titolo di esempio il risultato dell'elaborazione per l'anno 2006.

Nella Tabella 4.1 sono riportati, per i diversi anni di registrazione considerati, i valori massimi della componente meteorologica della marea.

Tabella 4.1 - Valori massimi annuali della marea meteorologica

Anno	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
$\eta_{m,max}$ (m)	0.27	0.33	0.40	0.30	0.46	0.44	0.37	0.29	0.33	0.32	0.28

L'analisi statistica di tali valori estremi è stata effettuata adattando la distribuzione di probabilità di Gumbel e la distribuzione Tipo III di Pearson. I risultati dell'elaborazione sono riportati nella Tabella 4.2, con riferimento a valori del tempo di ritorno pari a 1, 5, 10, 20, 50 e 100 anni.

Per determinare il livello estremo complessivo, occorre sommare al valore massimo stimato del contributo meteorologico un valore rappresentativo delle più elevate altezze di marea astronomica. A tale proposito sono stati individuati, per l'intero periodo 1998-2008 e relativamente a ciascun giorno mareale, i valori delle più elevate alte maree astronomiche. Facendo la media di tali dati si è stimata la marea astronomica di riferimento per il calcolo dei livelli estremi complessivi, che è risultata pari a +0.12 m. I valori estremi complessivi del livello marino sono indicati anch'essi in Tabella 4.2.

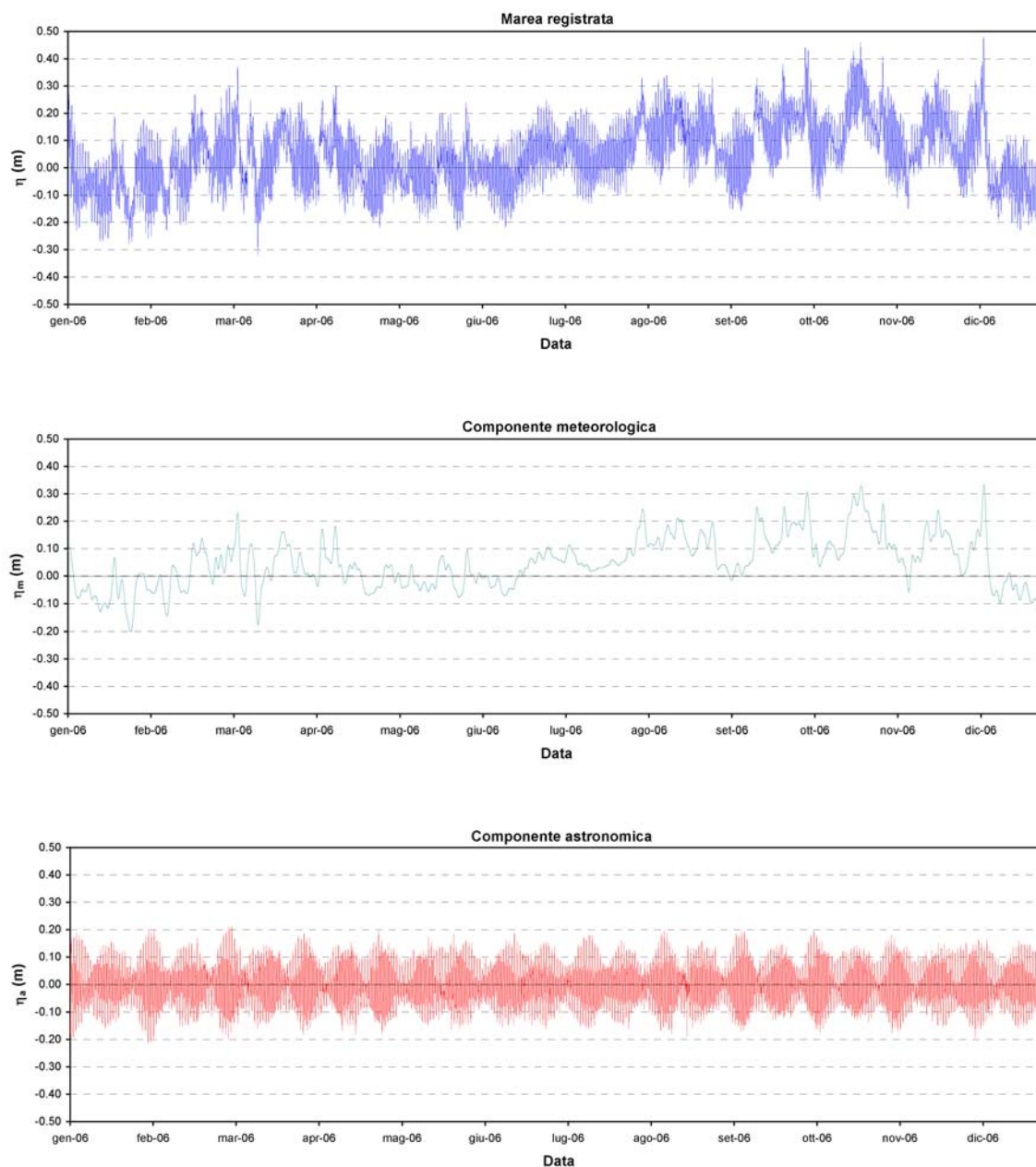


Figura 4-3 - Esempio di scomposizione della registrazione di marea nelle componenti meteorologica ed astronomica (stazione di Genova, anno 2006)

Tabella 4.2 - Risultati dell'analisi statistica dei livelli estremi

T_r (anni)	M. Meteorologica (m)		M. Astronomica (m)	Livello marino (m)
	Pearson (tipo III)	Gumbel		
1	0.26	0.26	0.12	0.38 / 0.38
5	0.40	0.41	0.12	0.52 / 0.53
10	0.43	0.46	0.12	0.55 / 0.58
20	0.46	0.50	0.12	0.58 / 0.62
50	0.50	0.56	0.12	0.62 / 0.68
100	0.53	0.61	0.12	0.65 / 0.73
200	0.58	0.67	0.12	0.70 / 0.79

5 LE CORRENTI LITORANEE

La descrizione delle caratteristiche generali della circolazione lungo la costa ligure e le elaborazioni condotte sulle misure correntometriche a disposizione che vengono di seguito brevemente riportate, sono tratte dallo “Studio Meteomarino” elaborato dalla società D’Appolonia nel 2008 nell’ambito dello “Studio di fattibilità” citato in precedenza; ad esso si rimanda per l’analisi completa della dinamica litoranea dell’area di studio.

Per gli approfondimenti su questo aspetto inerenti le correnti localizzate alla zona d’intervento, si rimanda anche al documento specifico redatto da Technital nell’ambito del presente progetto ‘Relazione idrodinamica e dispersiva’.

Caratteristiche delle masse d’acqua

L’analisi dei dati storici relativi al Mar Ligure e al Mar Tirreno evidenzia che:

- i due bacini differiscono sostanzialmente per le loro proprietà termiche: ne consegue che la densità ha un andamento analogo a quella della temperatura;
- l’acqua del Mar Ligure si mantiene generalmente a temperature medie sensibilmente inferiori a quelle del Tirreno: il gradiente termico tra i due bacini si presenta massimo nella stagione invernale. In tale stagione, considerando che la salinità si mantiene su valori abbastanza simili nei due bacini, risulta massimo anche il gradiente di densità.

La contemporanea presenza di due masse d’acqua che presentano proprietà molto diverse tra di loro fa sì che al largo delle coste liguri si verifichino intensi processi di mescolamento oltre a notevoli cambiamenti nel campo di massa nel corso delle stagioni.

Un ruolo importante gioca anche la batimetria: la piattaforma continentale, molto ridotta lungo quasi tutto l’arco ligure, si allarga nei pressi di La Spezia fino a formare una pianura costiera che, all’altezza di Capraia, è ampia più di 60 km. Lungo il bordo di questa pianura, canyons trasversali la collegano ad una terrazza intermedia (Terrazza di La Spezia) che presenta profondità dell’ordine dei 500 m.

Nella parte più meridionale la Terrazza di La Spezia si solleva leggermente fino a formare la soglia Corso-Toscana, ad una profondità di poco superiore ai 400 m. E’ attraverso questa soglia che si verifica il collegamento con l’elemento fisiografico più settentrionale del bacino tirrenico, la Fossa Toscana, che costituisce il prolungamento della Terrazza di La Spezia tra la piattaforma continentale corsa e quella toscana.

Caratteristiche generali della circolazione

L'andamento generale del flusso lungo la costa ligure si presenta antiorario, con correnti che tendono a fluire mediamente, sia in superficie che sul fondo, verso il Golfo del Leone (Saliot, 2007).

In superficie scorre l'acqua di provenienza atlantica, la cosiddetta MAW (Modified Atlantic Water), che dopo aver modificato parzialmente le sue caratteristiche nell'attraversamento del Mare di Alboran, si propaga lungo la costa algerina e attraversa il canale di Sardegna, dividendosi poi in due rami: uno si propaga verso il Canale di Sicilia, l'altro risale la penisola in senso antiorario fino alla costa savonese, da dove fluisce verso SW.

L'acqua levantina LIW (Levantine Intermediate Water) si forma nel Mediterraneo Orientale, fluisce negli strati intermedi (alle profondità di 300-600 m) del Canale di Sicilia e risale la penisola fino all'altezza della Corsica, dove si divide in due rami, uno dei quali raggiunge la costa savonese e fluisce verso SW.

La circolazione più profonda è caratterizzata dalla presenza dell'acqua profonda del Mediterraneo Occidentale (WMDW, Western Mediterranean Deep Water) che si forma nel Golfo del Leone quando le condizioni invernali causano il mescolamento e l'affondamento delle acque MAW e LIW; la nuova massa d'acqua fluisce sotto i 600 m di profondità con traiettoria antioraria.

Gli aspetti principali messi in evidenza dalla letteratura specialistica sono i seguenti:

- il campo di corrente presenta valori sufficientemente elevati anche on profondità, soprattutto nelle stagioni fredde ed una rilevante variabilità spaziale;
- la batimetria svolge un ruolo determinante nella circolazione;
- le condizioni metereologiche influenzano notevolmente il regime dinamico, sia per l'effetto diretto dello "stress" del vento sulla superficie, sia per l'azione indiretta che il vento esercita sui flussi di calore e conseguentemente sulla densità superficiale dei bacini. Inoltre i gradienti barici, che si verificano soprattutto durante il passaggio delle perturbazioni, inducono oscillazioni di livello che vanno ad incidere sul campo di corrente.

Dati correntometrici disponibili ed analisi eseguite

I dati correntometrici disponibili, analizzati nello "Studio Meteomarino" elaborato dalla società D'Appolonia, sono i seguenti:

- dati di corrente misurati mediante un profilatore ad effetto Doppler installato a -55 m di profondità, in corrispondenza della Piattaforma Isola. Si tratta di 41 milioni di records, con campionamento di 2 s, per un totale di 4 anni di misure relative alle quote di -2, -12, -24, -36, -48 m dalla superficie;
- dati rilevati da ARPAL su un fondale di -52 m al largo di Arenzano, nei pressi del punto di naufragio della Haven, da 10/9/2003 al 31/8/2004 mediante un profilatore ad effetto Doppler, riferiti alle quote -4, -14, -32, -42, -50 m dalla superficie. Le serie temporali dello strato più profondo, da -32 a -50 m, si interrompono alla data del 5 Febbraio 2004; mancano dunque i dati primaverili ed estivi.

L'ubicazione dei punti di misura dei dati disponibili è riportata in Figura 5-1.

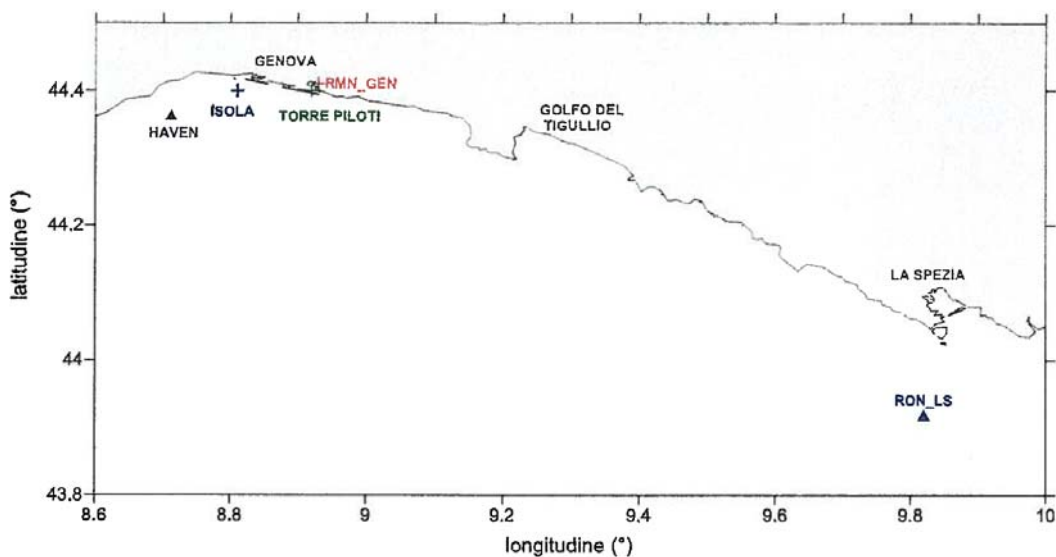


Figura 5-1 - Ubicazione dei punti di misura dei dati disponibili

Dati alla Piattaforma-Isola

Le 5 serie temporali rilevate dal profilatore Doppler installato nei pressi della Piattaforma-Isola, pur affette da numerosi dati mancanti (65% del totale) forniscono comunque preziose informazioni sulle caratteristiche della corrente locale.

I dati sono stati analizzati al fine di valutare le caratteristiche tipiche del campo di corrente locale, di valutare il contributo dei diversi termini forzanti meteo-marini alla circolazione e di evidenziare le periodicità tipiche della corrente.

L'*analisi statistica* ha consentito di evidenziare le caratteristiche di intensità e direzionalità dei dati misurati; nelle Figura 5-2 e Figura 5-3 sono riportate le distribuzioni della velocità della corrente in funzione della direzione della propagazione e le distribuzioni direzionali in forma grafica alle quote -2 m e -48 m dalla superficie.

Dalle tabelle e dai grafici riportati si evince che la corrente è prevalentemente diretta verso SW-W (210°-270° N) nel 47% circa dei casi e verso NE-E (30°-90° N) nel 36% dei casi. Si può dedurre che la propagazione della corrente avviene prevalentemente lungo le batimetriche e risente del canale d'ingresso alla baia dell'aeroporto di Genova.

Per quanto riguarda l'intensità, nello strato superficiale circa il 67% degli eventi è caratterizzato da velocità inferiori o uguali a 10 cm/s, circa il 95% inferiori o uguali a 20 cm/s. Velocità superiori a 30 cm/s sono presenti in circa l'1% dei casi, mentre il valore massimo misurato è di 60 cm/s.

Nello strato di fondo circa il 70% degli eventi è caratterizzato da velocità inferiori o uguali a 10 cm/s, circa il 97% inferiori o uguali a 20 cm/s. Il valore massimo misurato è di 45 cm/s.

DIR (°N)	V (cm/s)														
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	TOT
0	2.07	0.91	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.07
30	3.11	3.84	1.46	0.42	0.12	0.03	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.02
60	2.89	7.35	5.73	2.34	0.83	0.43	0.15	0.09	0.02	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	19.89
90	2.96	2.68	0.82	0.26	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.78
120	2.11	0.52	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.68
150	1.48	0.26	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.77
180	2.05	0.78	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.92
210	3.36	3.43	1.24	0.36	0.23	0.06	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	8.74
240	3.46	8.68	7.33	4.34	1.85	0.68	0.38	0.23	0.11	0.04	0.03	0.02	0.02	0.00	27.17
270	3.62	4.57	2.24	0.66	0.20	0.10	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.43
300	3.13	1.09	0.09	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.34
330	1.59	0.59	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.19
TOT	31.83	34.70	19.14	8.43	3.27	1.34	0.60	0.34	0.17	0.07	0.03	0.04	0.03	0.01	100.00

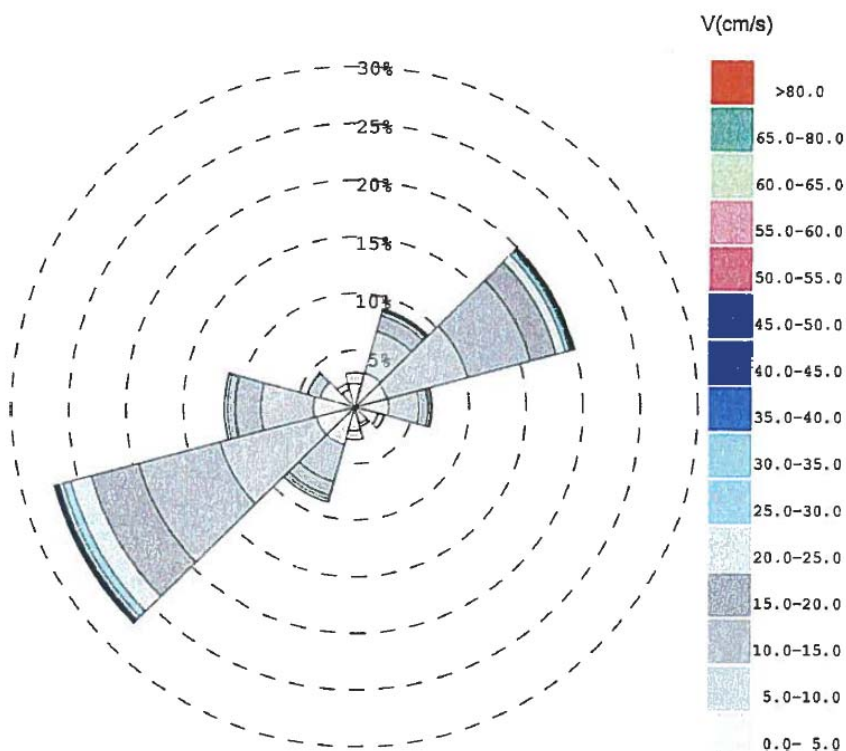


Figura 5-2 - Piattaforma-isola: distribuzione (%) della velocità di corrente per direzione di propagazione e rosa della corrente (-2 m dalla superficie)

DIR (°N)	V (cm/s)														
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	TOT
0	2.32	0.85	0.15	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.35
30	4.25	4.94	1.93	0.48	0.06	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.71
60	3.81	7.50	4.68	1.08	0.31	0.13	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.55
90	3.71	2.36	0.44	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.59
120	3.02	0.51	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.58
150	1.37	0.26	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.65
180	2.69	0.91	0.16	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80
210	3.91	4.01	2.49	1.14	0.27	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.83
240	4.12	8.96	6.73	2.73	0.93	0.20	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.72
270	4.03	5.02	1.65	0.35	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.15
300	2.53	0.74	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.32
330	1.45	0.28	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75
TOT	37.21	36.34	18.37	5.90	1.69	0.37	0.07	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

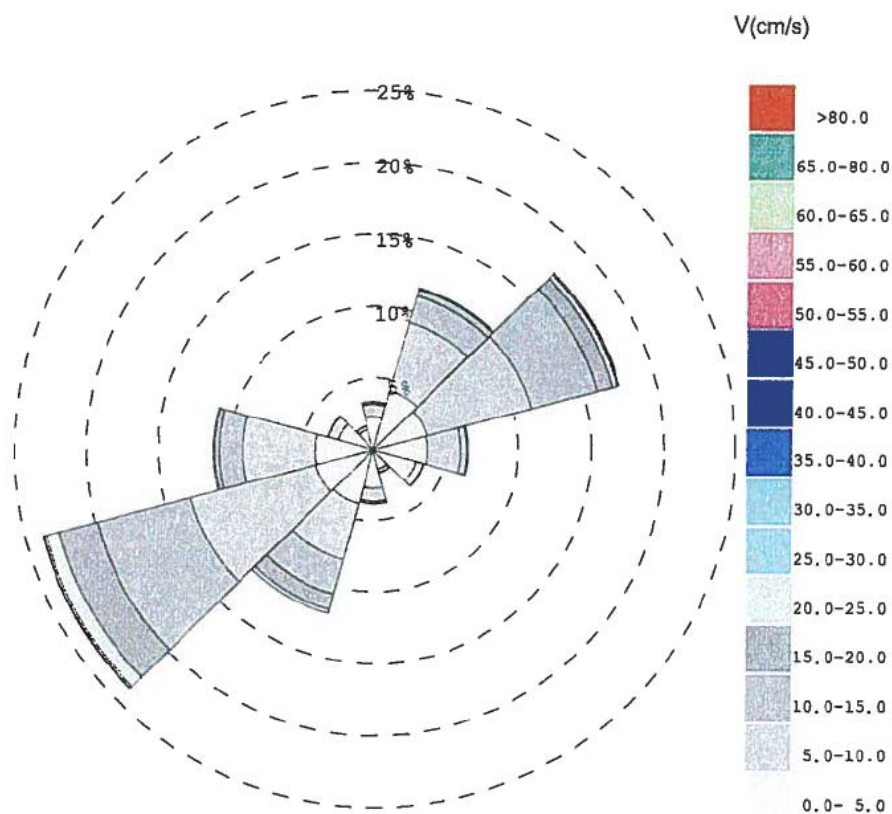


Figura 5-3 - Piattaforma-isola: distribuzione (%) della velocità di corrente per direzione di propagazione e rosa della corrente (-48 m dalla superficie)

L'analisi spettrale ha consentito invece di individuare la presenza di eventuali fenomeni ripetuti nel tempo e le loro frequenze caratteristiche.

L'analisi ha evidenziato picchi alle seguenti frequenze:

- 12.4 ore, corrispondente alla marea semidiurna;
- 24 ore, corrispondente alla marea diurna;
- 17.1 ore, corrispondente alla componente inerziale.

I dati di corrente rilevati alla Piattaforma-Isola sono stati infine elaborati al fine di estrapolare i valori estremi della corrente, direzionali e omnidirezionali, per le varie quote di misura.

I risultati alle quote -2 m e -48 m dalla superficie sono riportati in Tabella 5.1.

Tabella 5.1 - Piattaforma-Isola: valori estremi di corrente a -2 m e a -48 m dalla superficie

DIR (°N)	PERIODO DI RITORNO IN ANNI		
	1	10	50
	V (cm/s)	V (cm/s)	V (cm/s)
0	20	28	34
30	36	46	53
60	56	68	76
90	28	35	39
120	17	25	31
150	14	21	25
180	18	25	29
210	41	54	62
240	57	68	75
270	37	46	52
300	23	34	42
330	13	17	20
OMNI	60	72	80

DIR (°N)	PERIODO DI RITORNO IN ANNI		
	1	10	50
	V (cm/s)	V (cm/s)	V (cm/s)
0	20	27	32
30	34	39	48
60	37	44	48
90	22	28	32
120	14	19	23
150	13	20	24
180	19	25	30
210	28	34	37
240	35	39	44
270	27	32	36
300	14	18	21
330	12	16	19
OMNI	38	44	48

Dati in corrispondenza del relitto della Haven

Le 5 serie temporali rilevate dal profilatore Doppler installato nei pressi del relitto Haven presentano una notevole variabilità associata a fenomeni aventi scala locale; probabilmente la presenza dello scafo crea piccole modifiche al campo di corrente locale. Parte di questa variabilità è comunque associabile a “rumore” connesso con la tipologia di misura; il rumore è tuttavia contenuto in termini più che accettabili e non inficia la bontà della misura.

L'*analisi statistica* ha consentito di evidenziare le caratteristiche di intensità e direzionalità dei dati misurati; nelle Figura 5-4 e Figura 5-5 sono riportate le distribuzioni della velocità della corrente in funzione della direzione della propagazione e le distribuzioni direzionali in forma grafica alle quote -4 m e -50 m dalla superficie.

Dalle tabelle e dai grafici riportati si evince che la corrente è diretta verso SW-W (210°-270° N) nella prevalenza dei casi (53-54% nello strato più superficiale, 45-46% nello strato sottostante). Rilevante è anche la frequenza degli eventi che presentano direzione NE-E (20°-90° N), pari al 22-25% nello strato superficiale e al 30-32% nello strato di fondo.

Anche in questo caso si evidenzia che la propagazione della corrente avviene prevalentemente lungo le isobate.

Per quanto riguarda l'intensità, nello strato superficiale circa il 42% degli eventi è caratterizzato da velocità inferiori o uguali a 10 cm/s, circa il 76% inferiori o uguali a 20 cm/s. Velocità superiori a 40 cm/s sono presenti in circa il 2% dei casi, mentre il valore massimo misurato è di 65 cm/s.

Nello strato di fondo circa il 70% degli eventi è caratterizzato da velocità inferiori o uguali a 10 cm/s, circa il 93% inferiori o uguali a 20 cm/s. Il valore massimo misurato è di 40 cm/s.

DIR (°N)	V (cm/s)													
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	TOT
0	1.87	1.60	1.12	0.48	0.29	0.06	0.06	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	5.51
30	2.92	2.73	2.18	1.52	1.05	0.64	0.43	0.12	0.08	0.06	0.05	0.03	0.00	11.81
60	1.06	1.25	0.87	0.90	0.57	0.30	0.15	0.05	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	5.21
90	1.08	0.99	0.65	1.08	0.68	0.37	0.06	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	4.99
120	0.89	0.56	0.50	0.24	0.23	0.08	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	2.57
150	1.02	0.99	0.60	0.08	0.07	0.05	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	2.87
180	1.18	1.27	0.89	0.25	0.30	0.06	0.12	0.11	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	4.24
210	1.90	2.16	2.27	1.67	1.07	0.76	0.39	0.32	0.15	0.07	0.05	0.05	0.02	10.88
240	3.98	3.10	5.01	5.02	3.71	2.45	1.55	0.94	0.50	0.29	0.06	0.04	0.02	26.67
270	2.71	2.66	3.04	2.45	2.00	1.17	0.67	0.36	0.10	0.06	0.01	0.00	0.00	15.23
300	1.75	1.94	1.18	0.62	0.46	0.18	0.05	0.06	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	6.26
330	1.24	1.44	0.73	0.20	0.07	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	3.72
TOT	21.61	20.67	19.04	14.53	10.50	6.14	3.56	2.04	0.96	0.57	0.17	0.14	0.07	100.00

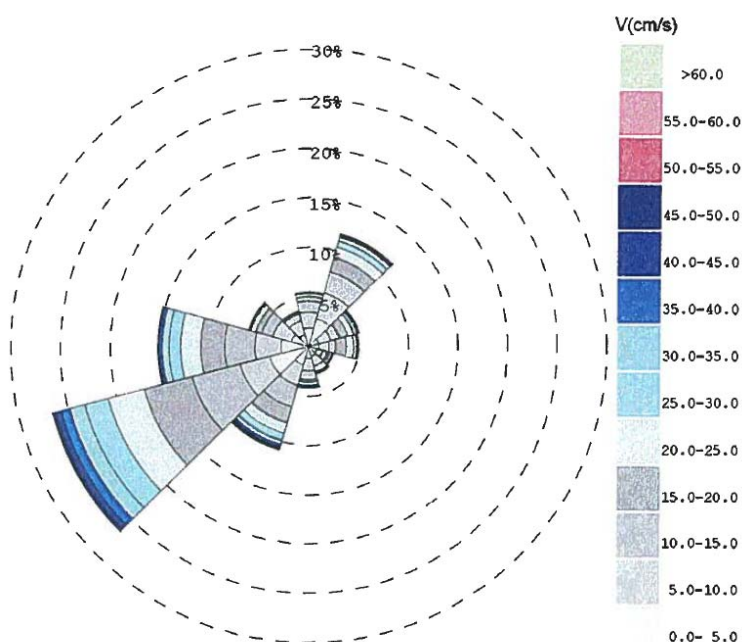


Figura 5-4 - Haven: distribuzione (%) della velocità di corrente per direzione di propagazione e rosa della corrente (-4 m dalla superficie)

DIR (°N)	V (cm/s)												
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
0	4.84	1.67	0.39	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	7.38	3.64	1.79	1.05	0.45	0.18	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	4.72	2.81	0.99	0.75	0.21	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	3.29	2.15	0.51	0.27	0.15	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	2.99	0.66	0.21	0.18	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150	1.64	0.72	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
180	1.73	0.99	0.21	0.15	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
210	2.75	1.91	1.19	0.39	0.24	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
240	4.72	5.88	5.70	3.82	2.99	1.19	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
270	3.49	5.29	3.46	1.73	0.45	0.04	0.03	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
300	2.39	1.25	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
330	2.39	0.54	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	42.32	27.51	15.05	8.45	4.63	1.68	0.30	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

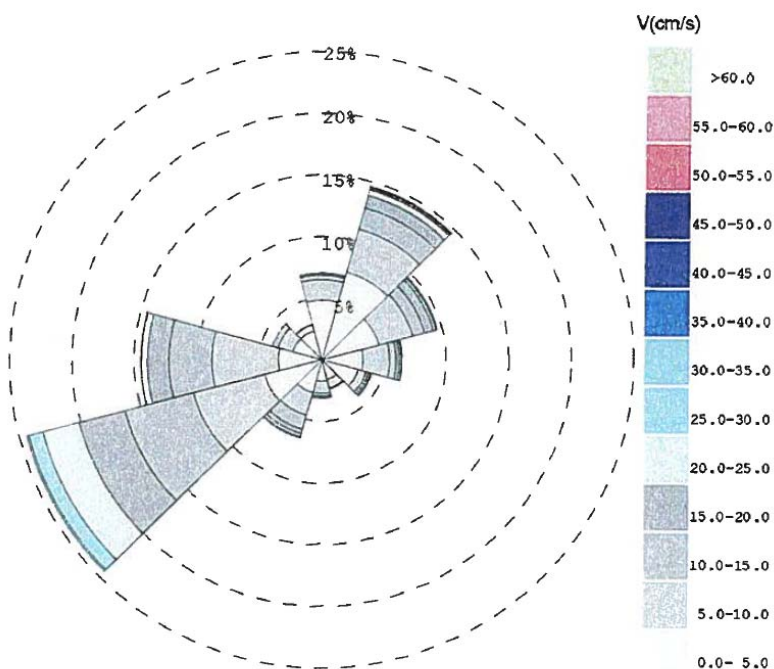


Figura 5-5 - Haven: distribuzione (%) della velocità di corrente per direzione di propagazione e rosa della corrente (-50 m dalla superficie)

Conclusioni

Dalle analisi presentate risulta che le correnti presenti nell'area esaminata sono caratterizzate da una notevole variabilità, in intensità e direzione, lungo tutta la colonna d'acqua, sia nello strato superficiale che in quello di fondo.

La corrente superficiale risulta sempre superiore alla corrente rilevata nei vari strati ed ha una direzione prevalente molto simile su tutta la colonna d'acqua: il sistema è cioè prevalentemente baro tropico.

La carenza di dati correntometrici non permette di valutare se nel corso dell'estate il sistema sia a volte baroclinico, cioè presenti un doppio strato con caratteristiche di flusso opposte.

I valori massimi della componente Ovest-Est sono di circa 60 cm/s a -4 m dalla superficie e di 35 cm/s a 2 m dal fondo, quelli della componente Sud-Nord sono rispettivamente 67 cm/s e 30 cm/s.

I valori medi sono dell'ordine dei 2 cm/s alla Piattaforma-Isola mentre nei pressi del relitto Haven sono di 6 cm/s a -4 m dalla superficie e di 3 cm/s in prossimità del fondo, entrambi con direzione verso Ovest, cioè uscente dal Mar Ligure.

Tali valori sono in accordo con il noto flusso uscente di acqua Atlantica e Levantina di cui si è parlato in precedenza.

Per ulteriori informazioni e per la distribuzione di dettaglio delle correnti nell'area d'intervento si rimanda alla specifica relazione che contiene lo studio idrodinamico.

6 LE CONDIZIONI ANEMOMETRICHE

I dati anemologici considerati nel presente studio e le relative elaborazioni sono stati desunti dallo “Studio Meteomarino” elaborato dalla società D’Appolonia nell’ambito dello “Studio di fattibilità” richiamato al cap. 2 del presente studio.

I dati relativi alla velocità del vento, registrati dalla Stazione della Rete Mareografica Nazionale ubicata nei pressi dell’Acquario nel Porto Antico di Genova, alle coordinate 44°24’31” N, 8°55’33” E, si riferiscono al periodo che va dal 1 Gennaio 2001 al 31 Dicembre 2007; la quota di misurazione dei dati è 10 m sul l.m.m.

Il vento rilevato da questa stazione presenta il 98% di dati validi.

Si ritiene che questa stazione sia in grado di fornire dati rappresentativi delle condizioni locali.

I dati a disposizione sono stati elaborati nell’ambito del predetto studio al fine di ottenere le condizioni di vento nel paraggio d’interesse, con riferimento sia alle condizioni frequenti che a quelle estreme (vedi paragrafo seguente).

6.1 Il clima di vento

In Figura 6-1 è riportata la rosa dei venti dedotta dalla serie anemometrica a disposizione e nella Tabella 6.1 le percentuali di occorrenza per classi di velocità e direzioni del vento.

Le direzioni dominanti risultano essere quelle da N-NE, che rappresentano il 31% circa degli eventi e alle quali sono associati i venti più intensi e la direzione da S-SE con il 14% circa degli eventi.

Per quanto riguarda l’intensità, il 97% circa degli eventi è caratterizzato da velocità inferiori o uguali a 8 m/s mentre ai venti superiori a 16 m/s è associata la percentuale di 0.07.

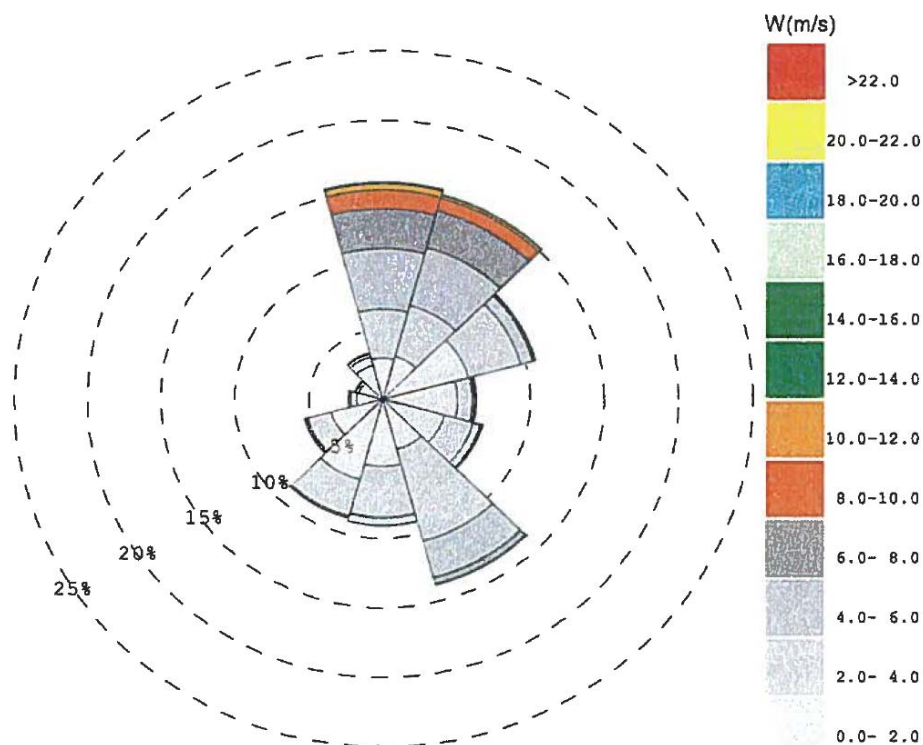


Figura 6-1 - Rosa dei venti - Stazione Rete Mareografica Nazionale (2001-2007)

Tabella 6.1 - Distribuzione della frequenza percentuale del vento per direzione di provenienza - Stazione Rete Mareografica Nazionale (2001-2007)

DIR (°N)	Vv (m/s)												TOT
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	
0	2.95	3.52	4.35	2.88	1.35	0.44	0.08	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	15.62
30	3.17	3.81	4.29	2.76	0.93	0.22	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	15.21
60	6.01	3.68	0.84	0.14	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	10.73
90	5.07	1.03	0.16	0.03	0.01	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	6.33
120	4.31	2.06	0.49	0.09	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	7.01
150	3.71	6.83	2.71	0.52	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.85
180	4.83	3.66	0.53	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.12
210	5.95	2.73	0.15	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.89
240	3.59	1.65	0.18	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.48
270	1.72	0.41	0.14	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.35
300	1.66	0.19	0.06	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.95
330	2.51	0.63	0.25	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.47
TOT	45.49	30.21	14.15	6.69	2.49	0.69	0.15	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	100.00

6.2 Le condizioni estreme di vento

I valori estremi della velocità del vento sottocosta sono stati ottenuti dall'elaborazione del set di dati registrati dalla Stazione della Rete Mareografica Nazionale presentato nel paragrafo precedente, applicando la seguente funzione probabilistica di Weibull:

$$P(v > V) = 1 - \exp\left[-(v/\alpha)^\beta\right]$$

dove v è la variabile (velocità del vento), α e β sono i parametri della distribuzione calcolati mediante la tecnica di best-fit ai minimi quadrati.

In Tabella 6.2 si riportano i risultati delle elaborazioni effettuate.

Tabella 6.2 - Valori della velocità del vento (m/s) in funzione del tempo di ritorno - dati della Stazione Rete Mareografica Nazionale

DIR (°N)	PERIODO DI RITORNO (anni)					
	1	5	10	20	100	200
120	13.3	17.1	18.7	20.4	24.2	25.9
150	13.1	15.1	16.1	16.8	18.8	19.7
180	13.1	16.7	18.3	19.8	23.5	25.0
210	13.3	18.3	20.3	22.7	27.8	30.0
240	8.3	10.1	10.9	11.7	13.5	14.3
OMNI	19.7	22.6	23.9	25.1	28.1	29.3

7 IL CLIMA DI MOTO ONDOSO AL LARGO

7.1 I dati di moto ondoso disponibili

I dati che più si prestano ad una definizione delle caratteristiche meteomarine del paraggio d'interesse sono riportati di seguito, insieme ad un commento inerente la relativa affidabilità ed una giustificazione circa il loro eventuale utilizzo nell'ambito del presente studio:

- Misurazioni di moto ondoso: rappresentano l'informazione migliore che possa essere utilizzata per la definizione delle condizioni marine esistenti al largo del sito in esame. La loro effettiva utilità e validità è legata al tipo di dati disponibili, alla durata del periodo di misurazione e, naturalmente, all'ubicazione dell'ondametro. Tali dati possono essere di tipo direzionale (all'altezza d'onda è associata la direzione di propagazione) o non direzionale. I dati considerati nel presente studio sono quelli registrati dalla boa della Rete Ondametrica Nazionale di La Spezia, misurati dal 1/7/1989 al 10/10/2003, desunti dallo "Studio Meteomarino" elaborato dalla società D'Appolonia nell'ambito dello "Studio di fattibilità" redatto nel 2008, già richiamato in precedenza. La boa ondametrica di La Spezia è direzionale ed ubicata alle coordinate 43°55.7' N e 9°49.6' E in acque di profondità 100 m. La disponibilità di dati è relativa a circa 15 anni di registrazioni, per un totale di 33882 dati triorari.
- Ricostruzione del moto ondoso dai dati di vento e di moto ondoso del Meteorological Office: i dati del MET OFFICE, ricostruiti a partire dalle carte sinottiche del tempo secondo il metodo di Bracknell, adottato dall'European Wave Model, forniscono, in corrispondenza dei nodi di una griglia, i dati triorari di vento e di moto ondoso dedotti attraverso l'applicazione del già citato metodo. I valori di altezza significativa dell'onda vengono desunti dallo spettro dell'energia, quindi calcolati nel "dominio della frequenza". L'altezza significativa fornita è dunque quella che viene indicata come H_{m0} e che viene calcolata dal momento spettrale di ordine 0, che in pratica rappresenta l'energia dello spettro. Essa è in generale diversa da quella che viene indicata come H_s e che viene calcolata nel "dominio del tempo" attraverso l'analisi zero crossing; ai fini pratici però in acque profonde le differenze tra le due non sono sostanziali, quindi i valori forniti vengono assunti come H_s . Il nodo della griglia considerato ha le coordinate 44° N e 8.74° E ed è ubicato in una posizione adeguata per lo studio delle onde al largo del sito d'interesse. I dati acquisiti in questo punto sono relativi al ventennio 1987-2008 e costituiscono quindi un ampio campione di dati a disposizione.

In Figura 7-1 sono ubicati i punti di misura o di ricostruzione del moto ondoso, con riferimento ai dati precedentemente elencati.



Figura 7-1 - Ubicazione dei punti di misura o ricostruzione del moto ondoso

7.2 Il clima di moto ondoso al largo

Il litorale di Genova è interessato dalle onde provenienti dal settore 115°-230° N, come è possibile dedurre dall'ubicazione e conformazione del paraggio d'interesse.

Di seguito vengono analizzati i set di dati d'onda a disposizione per lo studio.

7.2.1 I dati della RON di La Spezia

La frequenza di registrazione dei dati da parte dell'ondametro era, fino al 2001, generalmente di 3 ore con un infittimento alla mezz'ora ogni qualvolta vi era il superamento di una certa soglia d'altezza. Successivamente l'intervallo di registrazione è stato portato a 30 minuti costantemente. Questa differenza di intervalli di registrazione richiede di effettuare una pre-elaborazione quando si costruisce una tabella delle occorrenze ma allo stesso tempo

permette di individuare con maggior precisione i picchi delle mareggiate ai fini del calcolo delle onde estreme.

In Figura 7-2 è riportata la rosa del moto ondoso ottenuta con i dati registrati dalla boa ondometrica di La Spezia. Nel grafico è stato riportato anche il settore di traversia (115 °N-230°N), in modo da evidenziare con più facilità le direzioni di provenienza delle onde di interesse per il paraggio di Genova.

I valori delle frequenze di occorrenza per determinate altezze d'onda significative e direzioni di provenienza sono invece riportati in Tabella 7.1.

Le mareggiate prevalenti, che risultano essere anche le più intense, provengono dal settore 210-240° N e rientrano nel settore di traversia che caratterizza il paraggio in esame.

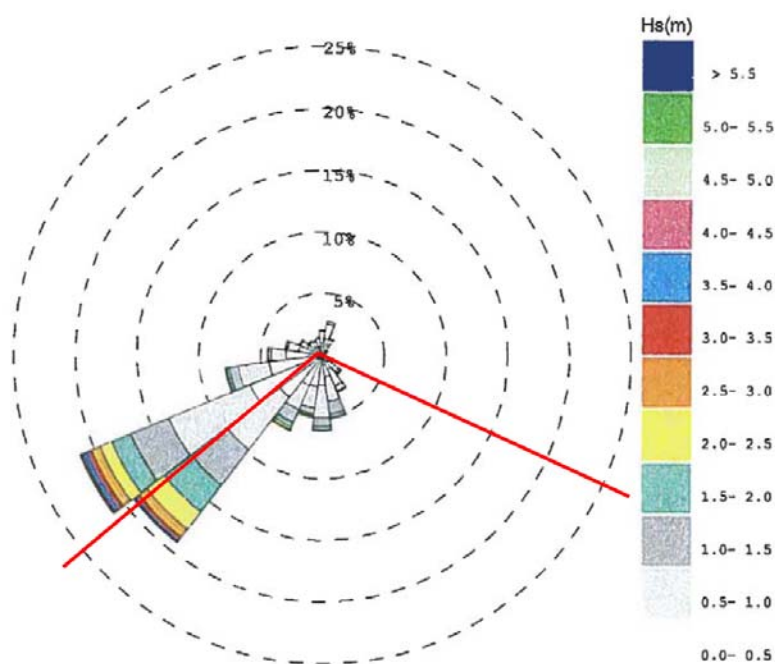


Figura 7-2 - Rosa del moto ondoso al largo ottenuta con i dati registrati dall'ondametro di La Spezia (1989-2003)

Tabella 7.1 - Clima d'onda ottenuto con i dati registrati dall'ondametro di La Spezia (1989-2003)

Hs (m)	≥ 0.25	≥ 0.75	≥ 1.25	≥ 1.75	≥ 2.25	≥ 2.75	≥ 3.25	≥ 3.75	≥ 4.25	≥ 4.75	≥ 5.25	≥ 5.75	≥ 6.25	≥ 6.75	≥ 7.25	Tot.
DIREZIONE °N	< 0.75	< 1.25	< 1.75	< 2.25	< 2.75	< 3.25	< 3.75	< 4.25	< 4.75	< 5.25	< 5.75	< 6.25	< 6.75	< 7.25		
0	0.960	0.910	0.160													2.040
15	1.360	1.150	0.270													2.780
30	0.910	0.500	0.080													1.490
45	0.410	0.150	0.020													0.580
60	0.310	0.130	0.020													0.460
75	0.230	0.090	0.020													0.340
90	0.240	0.080	0.010													0.330
105	0.250	0.120	0.030													0.390
120	0.370	0.390	0.160	0.020												0.940
135	0.660	0.980	0.260	0.060	0.010											1.960
150	1.220	1.430	0.480	0.090	0.010											3.230
165	1.750	2.010	1.040	0.290	0.070	0.010										5.180
180	2.420	2.640	0.730	0.270	0.070	0.030	0.010	0.010								6.190
195	2.550	1.750	0.500	0.160	0.090	0.020	0.010	0.010								5.080
210	2.650	2.120	1.150	0.450	0.190	0.070	0.010	0.020								6.670
225	4.290	5.390	3.620	2.810	1.720	0.790	0.370	0.180	0.050	0.010	0.000	0.000	0.000			19.230
240	6.300	7.120	3.350	1.690	1.000	0.750	0.420	0.330	0.170	0.080	0.040	0.010	0.000	0.000		21.260
255	4.290	2.510	0.750	0.250	0.100	0.040	0.010	0.000								7.970
270	2.840	1.210	0.260	0.070	0.050	0.020										4.450
285	1.900	0.890	0.190	0.040	0.010											3.030
300	1.310	0.540	0.130	0.030	0.010											2.020
315	0.810	0.530	0.140													1.480
330	0.670	0.560	0.110													1.340
345	0.700	0.660	0.110													1.460
Tot.	39.390	33.860	13.570	6.240	3.330	1.730	0.840	0.550	0.220	0.090	0.040	0.010	0.010	0.000	0.000	99.880

CALME 0.12

"0" significa percentuali <0.01%

7.2.2 I dati dell'UKMO

I dati dell'UKMO relativi al periodo 1987-2008, costituiti da registrazioni triorarie, sono stati elaborati al fine di ottenere il clima delle onde in forma di tabelle delle frequenze, organizzate secondo classi di direzione intervallate di 10° e di altezza d'onda con ampiezza 0,5 m.

In Figura 7-3 è riportato il clima di moto ondoso ricostruito elaborando il ventennio di dati disponibile. Nel grafico è stato riportato anche il settore di traversia (115 °N- 230°N), in modo da evidenziare con più facilità le direzioni di provenienza delle onde di interesse per il paraggio di Genova.

In Tabella 7.2 sono presentati i valori delle frequenze di occorrenza per determinate altezze d'onda significative e direzioni di provenienza.

Le mareggiate più frequenti provengono dai settori 0°- 30° N, 140°-160° N e 200-230° N; quelle provenienti dal I quadrante risultano fuori dal settore di interesse.

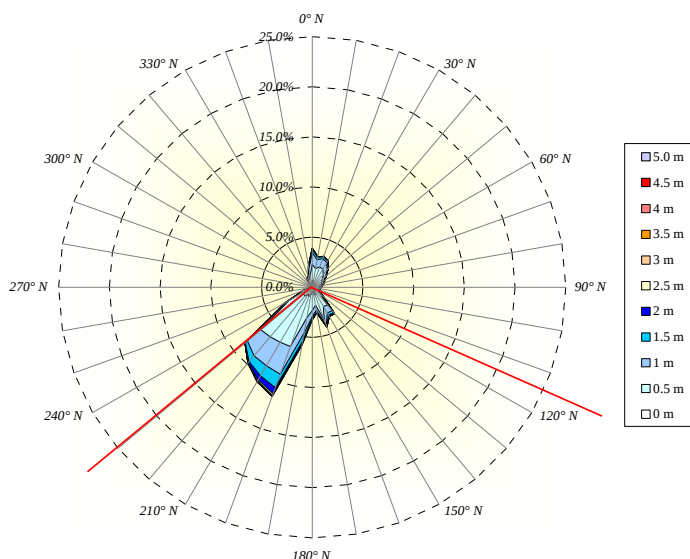


Figura 7-3 - Rosa del moto ondoso al largo di Vado, ottenuta con i dati Ukmo 1987 - 2008

Tabella 7.2 - Clima d'onda ottenuto con i dati ukmo per il periodo 1987-2008

Hs (m)	≥ 0	≥ 0.25	≥ 0.75	≥ 1.25	≥ 1.75	≥ 2.25	≥ 2.75	≥ 3.25	≥ 3.75	≥ 4.25	≥ 4.75	Tot.
DIREZIONE °N	< 0.25	< 0.75	< 1.25	< 1.75	< 2.25	< 2.75	< 3.25	< 3.75	< 4.25	< 4.75	< 5.25	
0	0.676	1.605	1.160	0.347	0.070	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.886
10	0.396	1.493	0.883	0.258	0.046	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.089
20	0.447	1.700	0.876	0.210	0.039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.271
30	0.378	1.703	0.771	0.172	0.032	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.057
40	0.293	1.398	0.589	0.130	0.033	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.444
50	0.286	1.035	0.413	0.082	0.028	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.848
60	0.245	0.788	0.282	0.079	0.023	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.419
70	0.237	0.704	0.210	0.086	0.032	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.274
80	0.228	0.522	0.163	0.072	0.021	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.009
90	0.263	0.499	0.089	0.037	0.011	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.904
100	0.186	0.436	0.117	0.035	0.018	0.011	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.806
110	0.230	0.426	0.112	0.044	0.023	0.004	0.002	0.005	0.002	0.000	0.000	0.846
120	0.203	0.496	0.135	0.035	0.019	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.892
130	0.249	0.778	0.270	0.088	0.030	0.009	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	1.424
140	0.428	1.910	0.710	0.254	0.107	0.019	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	3.432
150	0.392	1.794	0.785	0.242	0.096	0.028	0.019	0.011	0.000	0.000	0.000	3.368
160	0.829	2.618	0.561	0.156	0.040	0.011	0.016	0.002	0.000	0.000	0.000	4.231
170	0.415	1.403	0.506	0.161	0.044	0.030	0.011	0.000	0.002	0.000	0.000	2.572
180	0.552	1.771	0.606	0.193	0.053	0.044	0.005	0.007	0.000	0.000	0.000	3.231
190	0.682	2.435	1.538	0.801	0.252	0.102	0.033	0.007	0.004	0.004	0.002	5.859
200	0.976	5.323	2.937	1.416	0.620	0.193	0.074	0.023	0.018	0.007	0.000	11.585
210	0.823	5.496	2.707	1.174	0.457	0.131	0.060	0.018	0.004	0.002	0.000	10.872
220	1.163	5.283	2.470	0.767	0.145	0.030	0.004	0.009	0.000	0.000	0.000	9.871
230	1.088	5.517	1.736	0.273	0.039	0.005	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	8.662
240	0.592	2.045	0.314	0.039	0.012	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.005
250	0.373	0.489	0.021	0.009	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.899
260	0.173	0.089	0.018	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.287
270	0.196	0.095	0.014	0.007	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.314
280	0.131	0.068	0.014	0.005	0.002	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.224
290	0.173	0.067	0.009	0.005	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.261
300	0.145	0.063	0.016	0.011	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.240
310	0.098	0.088	0.032	0.005	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.224
320	0.166	0.138	0.035	0.014	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.359
330	0.184	0.690	0.151	0.025	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.055
340	0.261	0.522	0.237	0.060	0.028	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.111
350	0.259	0.927	0.713	0.203	0.056	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.166
Tot.	14.418	52.416	22.199	7.497	2.400	0.706	0.231	0.086	0.032	0.012	0.002	100.000

8 GLI EVENTI ESTREMI DI MOTO ONDOSO AL LARGO

8.1 Valori estremi delle onde al largo di La Spezia

L'estrapolazione degli eventi estremi relativamente alla serie storica dei dati della RON di La Spezia, riferita al punto di coordinate 43°55.7' N e 9°49.6' E e relativa al periodo 1989-2003, è stata desunta dallo "Studio Meteomarino" elaborato dalla società D'Appolonia, già citato in precedenza.

La statistica degli eventi estremi è stata effettuata andando a determinare i coefficienti α e β della funzione probabilistica di Weibull:

$$P(H > h) = 1 - \exp\left[-(h / \alpha)^\beta\right]$$

dove h è la variabile (altezza d'onda), α e β sono parametri della distribuzione calcolati mediante la tecnica di best-fit ai minimi quadrati.

I settori considerati ai fini della determinazione degli eventi estremi che possono interessare il litorale in esame sono i seguenti:

- settore 105°N – 135°N
- settore 135°N – 165°N
- settore 165°N – 195°N
- settore 195°N – 225°N

I risultati delle elaborazioni condotte, in relazione ai diversi tempi di ritorno considerati, sono riportati nella Tabella 8.1.

Si evidenzia che i valori si riferiscono allo stato di mare di 3 ore, che viene normalmente utilizzato in fase di progettazione di strutture.

Tabella 8.1 - Valori estremi delle onde al largo di La Spezia

DIR (°N)	Hs (m)				
	TR 1 ANNO	TR 5 ANNI	TR 10 ANNI	TR 20 ANNI	TR 200 ANNI
120	2.63	3.40	3.83	4.12	5.30
150	3.00	3.80	4.15	4.48	5.60
180	3.20	4.10	4.53	4.92	6.20
210	4.73	5.60	5.97	6.32	7.50
OMNI	4.14	5.47	6.04	6.61	8.50

8.2 Valori estremi delle onde al largo nel punto UKMO

La statistica degli eventi estremi è stata effettuata adottando le leggi di distribuzione di probabilità cumulata di non superamento di Gumbel:

$$F(x) = \exp\{-\exp[-(x-B)/A]\} \quad (1)$$

o la distribuzione di Weibull a tre parametri:

$$F(x) = 1 - \exp\{ -[(x-B)/A]^k \} \quad (2)$$

con $k = 0,75; 1,0; 1,4; \text{ e } 2,0$

e in cui x è il valore di non superamento, A è il parametro di locazione, B il parametro di scala e k il parametro di forma.

Questi parametri vengono calcolati per mezzo di una parameter analysis, che viene condotta introducendo le seguenti variabili ridotte:

Gumbel:

$$y (m) = -\ln[-\ln F(x)] \quad (3)$$

Weibull:

$$y (m) = \{-\ln [1-F(x)]\}^{1/k} \quad (4)$$

in modo che tra il valore della variabile x e quello della variabile ridotta y sussista una relazione lineare del tipo:

$$x = A y + B \quad (5)$$

Risolvendo quest'ultima equazione con il metodo dei minimi quadrati si ottiene il valore dei parametri A e B, quindi si identifica la legge di distribuzione.

Il valore dell'altezza d'onda corrispondente ad un assegnato periodo di ritorno si ottiene dall'equazione (5), nella quale la variabile ridotta y viene calcolata a partire dalle equazioni (3) e (4), nelle quali la probabilità di non superamento $F(x)$ viene riscritta in termini di tempo di ritorno T_r , secondo la relazione:

$$F(x)=1-[1/(\lambda T_r)] \quad (6)$$

in cui λ è il numero medio di mareggiate sopra soglia osservate in 1 anno.

Per estrapolare gli eventi estremi con periodi di ritorno elevati (50, 100 fino a 1000 anni) è stata presa in considerazione la serie storica dei dati dell'UKMO, costituita da una sequenza di registrazioni triorarie, riferite al punto di coordinate 44°N; 8,73°E e relative al periodo 1989 – 2008. I primi 2 anni del campione (1987 e 1988 con cadenza diversa, esaoraria) presentano ampi periodi di dati mancanti e pertanto non sono stati considerati per l'analisi degli estremi.

Il settore di traversia, individuato dalle direzioni 115 °N - 230°N, è stato suddiviso nei seguenti 4 sotto-settori:

- settore 105°N – 135°N
- settore 135°N – 165°N
- settore 165°N – 195°N
- settore 195°N – 225°N

Sono stati calcolati per ogni settore i valori delle altezze d'onda associati ai diversi periodi di ritorno, utilizzando le seguenti distribuzioni statistiche:

- Gumbell
- Weibull ($k=0,75$)
- Weibull ($k=1,0$)
- Weibull ($k=1,4$)
- Weibull ($k=2,0$)

L'elaborazione è stata eseguita anche in riferimento al moto ondoso omnidirezionale.

I risultati della statistica degli eventi estremi ottenuti per i 4 settori e l'analisi omnidirezionale sono illustrati di seguito nelle Tabella 8.2÷Tabella 8.6.

Oltre ai valori estremi dell'altezza d'onda significativa, si riportano i valori dei parametri r , A e B . Il parametro r è il coefficiente di correlazione, che è un indicatore della bontà del fit dei dati alla distribuzione statistica; i parametri A e B invece sono rispettivamente il parametro di locazione e il parametro di scala, che identificano la legge di distribuzioni statistica degli estremi della variabile H_s secondo le equazioni (1) e (2).

Si precisa che i valori estremi ottenuti si riferiscono ad uno stato di mare trionario.

Tabella 8.2 - Statistica delle onde estreme al largo del paraggio di Genova, riferita al settore di traversia 105 – 135 ° N

T _r (anni)	Hs (m)				GUMBEL
	WEIBULL				
	k = 0.75	k = 1.0	k = 1.4	k = 2.0	
1	2.35	2.46	2.55	2.61	2.44
5	3.40	3.36	3.31	3.24	3.26
10	3.88	3.75	3.61	3.49	3.61
20	4.38	4.14	3.91	3.72	3.96
50	5.06	4.66	4.30	4.01	4.42
100	5.60	5.05	4.58	4.22	4.77
200	6.15	5.44	4.85	4.42	5.12
500	6.89	5.96	5.21	4.68	5.58
1000	7.47	6.35	5.47	4.87	5.93
coeff. corr. r	0.994	0.990	0.976	0.955	0.986
A	0.281	0.563	1.058	1.799	0.505
B	0.258	-0.077	-0.549	-1.209	0.172

Tabella 8.3 - Statistica delle onde estreme al largo del paraggio di Genova, riferita al settore di traversia 135 – 165 ° N

T _r (anni)	Hs (m)				GUMBEL
	WEIBULL				
	k = 0.75	k = 1.0	k = 1.4	k = 2.0	
1	2.63	2.71	2.76	2.76	2.66
5	3.43	3.40	3.32	3.22	3.28
10	3.80	3.70	3.55	3.40	3.55
20	4.18	3.99	3.78	3.57	3.82
50	4.69	4.38	4.07	3.79	4.17
100	5.09	4.68	4.28	3.95	4.43
200	5.50	4.98	4.49	4.10	4.70
500	6.05	5.37	4.76	4.30	5.05
1000	6.47	5.66	4.97	4.44	5.32
coeff. corr. r	0.976	0.991	0.992	0.979	0.988
A	0.200	0.427	0.837	1.447	0.384
B	0.569	0.256	-0.162	-0.709	0.455

Tabella 8.4 - Statistica delle onde estreme al largo del paraggio di Genova, riferita al settore di traversia 165 – 195 ° N

T _r (anni)	Hs (m)				GUMBEL
	WEIBULL				
	k = 0.75	k = 1.0	k = 1.4	k = 2.0	
1	3.21	3.34	3.42	3.47	3.30
5	4.26	4.23	4.16	4.07	4.12
10	4.74	4.61	4.46	4.31	4.47
20	5.23	4.99	4.75	4.54	4.82
50	5.89	5.50	5.13	4.83	5.28
100	6.41	5.88	5.41	5.03	5.64
200	6.94	6.26	5.68	5.24	5.99
500	7.66	6.77	6.04	5.50	6.45
1000	8.22	7.15	6.30	5.68	6.80
coeff. corr. r	0.997	0.997	0.987	0.969	0.996
A	0.260	0.553	1.091	1.916	0.507
B	0.499	0.124	-0.411	-1.149	0.357

Tabella 8.5 - Statistica delle onde estreme al largo del paraggio di Genova, riferita al settore di traversia 195 – 225 ° N

T _r (anni)	Hs (m)				GUMBEL
	WEIBULL				
	k = 0.75	k = 1.0	k = 1.4	k = 2.0	
1	3.50	3.58	3.60	3.58	3.52
5	4.40	4.33	4.21	4.07	4.21
10	4.81	4.66	4.46	4.26	4.51
20	5.23	4.99	4.71	4.45	4.81
50	5.80	5.42	5.03	4.69	5.20
100	6.24	5.74	5.26	4.86	5.50
200	6.69	6.07	5.49	5.03	5.80
500	7.30	6.50	5.79	5.24	6.19
1000	7.77	6.83	6.02	5.40	6.49
coeff. corr. r	0.984	0.997	0.996	0.983	0.995
A	0.214	0.471	0.946	1.662	0.430
B	0.716	0.357	-0.129	-0.761	0.574

Tabella 8.6 - Statistica delle onde estreme al largo del paraggio di Genova - omnidirezionale

T _r (anni)	Hs (m)				GUMBEL
	WEIBULL				
	k = 0.75	k = 1.0	k = 1.4	k = 2.0	
1	3.76	3.83	3.86	3.85	3.78
5	4.63	4.56	4.45	4.32	4.46
10	5.02	4.88	4.70	4.51	4.75
20	5.41	5.19	4.94	4.70	5.04
50	5.96	5.60	5.25	4.94	5.43
100	6.37	5.92	5.48	5.11	5.72
200	6.80	6.23	5.71	5.28	6.02
500	7.37	6.65	6.00	5.49	6.40
1000	7.82	6.96	6.22	5.65	6.70
coeff. corr. r	0.993	0.999	0.994	0.978	0.999
A	0.197	0.453	0.952	1.743	0.423
B	0.634	0.232	-0.325	-1.070	0.412

Lo studio condotto ha permesso di definire i valori delle altezze d'onda associati ai diversi periodi di ritorno al largo del sito in esame per i 4 settori di provenienza in cui è stato suddiviso il settore di traversia e per il moto ondoso omnidirezionale.

La distribuzione statistica prescelta per rappresentare le onde estreme è quella di Weibull con parametro $k=1$, per la quale si hanno generalmente i valori più elevati.

I risultati, settore per settore e per i tempi di ritorno di interesse progettuale sono riportati nella tabella che segue.

Tabella 8.7 - Valori estremi delle onde al largo di Genova (punto Ukmo)

DIR (°N)	Hs (m)				
	TR 1 ANNO	TR 5 ANNI	TR 10 ANNI	TR 20 ANNI	TR 200 ANNI
120	2.46	3.36	3.75	4.14	5.44
150	2.71	3.40	3.70	3.99	4.98
180	3.34	4.23	4.61	4.99	6.26
210	3.58	4.33	4.66	4.99	6.07
OMNI	3.83	4.56	4.88	5.19	6.23

Analisi degli eventi estremi - conclusioni

L'analisi effettuata ha permesso di stimare i valori estremi del moto ondoso proveniente dalle direzioni principali del settore di traversia del paraggio in esame e del moto ondoso omnidirezionale. Sulla base della serie storica dei dati di moto ondoso registrati dalla boa ondometrica di La Spezia (1989-2003) e di quelli ricostruiti nel punto UKMO (1989-2008), sono stati calcolati i valori delle altezze d'onda in riferimento ai diversi tempi di ritorno di interesse progettuale.

Dai risultati delle elaborazioni condotte si evince che i valori estremi di altezza d'onda estrapolati dai due set di dati a disposizione risultano molto simili in relazione ai primi tre settori esaminati.

In riferimento al settore 195°-225° N, i valori estremi calcolati presentano invece differenze rilevanti; le altezze d'onda estrapolate dai dati registrati dall'ondametro di La Spezia risultano infatti più alte di quelle calcolate a partire dai dati UKMO. Questa disparità può essere spiegata considerando la diversa esposizione al moto ondoso dei due punti ai quali sono riferiti i dati analizzati, uno situato al largo di La Spezia e l'altro al largo di Genova.

L'ondametro di La Spezia risulta infatti maggiormente esposto alle direzioni da cui provengono le mareggiate più intense, in particolare a quella di libeccio.

E' importante anche sottolineare che generalmente i dati misurati di moto ondoso risultano più elevati di quelli ricostruiti a partire dai dati di vento e di moto ondoso.

Anche la discrepanza presente tra i valori estremi ottenuti dall'analisi omnidirezionale dei due set di dati esaminati può essere spiegata sulla base della diversa esposizione dei punti di misura considerati; confrontando i climi di moto ondoso riportati precedentemente nelle Tabella 6.1 e Tabella 6.2 è evidente infatti che l'ondametro di La Spezia presenta una maggior esposizione alle mareggiate da libeccio rispetto al punto UKMO.

In conclusione, per le elaborazioni necessarie alla determinazione dell'onda di progetto in corrispondenza delle opere, si ritiene opportuno considerare i valori estremi di altezza d'onda ricavati dall'elaborazione delle onde registrate al largo di La Spezia, in quanto risultano maggiormente cautelativi, rispetto ai dati UKMO, in relazione alle mareggiate provenienti da libeccio.

Correlazione altezza d'onda-periodo

Dopo aver calcolato il valore di H_s corrispondente ad un assegnato tempo di ritorno, occorre associare a tale onda un valore del periodo significativo.

La relazione adottata tra altezza d'onda e periodo, in relazione ai valori estremi di moto ondoso al largo di La Spezia, è la seguente:

$$H_s = 0.06 T_s^2$$

dedotta dall'analisi di numerosi dati rilevati in vari bacini (Grancini et al., 1979; Cavaleri et al., 1986; Rampolli et al., 1996).

Relativamente ai dati UKMO, la correlazione tra altezza d'onda e periodo è stata determinata utilizzando la relazione:

$$T_z = a H_s^b$$

I coefficienti a e b sono stati determinati attraverso il metodo dei minimi quadrati; i valori individuati sono:

$$a = 3.8$$

$$b = 0.5$$

Applicando la nota relazione tra T_z e T_s ($T_z = 0.83 \cdot T_s$) si ottiene la seguente relazione:

$$H_s = 0.05 T_s^2$$

che risulta in buon accordo con la correlazione adottata per il moto ondoso al largo di La Spezia.

Per associare ad H_s il valore del periodo di picco T_p si può utilizzare la relazione (Boccotti, 1997):

$$T_p = 8.5 \pi (H_s/4g)^{0.5}$$

9 PERIODO DI RITORNO DELL'ONDA DI PROGETTO

Il periodo di ritorno dell'onda di progetto è stato definito in conformità alle Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996). Il periodo di ritorno dipende dalla vita tecnica dell'opera e dalla massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera.

La durata minima di vita per le opere è definita nella Tabella 9.1.

Tabella 9.1 - Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo T_v

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

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

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

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

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

Per quanto riguarda la probabilità di occorrenza dell'onda di progetto, si assumeranno le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente o alla distruzione totale in relazione alle deformazioni-modificazioni subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno subito (vedi Tabella 9.2).

Nel nostro caso si assume la probabilità corrispondente al danneggiamento incipiente inteso come il livello di danneggiamento predefinito in relazione al tipo di struttura, al di sopra del quale il danno è apprezzabile e risulta necessario intervenire con lavori di manutenzione.

Tabella 9.2 - *Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera P_f*

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

Per rischio limitato per la vita umana si intendono i casi in cui a seguito del danneggiamento non è prevista alcuna perdita di vite umane. Quando queste perdite sono preventivabili, il rischio è elevato. Per ripercussione economica bassa, media ed alta s'intendono casi in cui il rapporto fra i costi diretti del danneggiamento, sommati a quelli indiretti dovuti alla perdita di funzionalità delle opere protette ed, il costo totale per la realizzazione dell'opera è minore di 5, è compreso fra 5 e 20 o è maggiore di 20.

Nel caso in esame il rischio per la vita umana viene ritenuto basso; per quanto riguarda la massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo operativo dell'opera,

relativamente allo scenario di danneggiamento incipiente si assume una ripercussione economica medio bassa e quindi una probabilità di 0.4.

Alle opere presentate in questo progetto si può associare un livello di sicurezza pari a 2; tutte le opere definitive possono essere considerate come infrastrutture civili ad uso generale, cui corrisponde quindi un tempo di vita di 50 anni. Ciò nonostante su raccomandazione delle autorità dell'Aeroporto di Genova orientate ad una maggiore cautela, si è presa in considerazione una vita tecnica dell'opera pari a 100 anni.

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

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

TIPO DI DANNO	T_v (anni)	P_f	T_{rp} teorico (anni)	T_{rp} adottato (anni)
Danneggiamento incipiente	100	0.4	196	200

In definitiva, per il dimensionamento delle opere di progetto, si considera un'onda significativa corrispondente ad un periodo di ritorno di 200 anni.

10 PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDO SO IN CORRISPONDENZA DELLA DIGA FORANEA ESISTENTE

Ai fini progettuali occorre considerare che nella propagazione dal largo verso la costa le onde subiscono delle trasformazioni dovute all'effetto del fondale e questo fa sì che l'altezza dell'onda al largo si modifichi continuamente nella propagazione verso le acque basse.

Di seguito si presentano i risultati dello studio elaborato dalla società D'Appolonia tramite l'utilizzo di un modello spettrale di terza generazione, al fine di analizzare le caratteristiche del moto ondoso in corrispondenza della diga foranea, in condizioni tipiche ed estreme (per lo studio completo si rimanda allo "Studio Meteomarino" elaborato nell'ambito dello 'Studio di fattibilità' dalla società D'Appolonia nel 2008).

10.1 Schematizzazioni e batimetrie

Il modello numerico utilizzato è lo SWAN (Simulating Waves Nearshore (Booij et al., 1996)), che è in grado di simulare i parametri delle onde in aree costiere, a partire da condizioni definite al largo, tenuto conto delle condizioni del vento, delle correnti e delle caratteristiche del fondale.

Il modello è stato applicato inizialmente ad un dominio di calcolo che include tutto il Golfo di Genova e successivamente ad un dominio più ristretto che comprende il tratto di mare antistante Genova, all'incirca fino alla batimetria dei 50 m.

In riferimento ai due domini di calcolo sono state costruite due griglie spaziali.

La prima griglia, a scala regionale (Figura 10-1), è stata elaborata al fine di ottenere una stima del clima ondoso costiero rappresentativo per il paraggio in esame, a partire dal clima ondoso al largo di La Spezia. In ciascuna maglia del modello il valore della profondità è stato definito mediante una procedura di "gridding" a partire dalla batimetria al largo (estratta da archivio dati batimetrici globali NOAA).

La seconda griglia, molto più dettagliata della precedente, presenta dimensioni 34680m x 4200 m, con maglie equispaziate di 40 m. Il valore della profondità in ciascuna maglia del modello è stato definito mediante una procedura di "gridding" a partire dalla batimetria al largo integrata a costa con i dati batimetrici estratti dalla Carta Nautica N.106 (Litorale di Genova in scala 1:30000).

In Figura 10-2 sono riportate la griglia di calcolo e la batimetria di input per il modello.

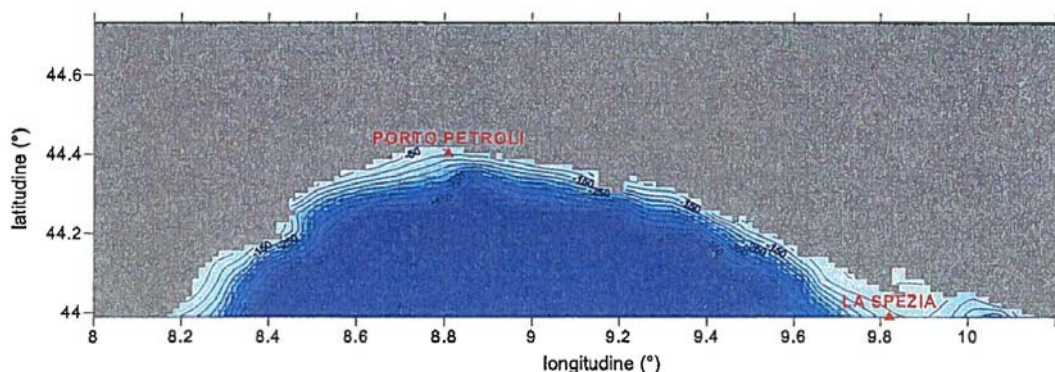


Figura 10-1 - Batimetria di input per il modello Swan a grande scala (2500m x 2500m) e posizioni dell'ondametro di La Spezia e del Porto Petroli

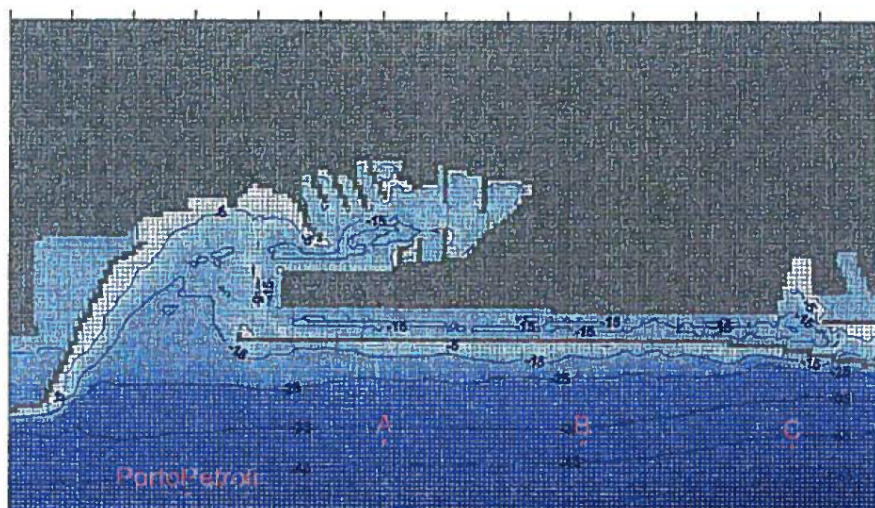


Figura 10-2 - Batimetria, schema di dettaglio per i modelli a scala locale a maglie equispaziate di 40 m e punti di calcolo dei valori estremi di altezza d'onda

10.2 Simulazioni e risultati ottenuti

Le simulazioni condotte hanno consentito di ottenere una stima del clima ondoso costiero rappresentativo per il paraggio in esame a partire dal clima ondoso al largo di La Spezia.

Il clima ondoso sottocosta è stato calcolato in corrispondenza del Porto Petroli. I valori delle frequenze di occorrenza associate alle altezze d'onda significative nel punto di calcolo, in funzione delle direzioni di provenienza, sono riportati in Tabella 10.1. in Figura 10-3 è invece riportata la rosa del moto ondoso nel punto di calcolo in questione.

Tabella 10.1 - Clima ondoso sottocosta in corrispondenza della boa di porto petroli calcolato mediante l'applicazione del modello Swan a grande scala

DIR (°N)	Hs (m)													
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	TOT
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
120	0.93	1.25	0.73	0.28	0.07	0.03	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33
150	2.28	2.86	1.43	0.61	0.16	0.09	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50
180	3.41	3.71	1.79	0.59	0.23	0.09	0.07	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	9.92
210	8.51	12.99	6.76	3.52	2.15	1.22	0.79	0.28	0.23	0.08	0.03	0.02	0.00	36.58
240	8.27	7.10	3.00	1.56	0.82	0.49	0.31	0.16	0.12	0.07	0.04	0.02	0.02	21.98
270	0.44	0.52	0.25	0.12	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45
300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
330	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOT	23.84	28.43	13.96	6.68	3.52	1.95	1.25	0.47	0.36	0.16	0.08	0.04	0.02	80.76
EVENTI RESIDUI			19.24											

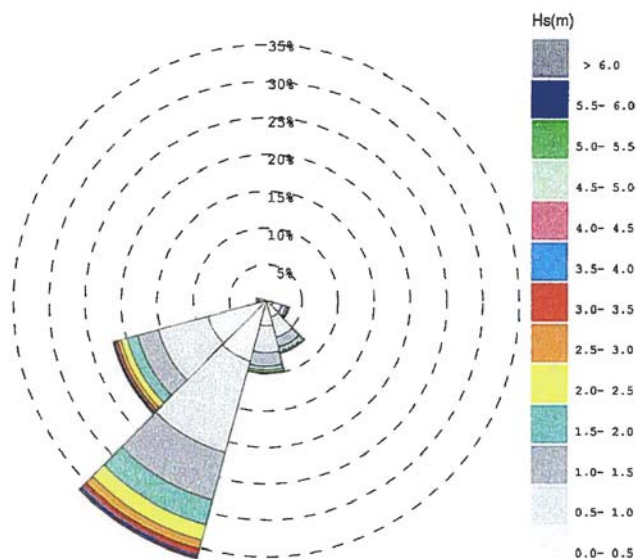


Figura 10-3 - Rosa del moto ondoso in corrispondenza della boa di porto petroli calcolata mediante l'applicazione del modello Swan a grande scala

Dalla tabella si evince che circa il 59% degli eventi è associato ai settori 210°-240° N, cui sono associate anche le massime energie, mentre circa il 17% degli eventi è associato ai settori 150°-180° N. Gli eventi che non interessano il settore di esposizione dell'area costiera in esame risultano essere poco più del 19% della totalità degli eventi al largo.

Successivamente le simulazioni sono state eseguite utilizzando una seconda griglia molto più dettagliata della precedente, che ha permesso di determinare il campo di altezza d'onda in prossimità della diga foranea, indotto dalle onde estreme al largo provenienti dalle direzioni principali del settore di traversia.

Per non appesantire la trattazione si riportano solamente a titolo esemplificativo nelle Figura 10-4 ÷ Figura 10-7 i risultati delle simulazioni eseguite per le condizioni di moto ondoso relative al tempo di ritorno di 10 anni, per le direzioni principali del settore di traversia del paraggio in esame.

Il campo di moto ondoso è rappresentato mediante isolinee di altezza d'onda significativa.

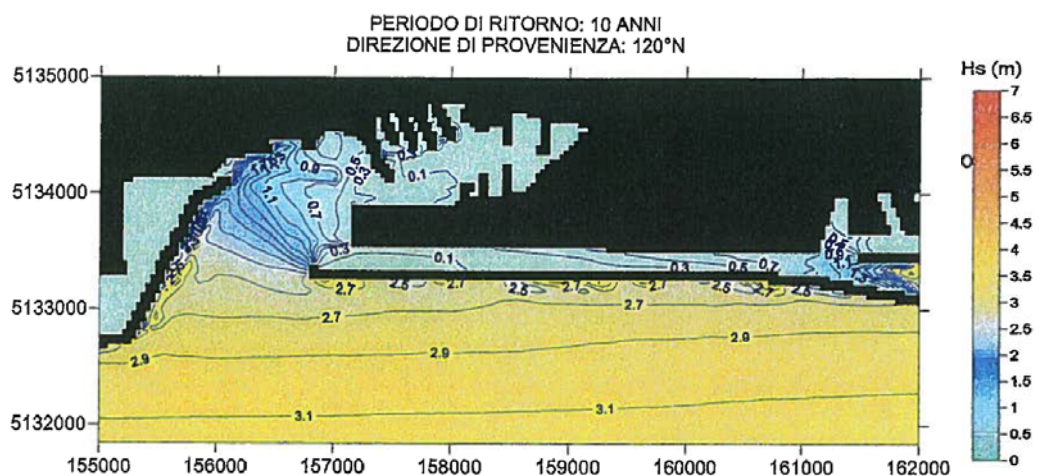


Figura 10-4 - Risultati simulazioni Tr 10 anni - onde estreme al largo provenienti da 120° N

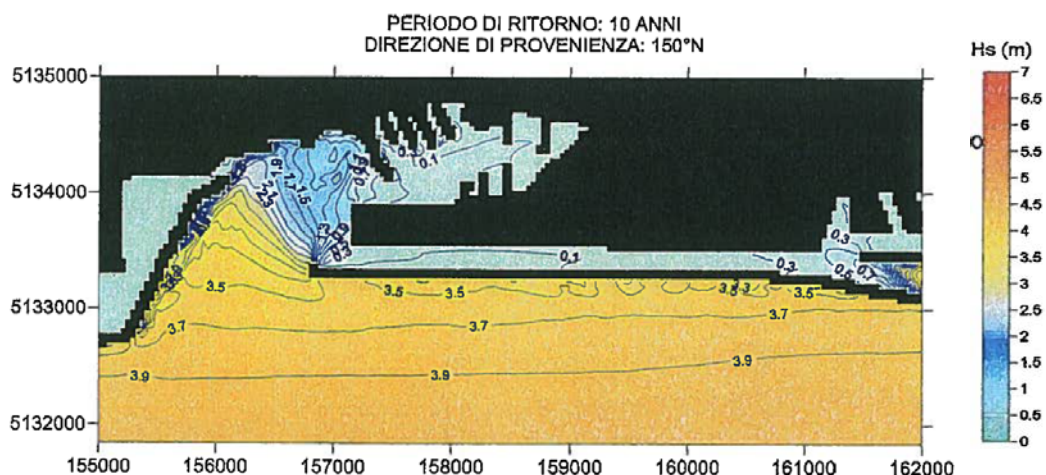


Figura 10-5 - Risultati simulazioni Tr 10 anni - onde estreme al largo provenienti da 150° N

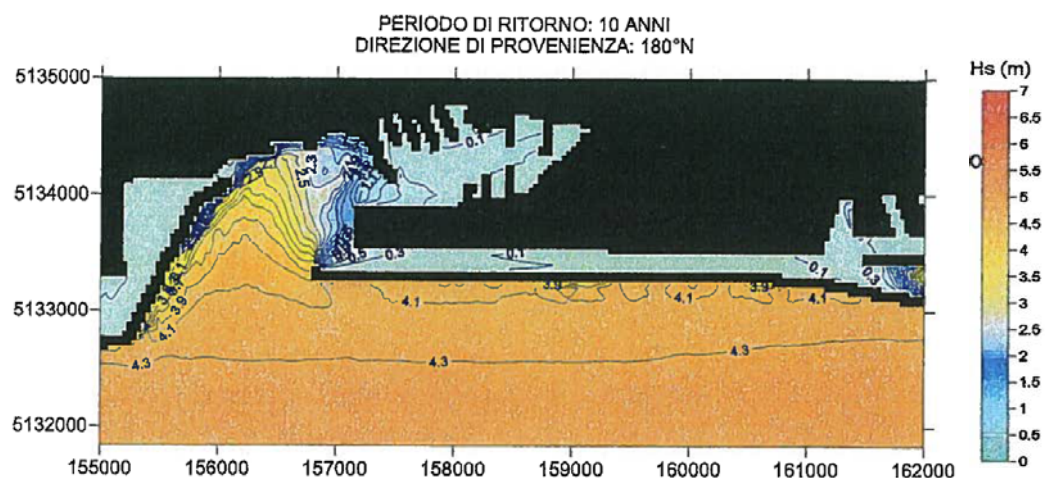


Figura 10-6 - Risultati simulazioni Tr 10 anni - onde estreme al largo provenienti da 180° N

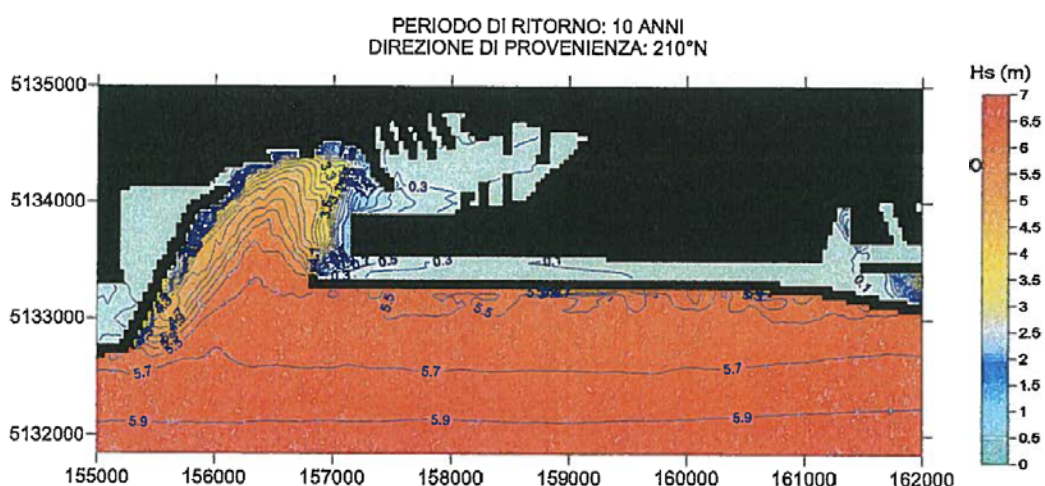


Figura 10-7 - Risultati simulazioni Tr 10 anni - onde estreme al largo provenienti da 210° N

Nella tabella seguente si riportano i valori estremi direzionali di altezza d'onda calcolati in corrispondenza della diga foranea, per i vari tempi di ritorno esaminati.

*Tabella 10.2 - Valori estremi direzionali delle onde in corrispondenza della diga foranea
(profondità -15 m)*

PERIODO DI RITORNO (ANNI)	AL LARGO			ALLA DIGA (d = -15 m)		
	Hs (m)	Tp (s)	DIR (°)	Hs (m)	Tp (s)	DIR (°)
1	2.63	6.91	120	1.70	6.91	136
	3.00	7.38	150	2.50	7.38	156
	3.20	7.63	180	2.90	7.63	181
	4.73	9.27	210	4.30	9.27	205
5	3.40	7.86	120	2.30	7.86	137
	3.80	8.31	150	3.20	8.31	158
	4.10	8.63	180	3.70	8.63	182
	5.60	10.09	210	5.10	10.09	204
10	3.83	8.34	120	2.70	8.34	140
	4.15	8.68	150	3.50	8.68	159
	4.53	9.07	180	4.10	9.07	182
	5.97	10.42	210	5.50	10.42	204
20	4.12	8.65	120	2.90	8.65	141
	4.48	9.02	150	3.77	9.02	160
	4.92	9.45	180	4.42	9.45	182
	6.32	10.71	210	5.66	10.71	203
200	5.30	9.81	120	3.90	9.81	147
	5.60	10.09	150	4.70	10.09	163
	6.20	10.61	180	5.60	10.61	183
	7.50	11.67	210	6.70	11.67	203

11 DESCRIZIONE SOMMARIA DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Le opere a mare previste dal progetto riguardano la realizzazione del deposito dei materiali provenienti dagli scavi delle gallerie previsti nell'ambito del progetto di potenziamento del nodo stradale e autostradale di Genova.

La nuova colmata a mare dovrà consentire il deposito di circa 9.3 milioni di metri cubi provenienti dagli scavi per la realizzazione dell'adeguamento del sistema A7-A10-A12, buona parte dei quali contaminati da fibre di amianto, e sarà ubicato tra l'area aeroportuale e la diga foranea esistente, all'interno del cosiddetto canale di calma.

La protezione della nuova area di deposito dei materiali ha lo scopo di evitare i fenomeni erosivi e di scalzamento associabili alle onde generate dalle imbarcazioni in transito nel canale ed in generale alle condizioni idraulico-marittime nel canale di calma.

Sono state esaminate differenti tipologie di opera in grado di costituire la conterminazione del nuovo deposito a mare: opere a parete verticale, opere a gettata mediante l'utilizzo di massi naturali ed opere miste. La scelta della tipologia più idonea è stata poi effettuata sostanzialmente sulla base dei seguenti criteri:

- riutilizzo del materiale non contaminato disponibile dagli scavi limitando per quanto possibile il volume di materiale da recuperare presso cave in grado di fornire pietrame/massi naturali;
- massimizzare il volume di deposito del materiale contaminato lasciando un canale di calma di larghezza idonea al mantenimento della navigazione e della sua funzione di dissipazione dei fenomeni idrodinamici;
- possibilità di ridurre le lavorazioni nella zona dell'intervento e pertanto ottimizzazione delle fasi operative dell'intervento;
- costo dell'intervento.

La tipologia di conterminazione selezionata sulla base dei suddetti aspetti è quella a parete verticale, che verrà realizzata mediante la costruzione di cassoni cellulari in cemento armato. Tale soluzione consente di stoccare tutto il volume di materiale previsto, mantenendo un canale di calma di larghezza pari a 75 m (vedi Figura 11-1).

La scelta della tipologia più opportuna deriva principalmente dalle opportunità/esigenze costruttive, in relazione ai costi dell'opera e alla necessità di limitare le interferenze tra

costruzione e funzioni produttive esistenti. In tal senso si è ritenuto opportuno propendere per l'analisi della soluzione a cassoni cellulari in cemento armato, che potranno essere realizzati mediante gli impianti di prefabbricazione ubicati nelle vicine banchine del porto di Genova, messi in galleggiamento e trasportati in situ dove avverrà l'affondamento con zavorra liquida. Lo zavorramento con acqua dovrà consentire anche la stabilità dell'elemento nella fase transitoria fino allo zavorramento definitivo.

I cassoni, ai fini della loro stabilità nell'ambito della vita tecnica dell'opera, verranno zavorrati al loro interno con materiale inerte e saranno imbasati su uno scanno costituito da pietrame selezionato di categoria 2-300 kg (a sua volta posato su geotessuto) e adeguatamente livellato per consentire la posa del cassone stesso. Il piede dell'opera verrà adeguatamente protetto dalle azioni meteomarine mediante l'utilizzo di massi naturali (di categoria 300-1000 kg).

Sulla sommità del cassone è prevista una sovrastruttura in cemento armato dotata sul lato mare di un muro paraonde con quota di sommità a +3 m sul l.m.m.

In Figura 11-2 è riportata una sezione tipo della nuova conterminazione.

Le analisi meteomarine presentate di seguito hanno evidenziato che la riduzione della larghezza del canale di calma consente di limitare la penetrazione del moto ondoso dalle imboccature poste alle estremità della diga foranea. Nonostante ciò, per ulteriore cautela si è comunque previsto sulla parete verticale dei cassoni una cella antiriflettente riempita con pietrame al fine di ridurre la riflessione dell'onda.

Questo accorgimento è stato adottato su tutti i lati della conterminazione, sul lato est con lo scopo di ridurre l'agitazione ondosa in corrispondenza della vicina banchina dell'ILVA e pertanto mantenere per quanto possibile le condizioni operative esistenti, sul lato ovest per ridurre l'agitazione ondosa nell'area di accesso al bacino di Multedo, sul lato sud per ridurre l'agitazione ondosa nel canale di calma ai fini della navigazione.

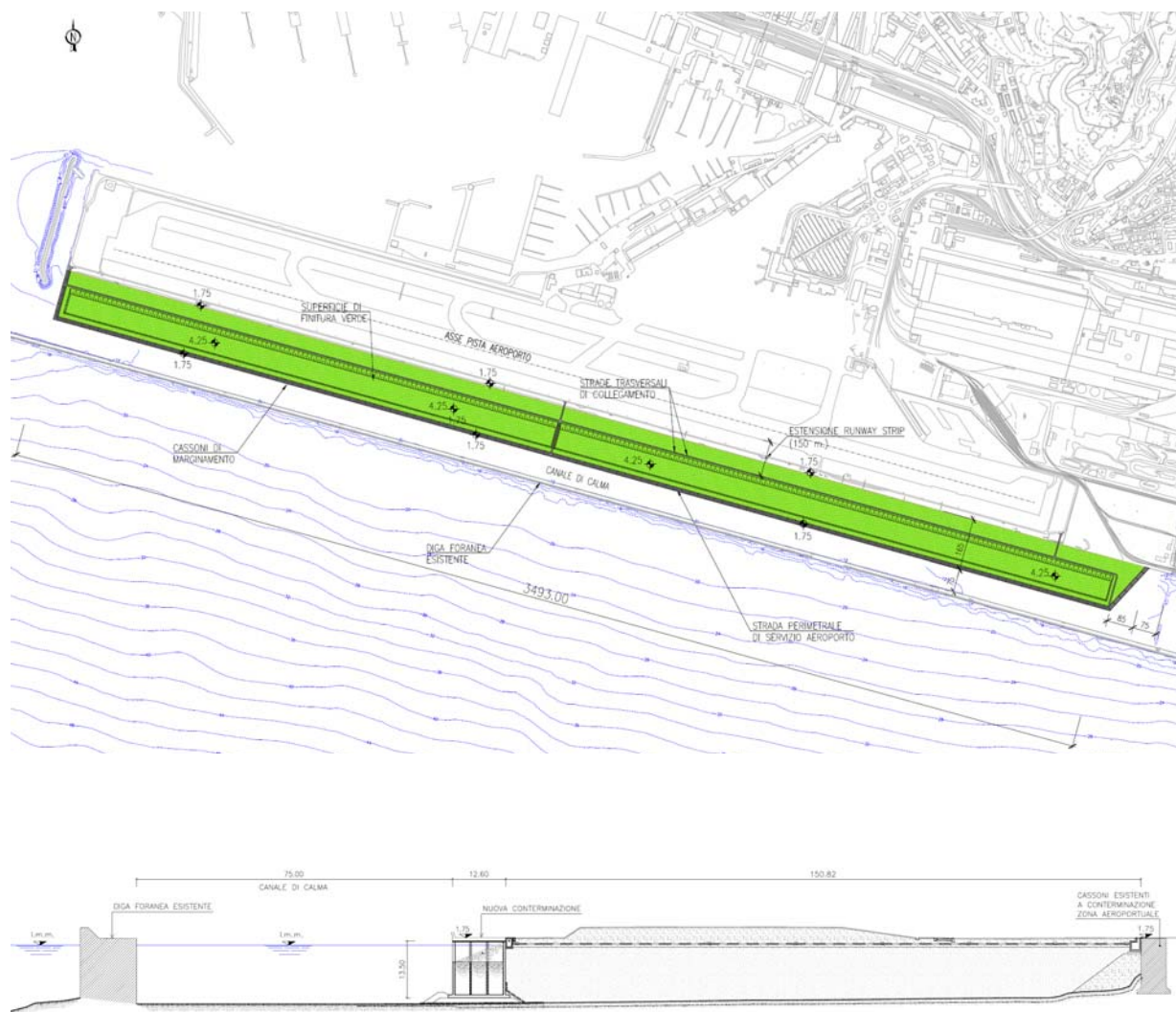


Figura 11-1 - Planimetria e sezione trasversale del nuovo deposito a mare

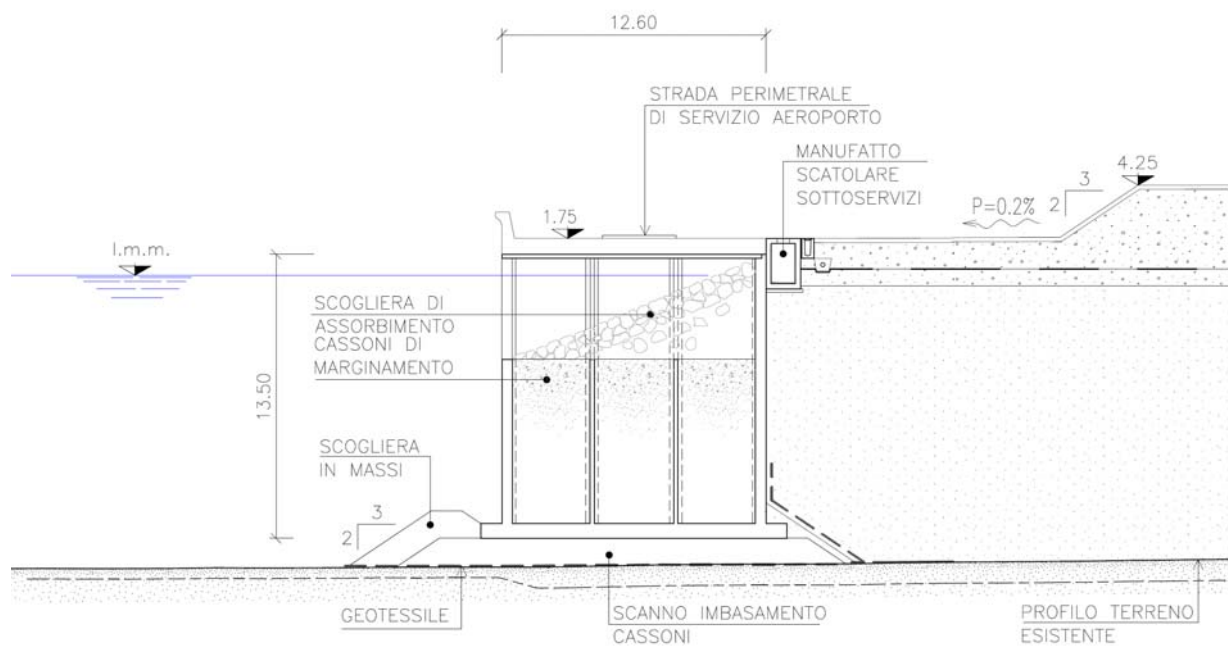


Figura 11-2 - Sezione tipo della conterminazione

12 PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSI NEL CANALE ATTRAVERSO LE IMBOCCATURE ALLE ESTREMITÀ DELLA DIGA FORANEA: STATO DI FATTO E DI PROGETTO

La propagazione del moto ondoso all'interno del canale di calma che separa l'aeroporto di Genova dalla diga foranea ad esso antistante si è resa necessaria al fine di determinare le condizioni di moto ondoso in corrispondenza delle opere di progetto e per valutare le condizioni di navigazione all'interno del canale di calma, la cui larghezza risulterà notevolmente ridotta in seguito alla realizzazione dell'opera di conterminazione in progetto.

La propagazione delle onde attraverso le estremità della diga foranea viene trattata nel presente capitolo attraverso l'utilizzo di un modello matematico.

Riguardo alla propagazione delle onde dalle estremità della diga foranea, si evidenzia che la decisione di non adottare quali onde di progetto in corrispondenza dell'opera quelle ricavabili dalle propagazioni eseguite con il modello SWAN è dettata dal fatto che tale modello numerico, pur simulando con accuratezza diversi processi fisici, non tiene conto del fenomeno della riflessione del moto ondoso.

Considerata la riflessione significativa che si verifica sulla diga di Voltri e che interessa il canale di calma e tenendo conto della riflessione del moto ondoso all'interno del canale stesso, l'altezza d'onda in corrispondenza delle opere di progetto, se estrapolata dalle simulazioni effettuate con lo SWAN, potrebbe risultare sottostimata. Alla luce di queste considerazioni, la propagazione del moto ondoso in corrispondenza delle opere di progetto è stata eseguita tramite l'impiego del modello matematico DIFFRAC, messo a punto dal Laboratorio idraulico olandese di Delft, che permette di simulare i fenomeni di diffrazione e riflessione dell'onda.

12.1 Configurazioni di riferimento: schematizzazioni

Nelle simulazioni effettuate con il modello matematico Diffrac è stata considerata la nuova planimetria di progetto della colmata che tiene conto delle osservazioni delle Autorità competenti e pertanto sono state considerate le seguenti configurazioni:

- Layout 1: stato di fatto - canale di calma largo 240 m (Figura 12-1);
- Layout 2: configurazione di progetto - canale di calma largo 75 m (Figura 12-2).

La profondità, assunta costante all'interno del bacino in entrambe le configurazioni studiate, è pari a 15 m.

Si fa presente che si è tenuto conto inoltre nella configurazione di progetto anche degli interventi in atto all'imboccatura di Ponente del bacino portuale di Sampierdarena, conseguente agli interventi programmati sulla calata Derna, in ottemperanza di quanto richiesto dall'Autorità Portuale di Genova.

Le griglie di calcolo utilizzate per le simulazioni sono state determinate in funzione del periodo di riferimento delle onde incidenti oggetto di analisi e sono le seguenti:

- Griglia 1 (maglie quadrate 18m x 18m): usata per le simulazioni eseguite per le condizioni ondose con tempo di ritorno di 200 anni;
- Griglia 2 (maglie quadrate 13m x 13m): usata per le simulazioni eseguite per le condizioni ondose con tempi di ritorno pari a 1,5, 10 e 20 anni.

Le condizioni ondose di input per il modello, valutate all'imboccatura della diga foranea, sono state ricavate dalle simulazioni eseguite con il modello numerico SWAN, presentate nel cap.10.

Le direzioni di provenienza del moto ondoso considerate nelle simulazioni eseguite con il modello Diffrac sono state individuate a partire da un'analisi di dettaglio del moto ondoso che penetra in modo più diretto all'interno del canale di calma attraverso le due imboccature e di quello che penetra dall'imboccatura ovest per effetto della riflessione che si verifica sulla diga foranea di Voltri.

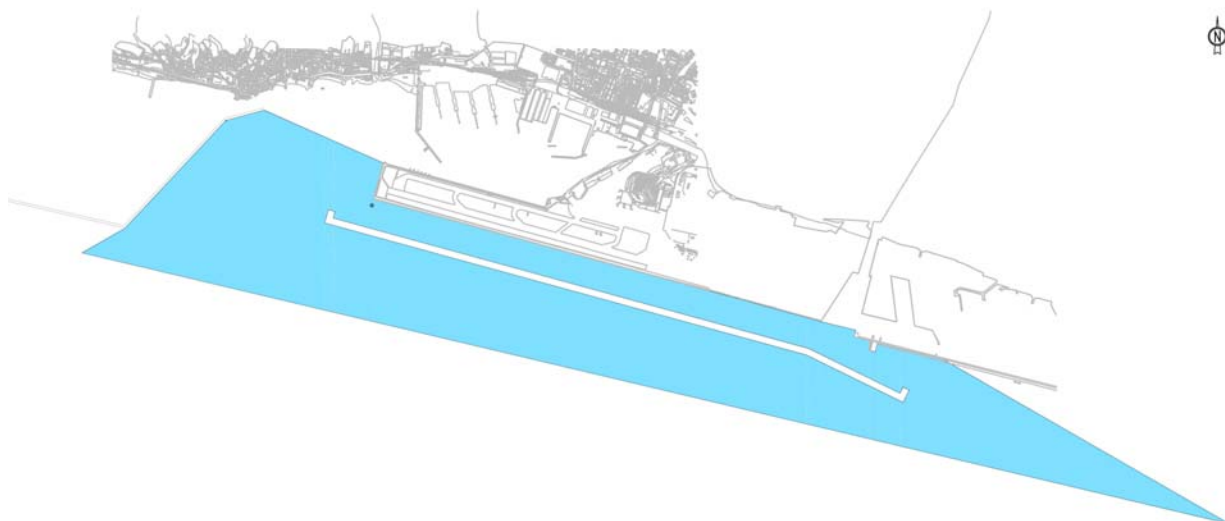


Figura 12-1 - Layout 1: Stato di fatto

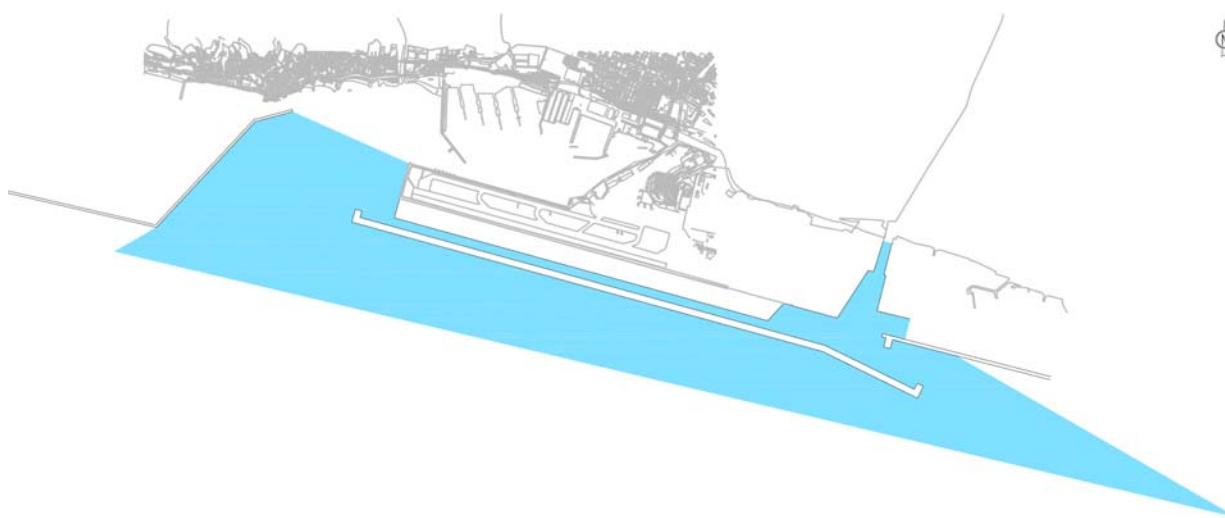


Figura 12-2 - Layout 2: Configurazione di progetto

12.2 I coefficienti di riflessione delle opere

12.2.1 La diga di Voltri

L'attribuzione del coefficiente di riflessione alla diga di Voltri è stata effettuata, ai fini delle simulazioni, tenendo conto della particolare configurazione dell'opera, che si presenta a parete verticale, costituita da cassoni la cui sovrastruttura è caratterizzata da un muro paraonde curvo, arretrato di circa una decina di metri rispetto al filo della parete lato mare dei cassoni.

La letteratura specializzata a riguardo, basata su prove eseguite con modello fisico, mostra che questa particolare configurazione della sovrastruttura, con muro paraonde arretrato, determina una riduzione della riflessione del moto ondoso in corrispondenza dell'opera, rispetto al caso di parete verticale con muro paraonde allineato con il filo esterno della diga.

La stima del coefficiente di riflessione da attribuire alla diga di Voltri è stata effettuata sulla base dei risultati di alcune prove su modello fisico sviluppate per studiare le diverse configurazioni del coronamento delle opere a parete verticale.

Le sezioni analizzate nelle prove e i valori ottenuti per il coefficiente di riflessione al variare dell'altezza d'onda, per le diverse configurazioni esaminate, sono riportati in Figura 12-3.

Tenendo conto delle condizioni meteomarine di progetto, alla diga di Voltri è stato cautelativamente attribuito un coefficiente di riflessione pari a 0.7.

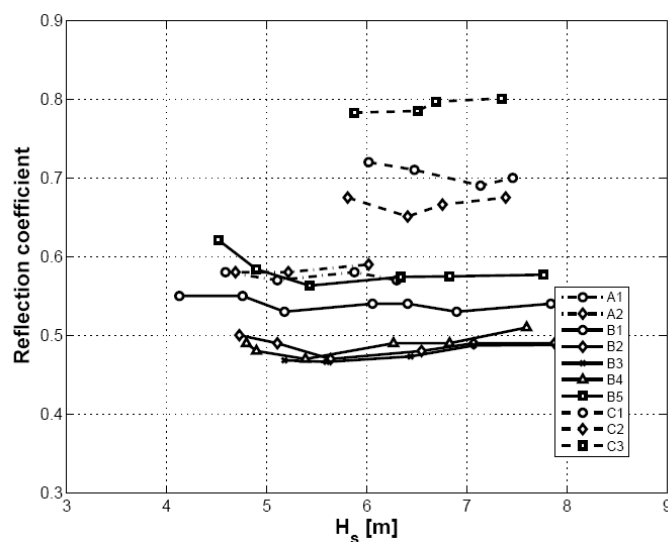
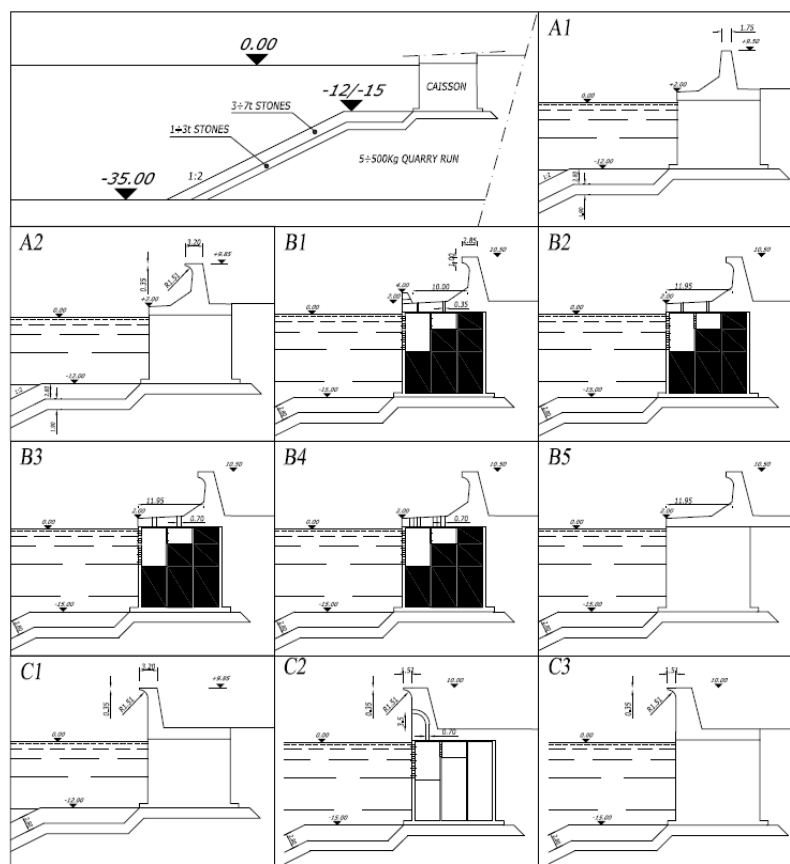


Figura 12-3 - Configurazioni del coronamento delle dighe a parete verticale analoghe a quella della Diga di Voltri e coefficienti di riflessione al variare dell'altezza d'onda, ottenuti da modello fisico

12.2.2 La nuova conterminazione della diga foranea con cella antiriflettente

L'attribuzione del coefficiente di riflessione alla nuova conterminazione della colmata è stata effettuata, ai fini delle simulazioni, tenendo conto della particolare configurazione dell'opera, che si presenta a parete verticale, costituita da cassoni la cui sovrastruttura è caratterizzata nella parte alta da una cella riempita con scogli disposti con pendenza 1 su 2.

La letteratura specializzata a riguardo, basata su prove eseguite su modello fisico, evidenzia che questa particolare configurazione di parete verticale, con cella nella parte alta, determina una riduzione della riflessione del moto ondoso in corrispondenza dell'opera, rispetto al caso di parete verticale fino in sommità.

La stima del coefficiente di riflessione è stata effettuata sulla base dei risultati di alcune prove su modello fisico sviluppate dal Danish Hydraulic Institute.

La sezione analizzata nelle prove, analoga a quella adottata per la nuova conterminazione, e i valori ottenuti per il coefficiente di riflessione al variare dell'altezza d'onda e in particolare del periodo dell'onda, sono riportati in Figura 12-4.

Sulla base delle condizioni meteomarine di progetto, ai fini delle simulazioni è stato cautelativamente attribuito ai cassoni della nuova conterminazione un coefficiente di riflessione variabile tra 0.4 e 0.5, in relazione al tempo di ritorno considerato nelle diverse analisi eseguite.

Il coefficiente di riflessione stimato per la nuova opera di conterminazione rispetta quanto richiesto dall'Autorità Portuale, in merito alla necessità di avere un coefficiente di riflessione inferiore o uguale a 0.5.

Per quanto attiene al lato ovest della nuova conterminazione, ai fini delle simulazioni sono stati adottati due differenti coefficienti di riflessione. Una parte della nuova colmata, infatti, risulta schermata dalla scogliera esistente davanti al lato di ponente dell'attuale conterminazione della zona aeroportuale, pertanto ad essa è stato attribuito il coefficiente usualmente attribuito alle opere a gettata (0.4); la rimanente parte dei cassoni è invece direttamente esposta all'attacco del moto ondoso, dunque per essa è stato considerato un coefficiente di riflessione variabile tra 0.4 e 0.5, come sopra delineato.

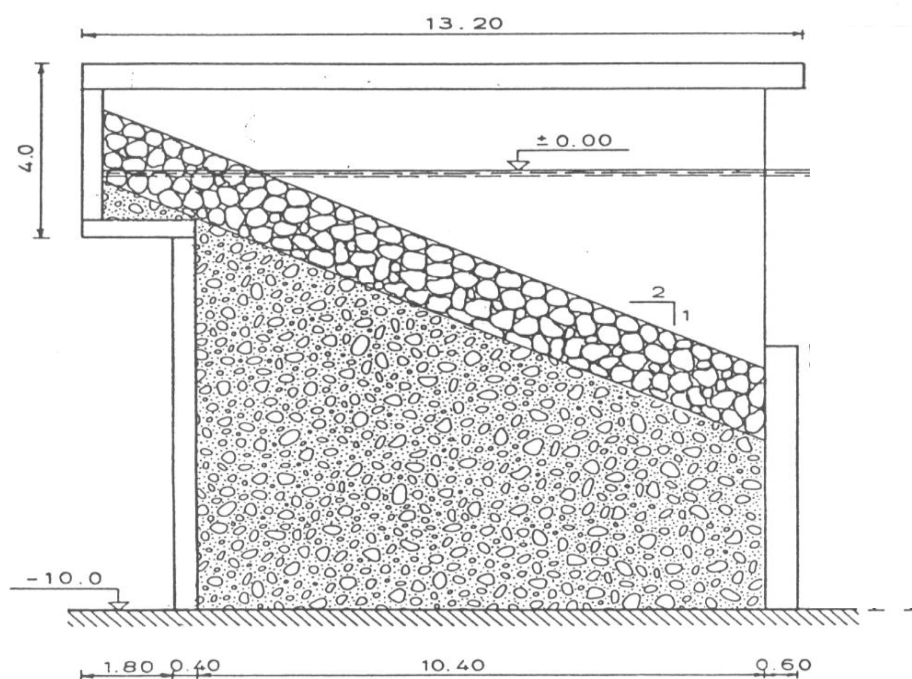
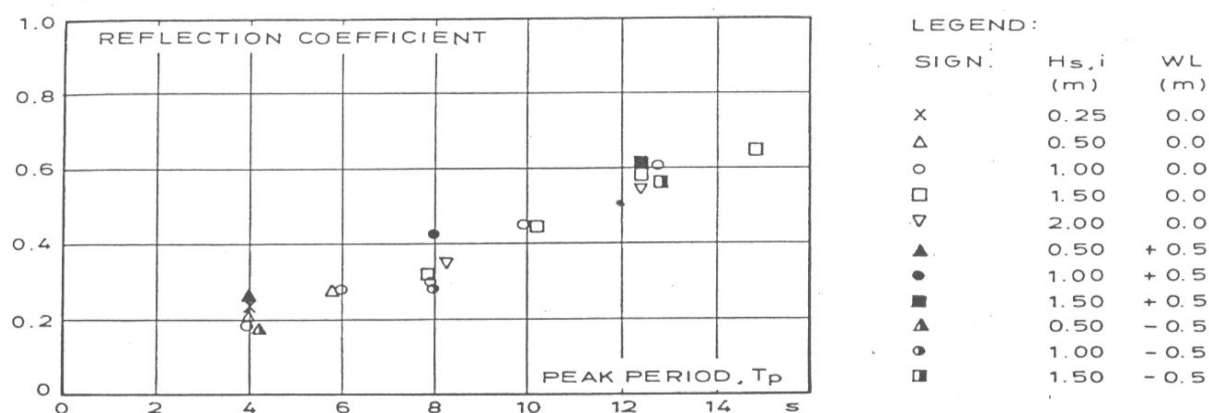


Figura 12-4 - Configurazione della sezione testata su modello fisico, analoga a quella della nuova conterminazione, e coefficienti di riflessione ottenuti dalle prove, al variare del periodo d'onda

12.3 Simulazioni e risultati ottenuti

Le condizioni ondose estreme considerate nelle simulazioni, riferite ai diversi periodi di ritorno di interesse progettuale e valutate in corrispondenza della diga foranea, sono riportate nelle tabelle seguenti.

Tabella 12.1 - Condizioni estreme di moto ondoso di input per il modello Diffrac

TR 200 ANNI

Hs alla diga (m)	Tp (s)	DIR(°)
3.90	9.81	147
4.70	10.09	163
5.60	10.61	183
6.70	11.67	203

TR 20 ANNI

Hs alla diga (m)	Tp (s)	DIR(°)
2.90	8.65	141
3.77	9.02	160
4.42	9.45	182
5.66	10.71	203

TR 10 ANNI

Hs alla diga (m)	Tp (s)	DIR(°)
2.70	8.34	140
3.50	8.68	159
4.10	9.07	182
5.50	10.42	204

TR 5 ANNI

Hs alla diga (m)	Tp (s)	DIR(°)
2.30	7.86	137
3.20	8.31	158
3.70	8.63	182
5.10	10.09	204

TR 1 ANNO

Hs alla diga (m)	Tp (s)	DIR(°)
1.70	6.91	136
2.50	7.38	156
2.90	7.63	181
4.30	9.27	205

Le simulazioni sono state inizialmente eseguite con riferimento al layout 1, che riproduce lo stato di fatto e presenta quindi un canale di calma di larghezza pari a circa 240 m e profondità variabile tra -10.00 m e -15.00 m.

Nelle Figura 12-5 ÷ Figura 12-12 si riportano i risultati delle simulazioni eseguite per lo stato di fatto e per lo stato di progetto: per non appesantire la relazione vengono presentati solo i risultati delle simulazioni relative ad un tempo di ritorno di 200 anni.

I risultati delle simulazioni sono riportati in termini di coefficiente di riduzione da applicare all'altezza d'onda incidente.

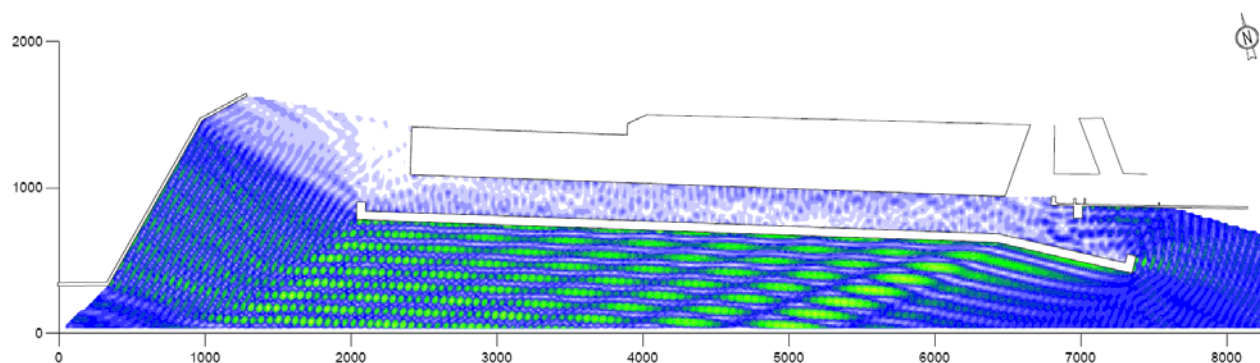


Figura 12-5 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 1 (stato di fatto) - Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=3.9$ m - $T_p=9.8$ s - Dir 147° N

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

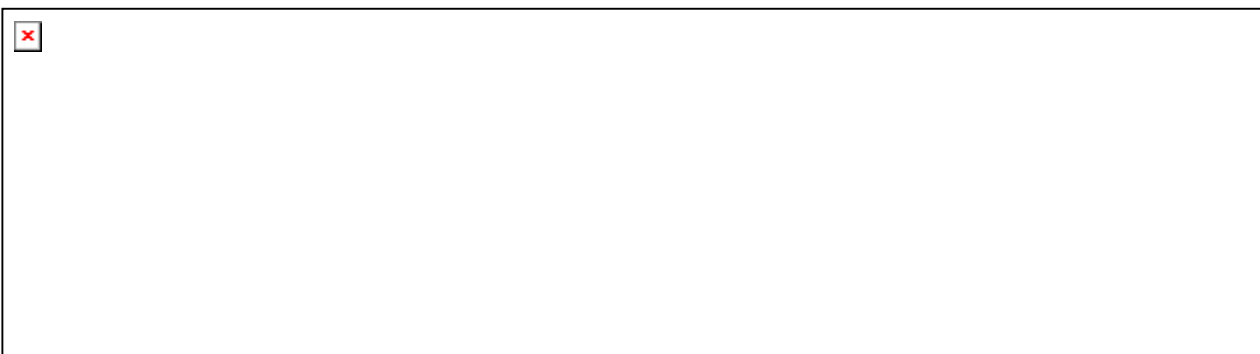
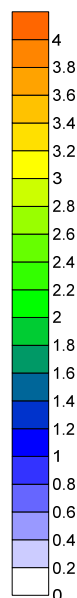


Figura 12-6 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 2 (configurazione di progetto) - Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=3.9$ m - $T_p=9.8$ s - Dir 147° N

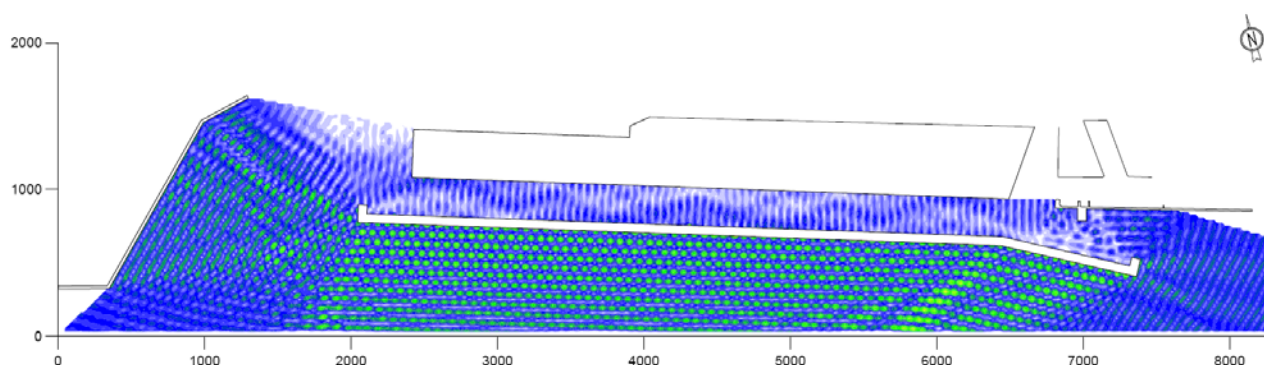


Figura 12-7 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 1(stato di fatto) - Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=4.7$ m - $T_p=10.1$ s - Dir 163°

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

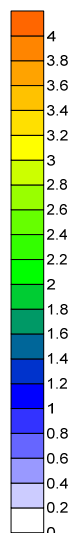


Figura 12-8 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 2 (configurazione di progetto)-Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=4.7$ m - $T_p=10.1$ s - Dir 163°N

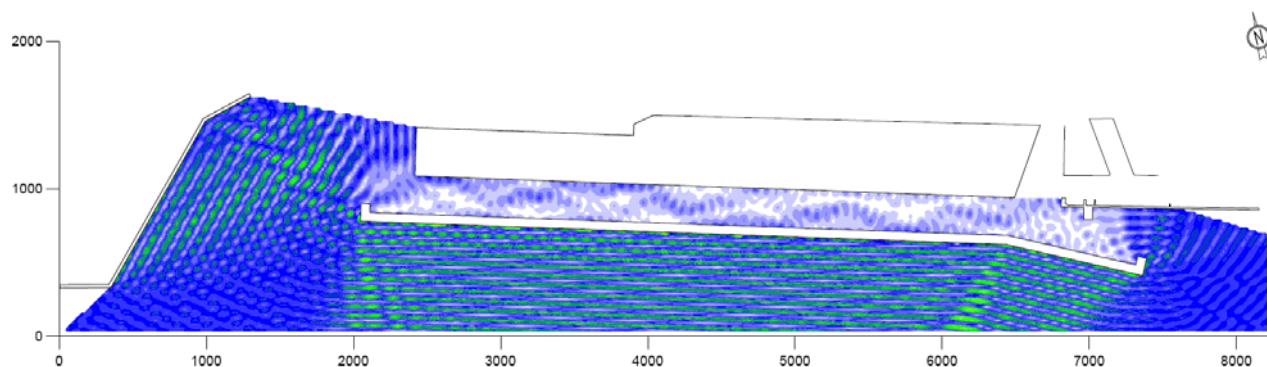


Figura 12-9 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 1 (stato di fatto)-
Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=5.6$ m - $T_p=10.6$ s - Dir 183°

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

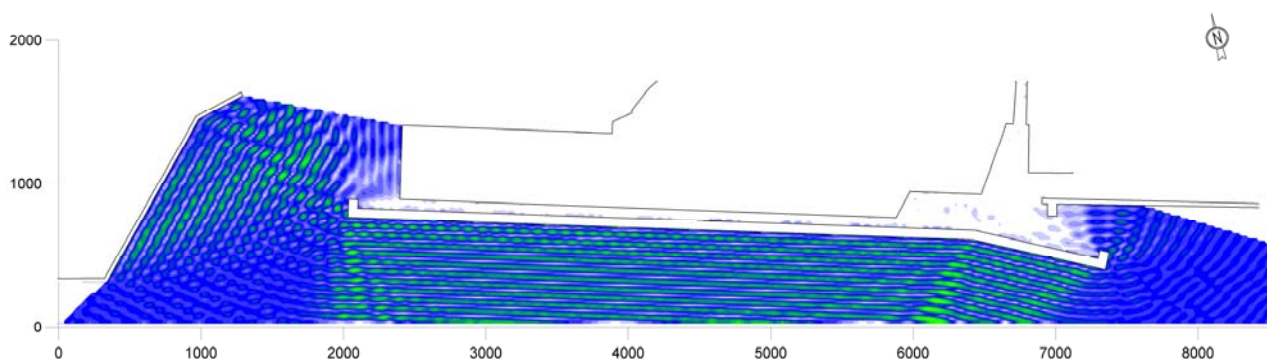
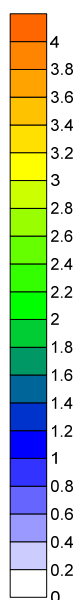


Figura 12-10 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 2 (configurazione
di progetto) - Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=5.6$ m - $T_p=10.6$ s - Dir $183^\circ N$

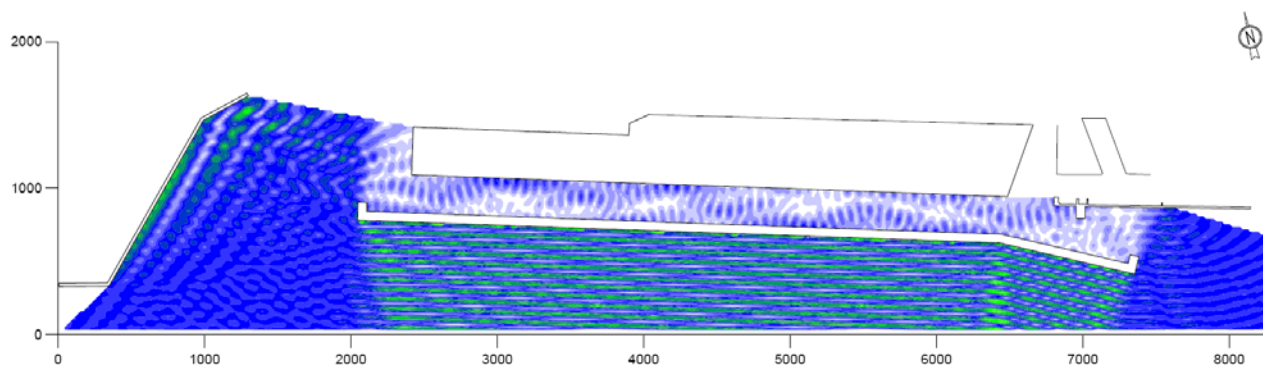


Figura 12-11 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 1 (stato di fatto) - Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=6.7$ m - $T_p=11.7$ s - Dir 203°

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

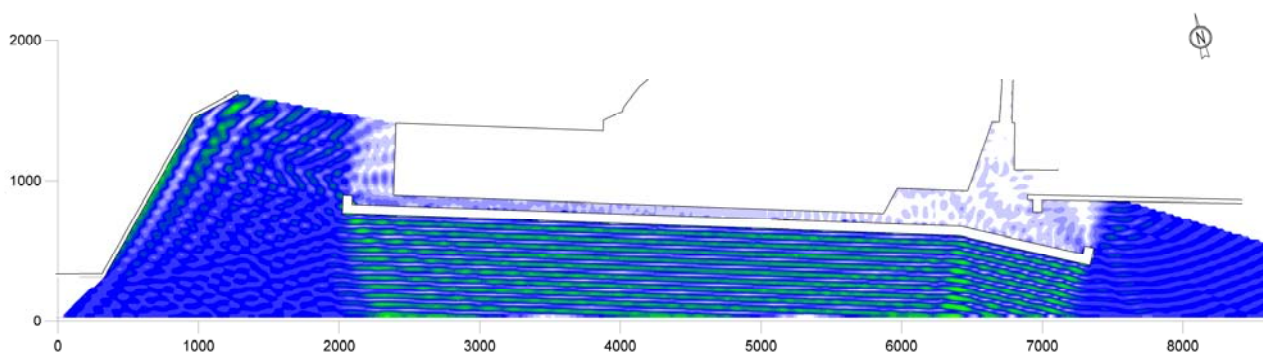
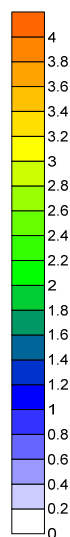


Figura 12-12 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - Layout 2 (configurazione di progetto) - Onda incidente per un $T_r=200$ anni: $H_s=6.7$ m - $T_p=11.7$ s - Dir 203°

I risultati delle simulazioni evidenziano che in entrambe le configurazioni, quella relativa allo stato di fatto e quella di progetto, il moto ondoso incidente che penetra all'interno del canale di calma attraverso le due imboccature, subisce una notevole attenuazione.

All'interno del canale di calma l'agitazione ondosa si presenta maggiormente ridotta nel caso della configurazione di progetto rispetto a quella dello stato di fatto, per effetto della parziale chiusura delle imboccature del canale dovuta alla presenza del nuovo deposito a mare ed inoltre per effetto della riduzione della riflessione dell'onda indotta dalla nuova conterminazione con cella antiriflettente.

Per la configurazione di progetto emerge che il moto ondoso che subisce una minor attenuazione nella propagazione all'interno del canale, è quello che si presenta in prossimità della diga foranea con direzioni prossime a 160° N e a 205° N; la direzione di provenienza del moto ondoso nei confronti della quale il canale risulta maggiormente schermato dalla diga foranea è invece prossima a 180° N.

Si evidenzia a riguardo che il moto ondoso proveniente dalla direzione 160° N si riflette sulla diga di Voltri e tende a penetrare nel canale di calma dall'imboccatura di ponente con maggior facilità rispetto a quello proveniente da altre direzioni; la direzione 160° N rappresenta, pertanto, una delle direzioni più critiche ai fini dell'agitazione ondosa all'interno del canale di calma.

Il moto ondoso proveniente dalle direzioni prossime a 205° N è quello che si presenta all'imboccatura della diga foranea con le maggiori altezze d'onda quindi, pur risentendo meno dell'effetto della riflessione sulla diga di Voltri, determina all'interno del canale un'agitazione ondosa dell'ordine di quella generata dal moto ondoso proveniente dalle direzioni prossime a 160° N.

Dalle simulazioni si evince anche che, in relazione alla zona di levante del canale di calma, gli eventi di moto ondoso che subiscono una minor attenuazione sono quelli provenienti dalle direzioni prossime a 140° N.

12.4 Onde nel canale di calma

L'agitazione ondosa all'interno del canale di calma è stata desunta dalle simulazioni effettuate con il modello Diffrac, i cui risultati sono presentati nei paragrafi precedenti.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori delle altezze d'onda significative per i vari tempi di ritorno d'interesse progettuale, ovvero 5 anni e 20 anni, ai fini della valutazione delle condizioni meteomarine da utilizzare per l'analisi della navigabilità all'interno del nuovo canale.

Tabella 12.2 - Il moto ondoso nel nuovo canale di larghezza 75 m – tempo di ritorno 5 anni

Onda incidente			Onda nel canale
<i>Tr</i>	<i>dir</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>
<i>anni</i>	°N	<i>m</i>	<i>m</i>
5	137	2.3	0.7
	158	3.2	0.8
	182	3.7	0.2
	204	5.1	1.0

Tabella 12.3 - Il moto ondoso nel nuovo canale di larghezza 75 m – tempo di ritorno 20 anni

Onda incidente			Onda nel canale
<i>Tr</i>	<i>dir</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>
<i>anni</i>	°N	<i>m</i>	<i>m</i>
20	141	2.9	0.9
	160	3.8	1.0
	182	4.4	0.3
	203	5.7	1.3

12.5 Onde in corrispondenza delle opere

Le caratteristiche delle onde in corrispondenza delle nuove opere sono state desunte dalle simulazioni effettuate con il modello matematico Diffrac, i cui risultati sono stati presentati nei paragrafi precedenti.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori delle altezze d'onda significative per i vari tempi di ritorno d'interesse progettuale, ai fini delle verifiche della conterminazione della nuova colmata.

Tabella 12.4 - Le onde di progetto in corrispondenza delle nuove opere

Onda incidente				Onda all'opera		
				LATO OVEST	LATO SUD	LATO EST
<i>Tr</i>	<i>dir</i>	<i>Tp</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>
<i>anni</i>	°N	<i>s</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
1	136	6.91	1.70	0.35	0.35	0.30
	156	7.38	2.50	1.40	0.40	0.30
	181	7.63	2.90	0.80	0.00	0.00
	205	9.27	4.30	1.45	0.60	0.00

Onda incidente				Onda all'opera		
				LATO OVEST	LATO SUD	LATO EST
<i>Tr</i>	<i>dir</i>	<i>Tp</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>
<i>anni</i>	°N	<i>s</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
5	137	7.86	2.30	0.45	0.45	0.40
	158	8.31	3.20	1.80	0.55	0.40
	182	8.63	3.70	1.00	0.13	0.00
	204	10.09	5.10	1.75	0.65	0.00

Onda incidente				Onda all'opera		
				LATO OVEST	LATO SUD	LATO EST
<i>Tr</i>	<i>dir</i>	<i>Tp</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>
<i>anni</i>	°N	<i>s</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
10	140	8.34	2.70	0.55	0.55	0.45
	159	8.68	3.50	2.00	0.60	0.45
	182	9.07	4.10	1.05	0.15	0.00
	204	10.42	5.50	1.85	0.75	0.00

Onda incidente				Onda all'opera		
				LATO OVEST	LATO SUD	LATO EST
<i>Tr</i>	<i>dir</i>	<i>Tp</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>
<i>anni</i>	°N	<i>s</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
200	147	9.81	3.90	0.70	0.55	1.10
	163	10.09	4.70	3.25	1.40	0.95
	183	10.61	5.60	2.60	1.15	0.00
	203	11.67	6.70	3.15	2.00	1.30

13 STUDIO DEGLI EFFETTI DELLA NUOVA OPERA IN TERMINI DI MOTO ONDOSO NELL'AREA IN PROSSIMITÀ DELLA BANCHINA ILVA

Il presente capitolo riporta i risultati delle attività modellistiche condotte al fine di analizzare le modifiche indotte dalla cassa di colmata sull'agitazione ondosa nella zona di levante del canale di calma, in relazione all'esigenza di contenere e quantomeno non aumentare l'agitazione ondosa in prossimità della banchina dell'ILVA, allo scopo di non compromettere le attività produttive esistenti.

L'analisi è stata svolta con riferimento a condizioni ondose significative per l'operatività alla banchina e pertanto considerando condizioni ondose corrispondenti a tempi di ritorno di 1 e 5 anni.

13.1 Configurazioni di riferimento: schematizzazioni

Nelle simulazioni effettuate con il modello matematico Diffrac è stata considerata la nuova planimetria di progetto della cassa di colmata, che tiene conto delle osservazioni delle Autorità competenti. In particolare, per definire la configurazione del Lato Est dell'Opera a Mare, è stato considerato l'ingombro planimetrico del bacino di manovra che effettuano "gli spintori" a servizio del naviglio operante sulla banchina "ILVA", come evidenziato in Figura 13-1.

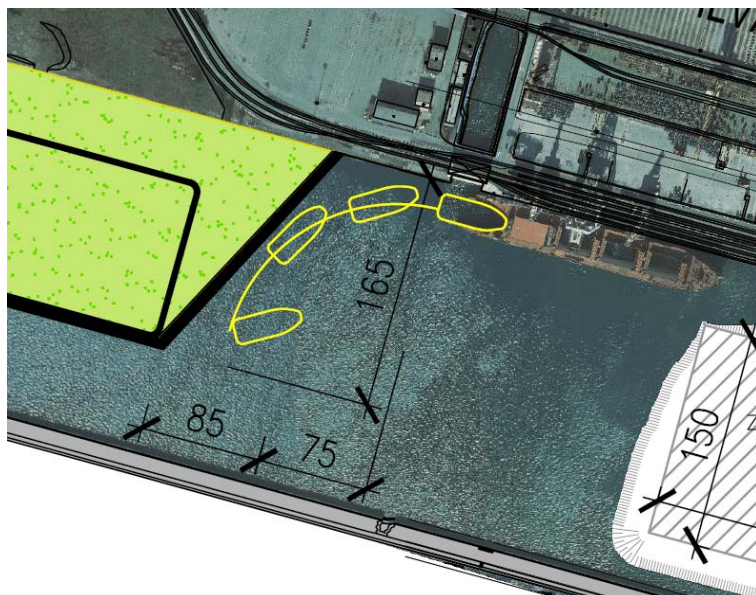


Figura 13-1 - Raffronto ingombro planimetrico Opera a Mare e bacino di manovra "Spintore" a servizio banchina ILVA

Le configurazioni considerate nello studio sono le seguenti:

- Layout 1: stato di fatto - canale di calma largo 240 m;
- Layout 2: canale di calma largo 75 m e configurazione planimetrica della colmata sul lato est come evidenziata in Figura 13-2.

Si fa presente, inoltre, che nella configurazione di progetto si è tenuto conto anche degli interventi in atto all'imboccatura di ponente del bacino portuale di Sampierdarena, conseguente agli interventi programmati sulla calata Derna, in ottemperanza a quanto richiesto dall'Autorità Portuale di Genova.

La griglia di calcolo utilizzata per le simulazioni è stata determinata in funzione del periodo di riferimento delle onde incidenti oggetto di analisi e presenta maglia quadrata 13m x 13m.

Le condizioni ondose di input per il modello, valutate all'imboccatura della diga foranea, sono state ricavate dalle simulazioni eseguite con il modello numerico SWAN, presentate nel cap.10.

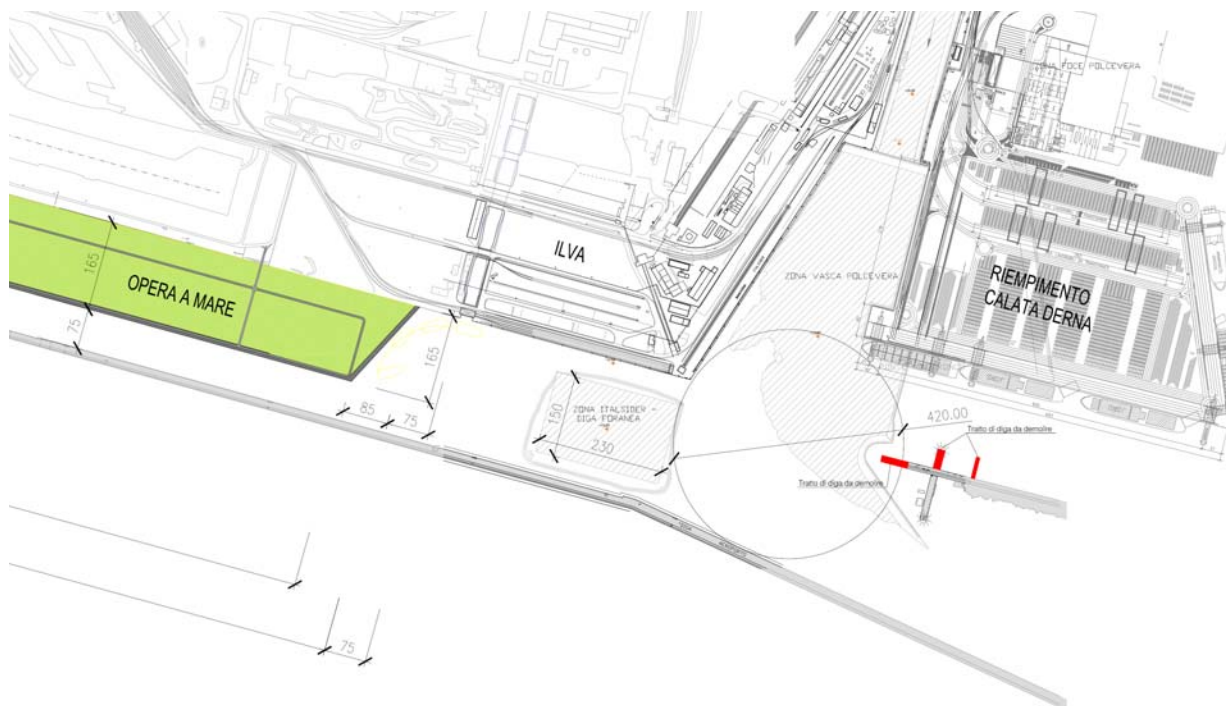


Figura 13-2 - Configurazione di progetto nell'area in prossimità della banchina ILVA

La conterminazione del lato est (così come quella del lato sud) sarà costituita da un'opera a parete verticale (cassone cellulare) dotata nella parte alta di una cella antiriflettente all'interno della quale è collocato del pietrame con la funzione di assorbire l'energia del moto ondoso: tale

accorgimento consente di attribuire all'opera un coefficiente di riflessione di 0.4, secondo quanto indicato e dimostrato al paragrafo 12.2.2.

13.2 Simulazioni e risultati ottenuti

Le condizioni ondose considerate nelle simulazioni, valutate in corrispondenza della diga foranea, riguardano ricorrenze statistiche significative ai fini dell'analisi delle condizioni di operatività, ovvero tempi di ritorno 1 e 5 anni, e sono relative alle direzioni dell'onda in grado di determinare una maggior agitazione in prossimità della banchina dell'ILVA. Le condizioni di moto ondoso di input per il modello Diffrac sono riportate nella tabella seguente.

Tabella 13.1 - Condizioni di moto ondoso di input per il modello Diffrac

TR	Hs alla diga (m)	Tp (s)	DIR(°)
1	1.70	6.91	136
	2.50	7.38	156
5	2.30	7.86	137
	3.20	8.31	158

Nelle Figura 13-3 ÷ Figura 13-6 si presentano a titolo esemplificativo i risultati delle simulazioni eseguite per la configurazione relativa allo stato di fatto e per la configurazione di progetto, relativamente al tempo di ritorno di 5 anni. I risultati delle simulazioni sono riportati in termini di coefficiente di riduzione da applicare all'altezza d'onda incidente.

Dai risultati delle simulazioni presentate si evince che, per quanto riguarda la soluzione di progetto, l'agitazione interna determinata dal moto ondoso proveniente da direzioni prossime a 140° N rimane sostanzialmente invariata rispetto allo stato di fatto, mentre quella associata alle direzioni prossime a 160°N si riduce per effetto della diminuzione, rispetto allo stato di fatto, dell'onda che penetra dall'imboccatura di levante del canale di calma. Il calo dell'agitazione ondosa in prossimità della banchina ILVA è legata alla generale riduzione dell'energia ondosa che si propaga all'interno del canale, determinata anche dalla diminuzione del moto ondoso che penetra nel canale attraverso l'imboccatura di ponente.

Localmente, per la direzione 156° N, si ha un ulteriore beneficio in termini di agitazione ondosa per la configurazione di progetto indotto dalla tipologia di opera.

L'analisi condotta tramite modello matematico porta quindi a concludere che la configurazione di progetto determina in corrispondenza della banchina dell'ILVA un'agitazione ondosa non superiore a quella presente nello stato di fatto.

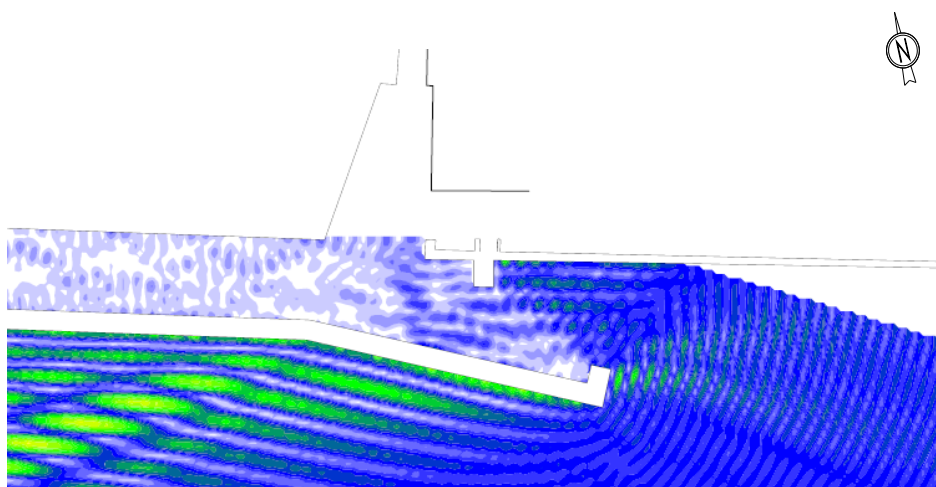


Figura 13-3 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=2.3$ m - $T_p=7.9$ s - Dir 137° N

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

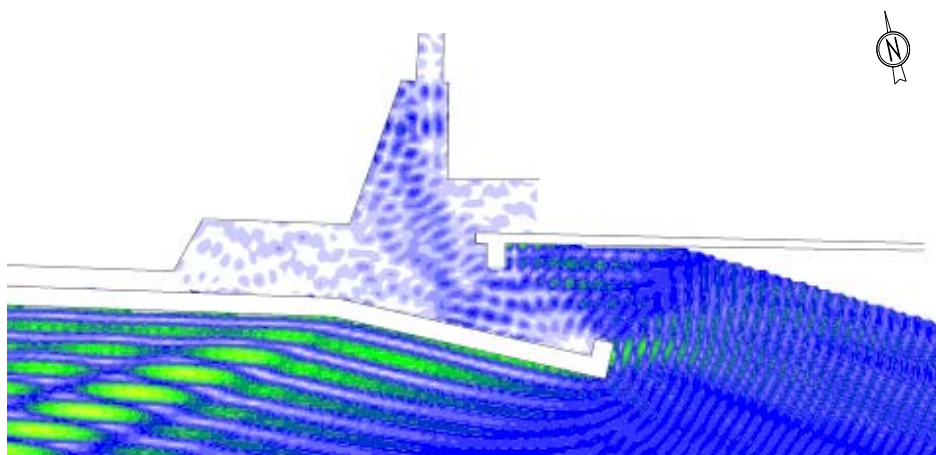
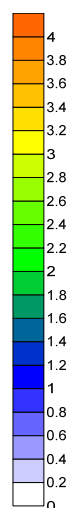


Figura 13-4 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - soluzione di progetto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=2.3$ m - $T_p=7.9$ s - Dir 137° N

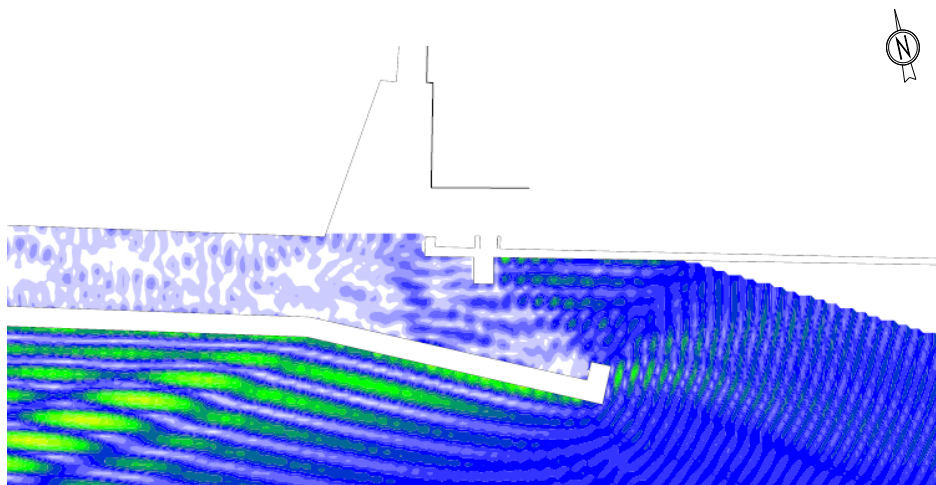


Figura 13-5 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.2$ m - $T_p=8.3$ s - Dir 158° N

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

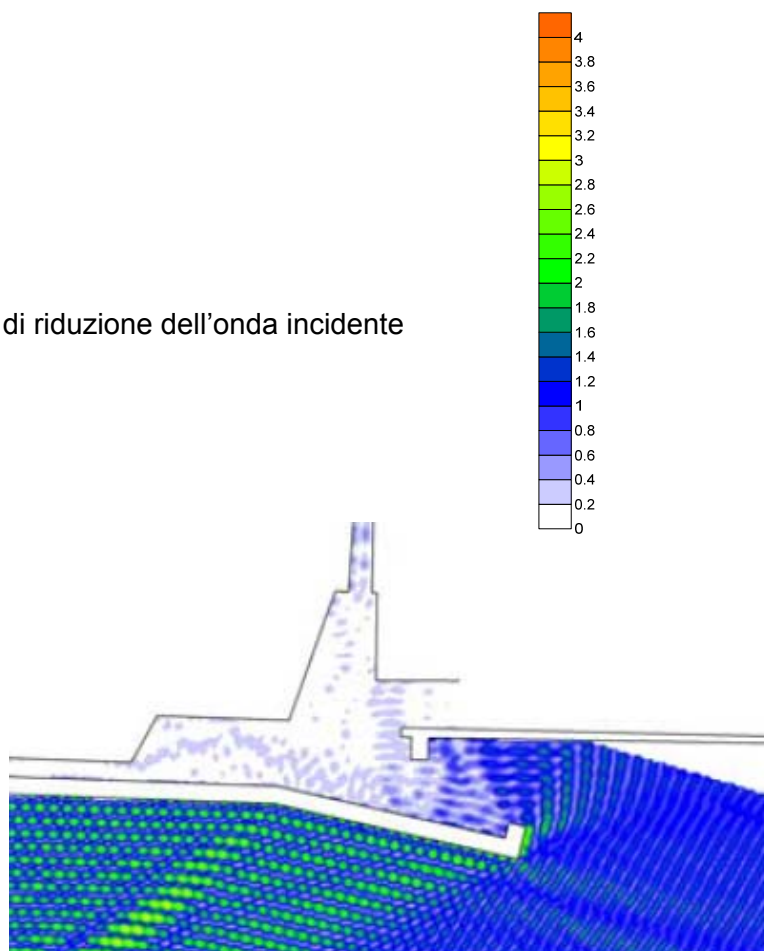


Figura 13-6 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - soluzione di progetto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.2$ m - $T_p=8.3$ s - Dir 158° N

14 STUDIO DEGLI EFFETTI DELLA NUOVA OPERA IN TERMINI DI MOTO ONDOSO NELL'AREA DI ACCESSO AL BACINO DI MULTEDO

Il presente capitolo riporta i risultati delle attività modellistiche condotte al fine di analizzare gli effetti indotti dalla nuova cassa di colmata, in relazione all'esigenza di contenere e quantomeno non aumentare l'agitazione ondosa sul lato ovest del deposito a mare in prossimità dell'area di accesso al bacino di Multedo, allo scopo di non compromettere le attività esistenti.

L'analisi è stata svolta con riferimento a condizioni ondose significative per le condizioni di navigazione e pertanto considerando condizioni ondose corrispondenti a tempi di ritorno di 5 anni e 20 anni.

14.1 Configurazioni di riferimento: schematizzazioni

Nelle simulazioni effettuate con il modello matematico Diffrac è stata considerata la nuova planimetria di progetto della colmata, che tiene conto delle osservazioni delle Autorità competenti, e pertanto sono state considerate le seguenti configurazioni:

- Layout 1: stato di fatto - canale di calma largo 240 m;
- Layout 2: canale di calma largo 75 m e configurazione planimetrica della colmata sul lato ovest come evidenziata in Figura 14-1.

La griglia di calcolo utilizzata per le simulazioni è stata determinata in funzione del periodo di riferimento delle onde incidenti oggetto di analisi ed è la seguente:

- maglia quadrata 13m x 13m per le simulazioni eseguite per le condizioni ondose con tempo di ritorno pari 1 anno.

Le condizioni ondose di input per il modello, valutate all'imboccatura della diga foranea, sono state ricavate dalle simulazioni eseguite con il modello numerico SWAN, presentate nel cap.10.

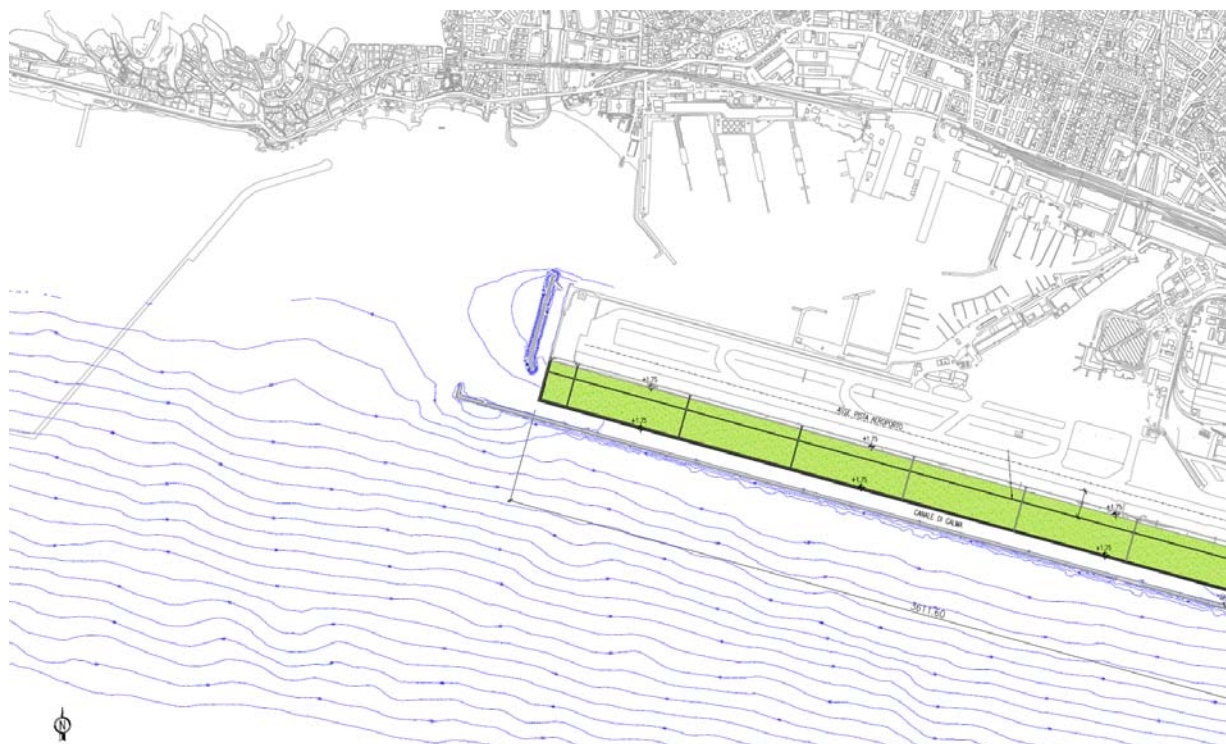


Figura 14-1- Configurazione di progetto in prossimità dell'area di accesso al bacino di Multedo

Il lato di ponente della conterminazione (così come quello a sud) è costituito da un'opera a parete verticale (cassone cellulare) dotata nella parte alta di una cella antiriflettente all'interno della quale viene collocato del pietrame con la funzione di assorbire l'energia del moto ondoso.

Ai fini delle simulazioni, per il lato ovest della cassa di colmata sono stati adottati due differenti coefficienti di riflessione. Una parte della nuova colmata, infatti, risulta schermata dalla scogliera esistente davanti al lato di ponente dell'attuale conterminazione della zona aeroportuale, pertanto ad essa è stato attribuito il coefficiente usualmente attribuito alle opere a gettata (0.4); la rimanente parte dei cassoni è invece direttamente esposta all'attacco del moto ondoso, dunque per essa è stato considerato un coefficiente di riflessione di 0.5, in relazione ai tempi di ritorno d'interesse (5 e 20 anni), secondo quanto indicato e dimostrato al paragrafo 12.2.2.

14.2 Simulazioni e risultati ottenuti

Nelle simulazioni eseguite sono state considerate condizioni ondose, valutate in corrispondenza della diga foranea, che presentano ricorrenze statistiche di interesse ai fini dell'analisi delle condizioni di operatività nel canale di accesso, ovvero tempi di ritorno di 5 e 20 anni.

Le condizioni di moto ondoso di input per il modello Diffrac sono riportate nella tabella seguente, relativamente alle 4 direzioni di incidenza esaminate.

Tabella 14.1 - Condizioni di moto ondoso di input per il modello Diffrac – tempo di ritorno 5 anni

Hs alla diga (m)	Tp (s)	DIR(°)
2.30	7.86	137
3.20	8.31	158
3.70	8.63	182
5.10	10.09	204

Tabella 14.2 - Condizioni di moto ondoso di input per il modello Diffrac – tempo di ritorno 20 anni

Hs alla diga (m)	Tp (s)	DIR(°)
2.90	8.65	141
3.77	9.02	160
4.42	9.45	182
5.66	10.71	203

Nelle Figura 14-2 ÷ Figura 14-9 si presentano i risultati delle simulazioni eseguite per la configurazione relativa allo stato di fatto e per la configurazione di progetto, relative al tempo di ritorno di 5 anni (non si riportano quelle per i 20 anni, che presentano un comportamento analogo, per non appesantire la relazione). I risultati delle simulazioni sono riportati in termini di coefficiente di riduzione da applicare all'altezza d'onda incidente.

Dai risultati delle simulazioni presentate si evince che l'agitazione ondosa all'interno del canale di accesso al bacino di Multedo, in relazione alla configurazione di progetto, rimane sostanzialmente invariata rispetto a quella che caratterizza lo stato di fatto.

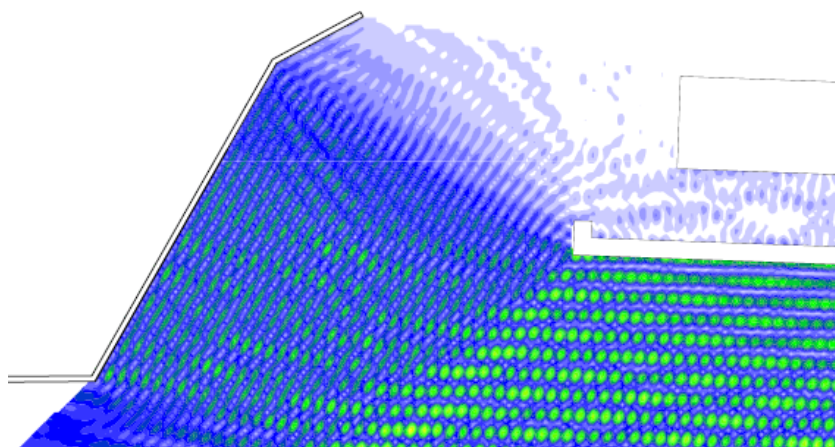


Figura 14-2 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=2.3$ m - $T_p=7.9$ s - Dir 137° N

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

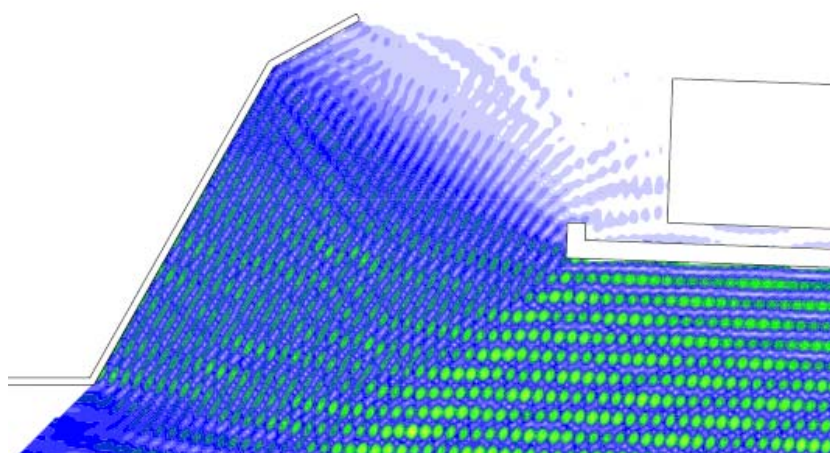
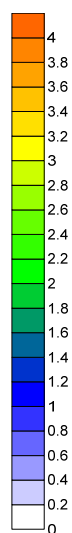


Figura 14-3 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma – soluzione di progetto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=2.3$ m - $T_p=7.9$ s - Dir 137° N

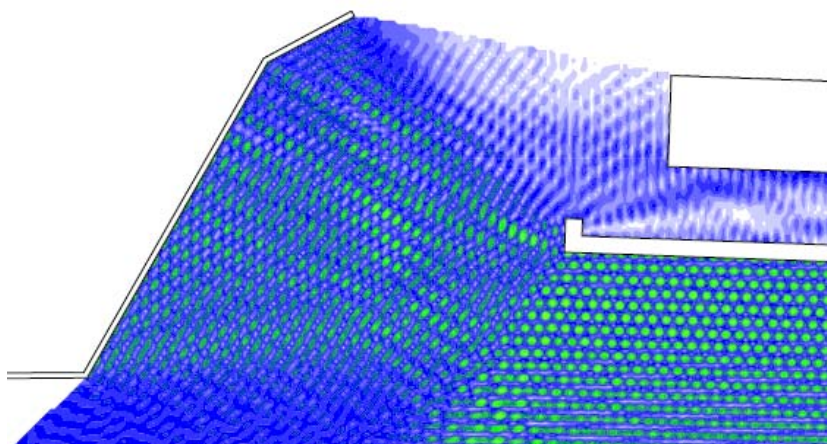


Figura 14-4 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.2$ m - $T_p=8.3$ s - Dir 158° N

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

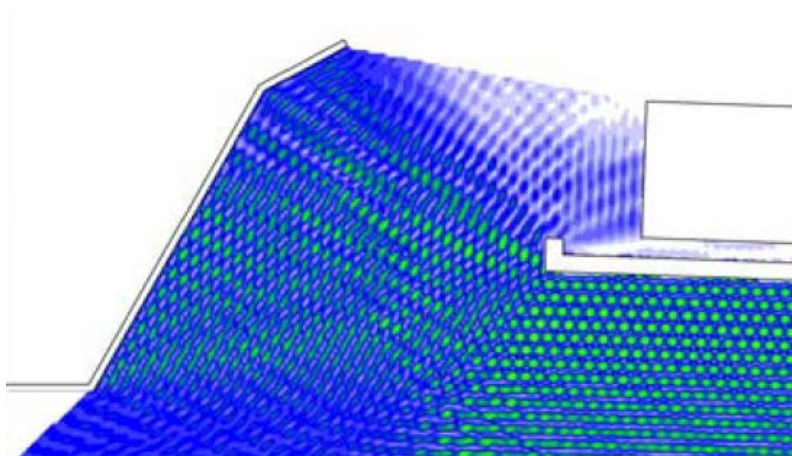
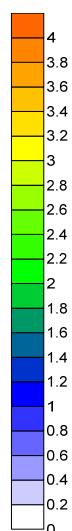


Figura 14-5 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - soluzione di progetto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.2$ m - $T_p=8.3$ s - Dir 158° N

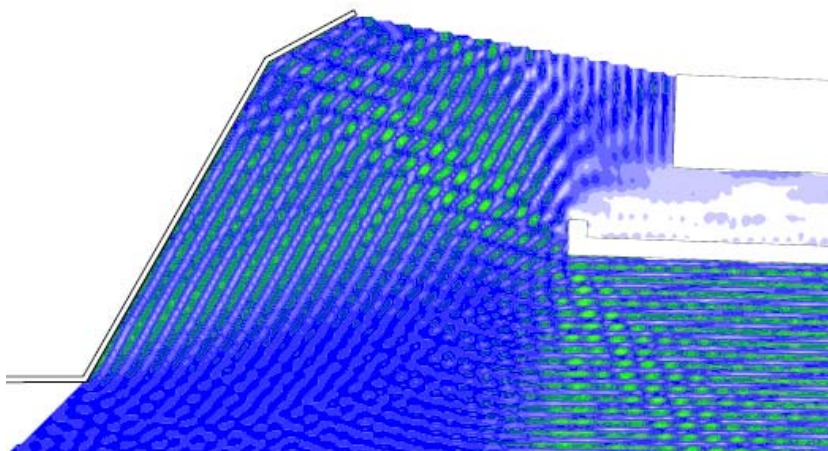


Figura 14-6 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.7$ m - $T_p=8.6$ s - Dir 182° N

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

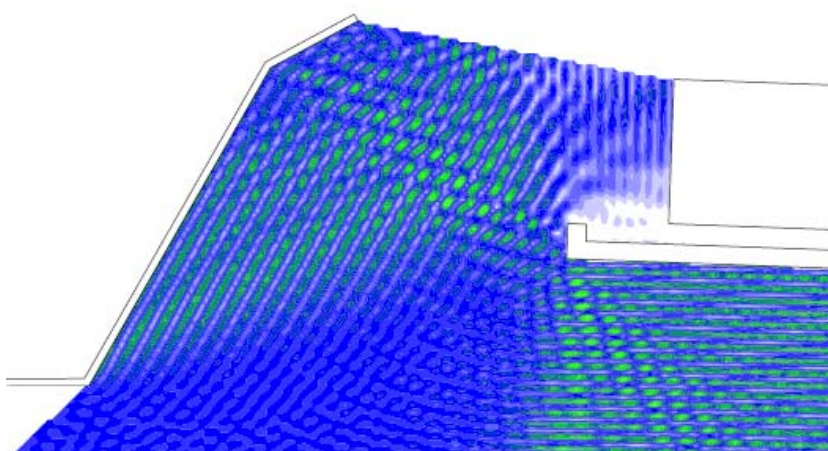
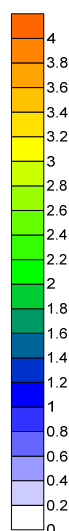


Figura 14-7 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - soluzione di progetto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.7$ m - $T_p=8.6$ s - Dir 182° N

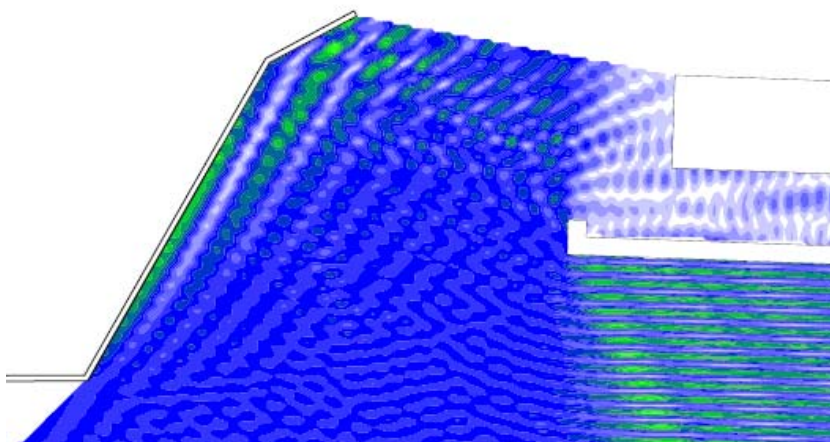


Figura 14-8 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=5.1$ m - $T_p=10.1$ s - Dir 204° N

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

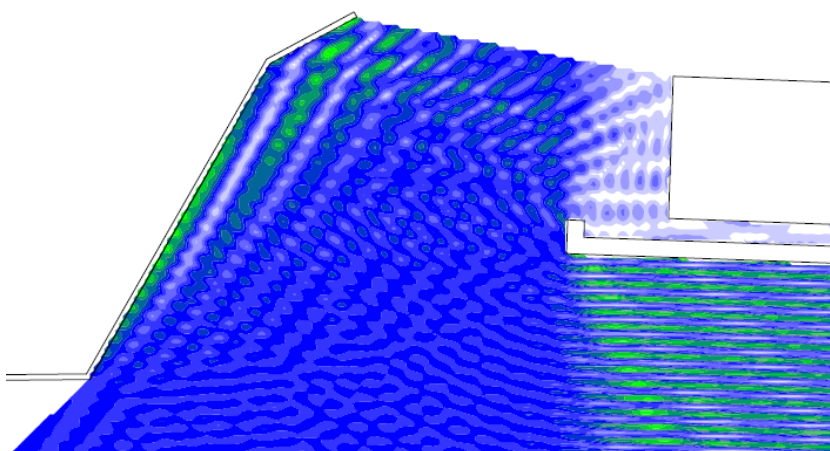
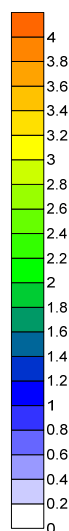


Figura 14-9 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - soluzione di progetto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=5.1$ m - $T_p=10.1$ s - Dir 204° N

15 STUDIO DELLA TRACIMAZIONE DELL'ONDA DALLA DIGA FORANEA ESISTENTE NEL CANALE DI CALMA

Gli effetti della tracimazione dell'onda in relazione alle condizioni di navigabilità del nuovo canale di calma sono stati valutati mediante l'utilizzo di esperienze riportate in letteratura. L'argomento è piuttosto complesso soprattutto se l'analisi è rivolta all'individuazione, a parte i volumi tracimati o l'onda trasmessa, della variazione della portata di tracimazione o dell'onda a tergo del muro di protezione in relazione alla distanza dal muro stesso. Ciò al fine di definire la fascia di canale vicino all'opera di protezione interessata da portate o onde che non consentono una navigazione in sicurezza.

In base a quanto contenuto nella letteratura specifica sull'argomento sono state seguite due strade per individuare l'entità del fenomeno sopra descritto e pertanto definire delle raccomandazioni ai fini di una navigazione in sicurezza nel nuovo canale di calma:

- la valutazione dell'onda trasmessa a tergo di un'opera a parete verticale utilizzando le recenti esperienze di letteratura riportate nella pubblicazione presentata al convegno internazionale 'Coastal structures 2011' a Yokohama : 'Wave loading, overtopping and transmission of low crest caisson breakwaters' di G. Cuomo, W. Allsop et al. (2011);
- la valutazione della portata di tracimazione a tergo di un'opera a parete verticale in relazione alla distanza dal muro di protezione verso il canale utilizzando le seguenti pubblicazioni: 'Field and laboratory measurements of mean overtopping discharges and spatial distributions at vertical seawalls' di Tim Pullen, W. Allsop (2008). Le valutazioni di quest'ultima pubblicazione sono state ulteriormente validate nell'ambito delle esperienze condotte con un approccio numerico e presentate nella pubblicazione 'Spatial distribution of wave overtopping water behind coastal structures' di Zhong Peng, Qing-Ping (2011).

15.1 Valutazione dell'onda trasmessa a tergo della diga foranea esistente

Il primo approccio è stato seguito per determinare l'onda trasmessa a tergo della struttura per effetto della tracimazione che poi è stata combinata con l'onda che penetra attraverso le imboccature a est ed ovest del canale di calma.

Le esperienze effettuate presso il laboratorio HR Wallingford (riportate nella pubblicazione 'Wave loading, overtopping and transmission of low crest caisson breakwaters' di G. Cuomo, W. Allsop et al. del 2011), hanno consentito di ottenere un diagramma che mette in relazione

il coefficiente di trasmissione sopra l'opera di protezione con le caratteristiche geometriche dell'opera a parete verticale e le condizioni di moto ondoso.

Si riporta di seguito il diagramma a cui sono pervenuti gli autori della pubblicazione, che consente di calcolare il coefficiente di trasmissione dell'onda in funzione del rapporto tra quota di cresta del cassone e altezza d'onda in relazione a varie situazioni geometriche del cassone (rapporto tra larghezza del cassone W e altezza del cassone H).

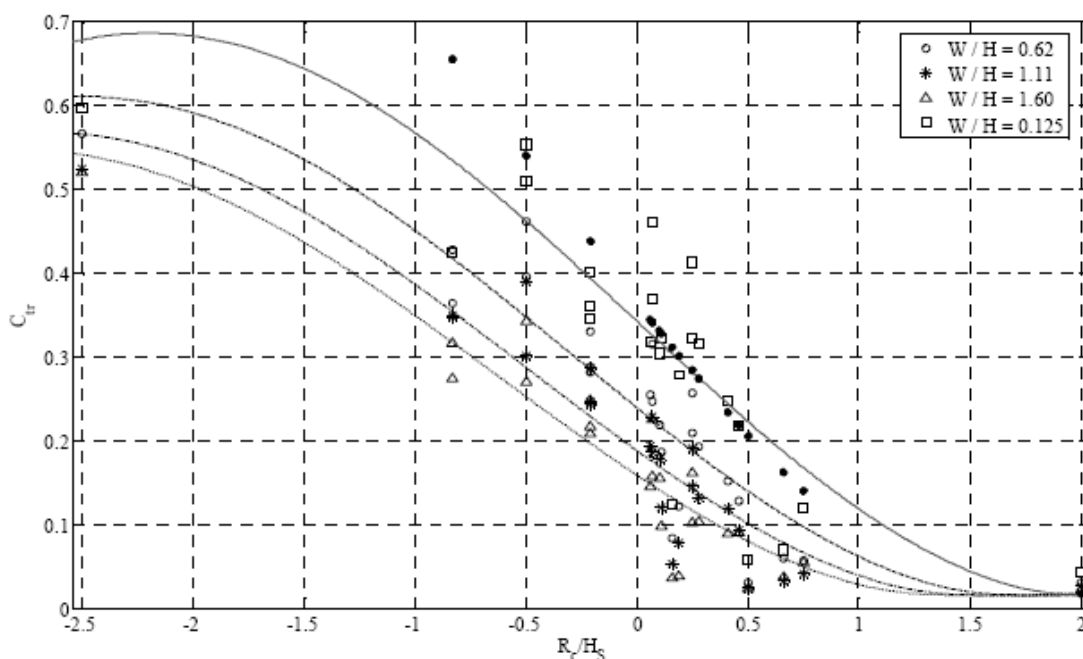
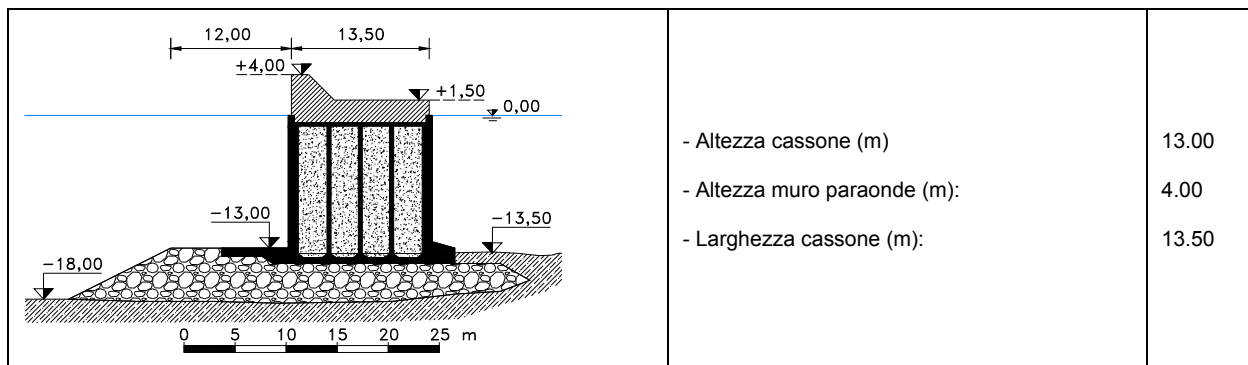


Figura 15-1- Valutazione del coefficiente di trasmissione in funzione delle caratteristiche geometriche del cassone e dell'altezza d'onda

La diga foranea esistente protezione del canale e del rilevato dell'aeroporto è costituita da un cassone cellulare che presenta le seguenti caratteristiche geometriche:



Nel nostro caso si è considerata un'altezza complessiva della protezione (H) pari a 17 m e una larghezza di 13.5 m, che determinano un rapporto di 0.79. Con riferimento al diagramma di Figura 15-1 e interpolando per tenere conto del rapporto W/H pari a 0.79, è stato valutato il coefficiente di trasmissione in relazione ad altezze d'onda caratterizzate da un tempo di ritorno di 5 anni e di 20 anni.

Tabella 15.1- Onda trasmessa per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 5 anni

Onda incidente			Onda trasmessa	
<i>Tr</i>	<i>dir</i>	<i>Hs</i>	<i>Ctr</i>	<i>Hs</i>
<i>anni</i>	°N	<i>m</i>		<i>m</i>
5	137	2.3	0.01	0.02
	158	3.2	0.05	0.14
	182	3.7	0.06	0.22
	204	5.1	0.09	0.46

Tabella 15.2- Onda trasmessa per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 20 anni

Onda incidente			Onda trasmessa	
<i>Tr</i>	<i>dir</i>	<i>Hs</i>	<i>Ctr</i>	<i>Hs</i>
<i>anni</i>	°N	<i>m</i>		<i>m</i>
20	141	2.9	0.04	0.12
	160	3.8	0.06	0.23
	182	4.4	0.07	0.31
	203	5.7	0.10	0.59

I risultati dell'analisi evidenziano che l'opera di protezione esistente consente un significativo abbattimento dell'onda che si trasmette a tergo.

I suddetti valori vanno poi combinati con l'agitazione ondosa che penetra dalle imboccature alle estremità del canale. Pertanto tenendo conto dei valori di altezza d'onda che penetrano attraverso le imboccature all'interno del canale (vedi a riguardo le valutazioni con il modello matematico riportate al paragrafo 12.4), si determinano i seguenti valori complessivi ottenuti facendo la radice quadrata della somma dei quadrati delle altezze d'onda relative ai due fenomeni:

Tabella 15.3- Onda nel canale per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 5 anni

Onda incidente			Onda nel canale
<i>Tr</i>	<i>dir</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>
<i>anni</i>	°N	<i>m</i>	<i>m</i>
5	137	2.3	0.7
	158	3.2	0.8
	182	3.7	0.2
	204	5.1	1.0

Tabella 15.4- Onda nel canale per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 20 anni

Onda incidente			Onda nel canale
<i>Tr</i>	<i>dir</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>
<i>anni</i>	°N	<i>m</i>	<i>m</i>
20	141	2.9	0.9
	160	3.8	1.0
	182	4.4	0.3
	203	5.7	1.3

Si fa notare che i valori più alti di altezza d'onda all'interno del canale si sono ottenuti per le direzioni dell'onda di 182° e 203°N, per cui all'esterno si verificano altezze d'onda di 4.4 m e 5.7 m che rappresentano condizioni proibitive per una navigazione in sicurezza delle imbarcazioni di progetto dagli approdi di competenza (Pegli, Sestri Ponente, Multedo, Voltri) fino alle imboccature del canale.

I suddetti valori di altezza d'onda nel canale in relazione ai due differenti tempi di ritorno (rappresentativi quello di 5 anni di condizioni ordinarie e quello di 20 anni di condizioni gravose) sono stati comunque utilizzati per la verifica del nuovo canale ai fini di una navigazione in sicurezza per le imbarcazioni di progetto (vedi a riguardo il capitolo 16) .

15.2 Valutazione della portata di tracimazione in relazione alla distanza dal muro di protezione

Il calcolo delle portate medie di tracimazione della diga foranea, al variare del tempo di ritorno, è stato effettuato utilizzando la relazione proposta nella pubblicazione del TAW (Technical Advisory Commity for water Retaining Structures, Delft, 2002).

La formula generale indicata per il calcolo della portata media di tracimazione delle opere a parete verticale è la seguente:

$$q = A\sqrt{gH_s^3} \exp\left(-B \frac{1}{\gamma_\beta \gamma_v} \frac{R_c}{H_s}\right)$$

in cui:

- H_s = altezza d'onda significativa incidente sulla struttura;
- R_c = quota di coronamento sul livello in quiete;
- γ_β = fattore di riduzione per onda incidente obliqua;
- γ_v = fattore di riduzione legato alla geometria della struttura;
- A, B = coefficienti empirici.

Per i coefficienti A e B vengono assunti cautelativamente i seguenti valori (TAW, 2002b): $A = 0.13$; $B = 3.00$. Le caratteristiche geometriche della diga di protezione sono riportate nel paragrafo precedente.

Il calcolo delle portate medie di tracimazione è stato implementato attraverso il software BREAKWAT ver. 3.2.0, sviluppato da WL | Delft Hydraulics; in Tabella 15.5 si riportano i risultati ottenuti per le onde incidenti sulla diga di protezione con un tempo di ritorno di 20 anni, che è la condizione più gravosa ai fini delle verifiche per la navigazione.

Tabella 15.5 - Portate medie di tracimazione per onde con tempo di ritorno 20 anni

Onda incidente				Portata di tracimazione
Tr	dir	Tp	Hs	q
anni	°N	s	m	$m^3/s\ m$
20	141	8.7	2.9	0.0208
	160	9.0	3.8	0.1489
	182	9.5	4.4	0.3242
	203	10.7	5.7	0.8048

Le portate di tracimazione sono caratterizzate da valori significativi in corrispondenza del muro paraonde posto sul lato mare del cassone. Si fa comunque notare a riguardo che i valori più alti di portata di tracimazione all'interno del canale si sono ottenuti per le direzioni dell'onda di 182° e 203°N, per cui all'esterno si verificano altezze d'onda di 4.4 m e 5.7 m che rappresentano condizioni proibitive per una navigazione in sicurezza delle imbarcazioni di progetto dagli approdi di competenza (Pegli, Sestri Ponente, Multedo, Voltri) fino alle imboccature del canale.

Si è quindi valutata la variazione della portata di tracimazione nell'area a tergo in relazione alla distanza dal muro paraonde, utilizzando le esperienze presentate nella pubblicazione 'Field and laboratory measurements of mean overtopping discharges and spatial distributions at vertical seawalls di Tim Pullen, W. Allsop del 2008. Le esperienze di laboratorio presentate nella suddetta pubblicazione sono state condotte per una parete verticale a protezione di un'area d'interesse a tergo.

Queste esperienze hanno evidenziato in particolare la variazione del volume di tracimazione mano mano che ci si sposta verso terra (verso il canale nel nostro caso), tenendo conto anche dell'effetto della presenza di condizioni di vento avverse.

Nel diagramma di Figura 15-2 è presentata la variazione del volume di tracimazione in funzione del rapporto tra la distanza dal muro paraonde (landward distance x) e la lunghezza d'onda al largo (Lo). In ordinata del diagramma è riportato il volume di tracimazione cumulato (rapportato con il volume totale) mano mano che si procede lungo la distanza x , pertanto dalla lettura del grafico si può notare che in assenza di vento il volume di tracimazione interessa una fascia relativa a $x/Lo=0.17$, pertanto presenta da tale distanza ($x/Lo=0.17$) verso terra il volume di tracimazione diventa nullo.

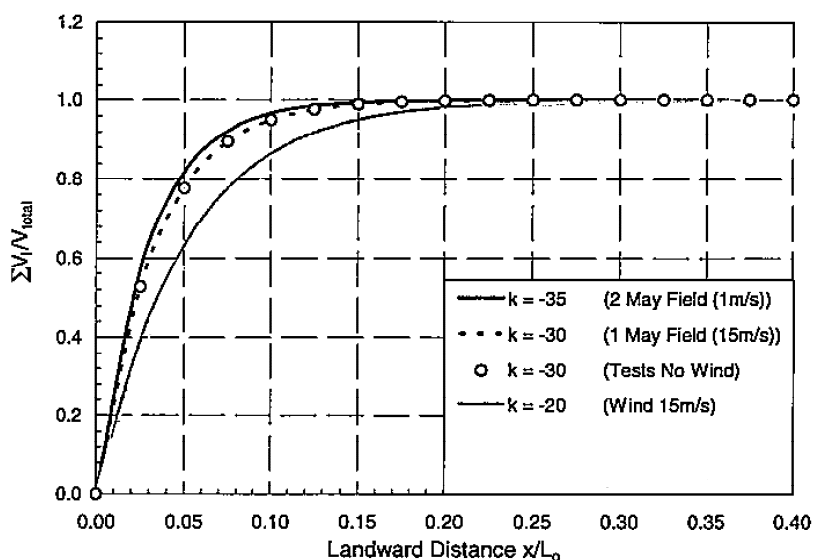


Figura 15-2- Valutazione della variazione del volume di tracimazione in funzione della distanza dal muro di protezione (landward distance x)

Utilizzando il suddetto diagramma è stata valutato il volume di tracimazione (in relazione al volume totale) in corrispondenza del filo lato terra della diga di protezione ($x=13.5$ m) , in funzione delle altezze d'onda con tempo di ritorno 20 anni (vedi Tabella 15.6).

Tabella 15.6 - Rapporto tra il volume di tracimazione in corrispondenza del filo interno del cassone ($x=13.5$ m) e il volume totale al muro paraonde per onde con tempo di ritorno 20 anni

Onda incidente				Tracimazione		
Tr	dir	Tp	Hs	x/L_0	$\Sigma V/V_{tot}$	$\Sigma V/V_{tot}$
anni	°N	s	m	m	senza vento	con vento
20	141	8.7	2.9	0.20	100%	98%
	160	9.0	3.8	0.18	100%	96%
	182	9.5	4.4	0.16	98%	94%
	203	10.7	5.7	0.13	95%	91%

Dalle suddette valutazioni si può notare che il volume di tracimazione riguarda per buona parte la larghezza della diga di protezione, nel caso peggiore con presenza di vento oltre la larghezza del cassone e pertanto nel canale rimane il 9% del volume totale. Si è poi rifatto lo stesso calcolo facendo riferimento ad una fascia di 5 m (all'interno del canale) oltre la larghezza del cassone, per una distanza complessiva di 18.5 m (vedi Tabella 15.7 seguente).

Tabella 15.7 - Rapporto tra il volume di tracimazione in corrispondenza di un limite posto a 5 m dal filo interno del cassone ($x=18.5$ m) e il volume totale al muro paraonde per onde con tempo di ritorno 20 anni

Onda incidente				Tracimazione		
Tr	dir	Tp	Hs	x/Lo	$\Sigma V/V_{tot}$	$\Sigma V/V_{tot}$
anni	°N	s	m	m	senza vento	con vento
20	141	8.7	2.9	0.27	100%	100%
	160	9.0	3.8	0.25	100%	100%
	182	9.5	4.4	0.22	100%	99%
	203	10.7	5.7	0.17	100%	97%

La suddetta valutazione evidenzia che oltre la fascia di canale di larghezza 5 m (verso terra) il volume di tracimazione è caratterizzato da valori assai modesti, nel caso peggiore con presenza di vento pari a circa il 3% del valore totale.

Sulla base dei risultati ottenuti, in via cautelativa si ritiene opportuno prevedere una fascia di canale aderente al lato interno al cassone, di larghezza 5 m, da non considerare ai fini della larghezza complessiva del canale utile ai fini di una navigazione in sicurezza.

15.3 Conclusioni e raccomandazioni

Il fenomeno della tracimazione sulla diga esistente è stato esaminato mediante due approcci in base a quanto contenuto nella letteratura specializzata sull'argomento, per definire delle raccomandazioni ai fini di una navigazione in sicurezza nel nuovo canale di calma:

- la valutazione dell'onda trasmessa a tergo di un'opera a parete verticale utilizzando le recenti esperienze di letteratura riportate nella pubblicazione presentata al convegno internazionale 'Coastal structures 2011' a Yokohama : 'Wave loading, overtopping and transmission of low crest caisson breakwaters' di G. Cuomo, W. Allsop et al. (2011);
- la valutazione della portata di tracimazione a tergo di un'opera a parete verticale in relazione alla distanza dal muro di protezione verso il canale utilizzando le seguenti pubblicazioni: 'Field and laboratory measurements of mean overtopping discharges and spatial distributions at vertical seawalls' di Tim Pullen, W. Allsop (2008). Le valutazioni di quest'ultima pubblicazione sono state ulteriormente validate nell'ambito delle esperienze condotte con un approccio numerico e presentate nella pubblicazione 'Spatial distribution of wave overtopping water behind coastal structures' di Zhong Peng, Qing-Ping (2011).

Nel primo caso le valutazioni effettuate hanno mostrato che l'onda trasmessa combinata con quella che penetra dalle imboccature del canale, è caratterizzata da valori massimi di 1-1.5 m in funzione del tempo di ritorno. Questi valori sono stati utilizzati per la verifica delle caratteristiche geometriche del canale ai fini di una navigazione in sicurezza (vedi capitolo 16).

Riguardo all'approccio che valuta la variazione del volume di tracimazione lungo la sezione trasversale della diga e del canale, si è visto che il volume di tracimazione interessa per buona parte (97% del valore totale) una fascia a tergo del muro paraonde del cassone di larghezza 18.5 m, pertanto la larghezza del cassone di 13.5 m più una fascia di canale di larghezza 5 m.

Si ritiene opportuno in via cautelativa prevedere che una fascia di 5 m di canale aderente al cassone non venga considerata ai fini della navigazione e che pertanto si consideri una larghezza utile del canale ai fini di una navigazione in sicurezza di 70 m. Questa raccomandazione è stata considerata nell'ambito delle verifiche delle caratteristiche geometriche del canale ai fini di una navigazione in sicurezza (vedi capitolo 16).

16 ANALISI DELLA NAVIGABILITA' NEL NUOVO CANALE DI CALMA E DEI FENOMENI IDRAULICI GENERATI DAL PASSAGGIO DEI NATANTI

Il nuovo deposito di materiali a mare consente da un lato l'ampliamento dell'area aeroportuale e dall'altro comporta la riduzione della larghezza del canale di calma, per il quale si è proceduto a verificare la compatibilità con le funzioni antropiche esistenti.

In tal senso è stato assunto alla base del dimensionamento del nuovo canale di calma il criterio fondamentale di mantenere l'attività di navigazione nel canale stesso secondo le modalità oggi esistenti.

Il restringimento del canale di navigazione determina anche una serie di effetti che vanno attentamente studiati al fine di procedere ad una corretta valutazione sia delle condizioni di navigazione sia della stabilità delle opere di conterminazione del deposito di materiale. In riferimento alla stabilità delle opere è importante valutare gli effetti idrodinamici generati dal transito delle imbarcazioni all'interno del canale di navigazione, in termini di onde, correnti di ritorno e livello idrico.

16.1 L'attività di navigazione esistente nel canale di calma

La navigazione all'interno del canale compreso tra la banchina sud dell'aeroporto e la diga foranea è disciplinata dal "Regolamento di sicurezza e dei servizi marittimi del Porto di Genova" (ed. 2006), emanato dalla Capitaneria di Porto di Genova, che all'art. 53 dispone anche che:

"Alle navi ed ai galleggianti in genere è interdetta la navigazione lungo il canale compreso fra la banchina sud dell'aeroporto e la diga foranea dello stesso. E' fatta eccezione per le unità dei vari servizi portuali dirette o provenienti dagli scali di Sestri Ponente, di Multedo e Voltri, a condizione che non superino l'altezza massima di ingombro, alberatura compresa, di dieci metri dal galleggiamento e che procedano con rotta radente la diga foranea, a velocità moderata e comunque non superiore alle sei miglia orarie. Le unità fornite di alberatura, per transitare in detto canale nelle ore notturne, dovranno tenere in testa all'albero più alto un fanale a luce rossa, visibile dall'alto e da tutti i punti dell'orizzonte. Le unità, giunte all'altezza della testata di ponente del terrapieno dell'aeroporto, dovranno passare ad ovest della boa numero 33, situata a circa 250 metri dalla predetta testata. Le navi ed i galleggianti che ormeggiano agli accosti dei ponti Libia, Canepa e Ronco non dovranno, in nessun caso,

superare le altezze massime di ingombro, alberatura compresa (dal livello medio del mare), di seguito specificate:

- *Ponte Libia – Canepa – Ronco Levante: mt. 52*
- *Ponte Ronco Ponente: mt. 37*

Le navi ed i galleggianti diretti agli accosti situati sulla sponda destra della foce del Polcevera, non potranno superare l'altezza massima di ingombro, (alberatura compresa), di 31 metri dal livello del mare. Le navi e i galleggianti diretti alla banchina situata nel canale di calma, a sud del relativo terrapieno, non potranno superare l'altezza massima d'ingombro, (alberatura compresa), di 26 metri sul livello del mare, né addentrarsi nel canale di calma dell'aeroporto oltre il limite fissato in 400 metri dallo spigolo sud-est del terrapieno in questione."

Nel successivo art. 69 (Limiti alla navigazione) si specifica, inoltre, che è ammesso il transito anche alle unità da diporto (purchè di altezza inferiore ai 10 m) e alle unità utilizzate per il canottaggio; nel primo caso le unità devono navigare a motore e tenersi il più possibile lontane dal terrapieno aeroportuale, nel secondo caso le imbarcazioni di canottaggio debbono tenersi a 30 m dalla diga foranea.

In particolare i traghetto, catamarani, motonavi adibite al trasporto pubblico sono autorizzati a circolare nel canale di calma, collegando Genova Pegli al Porto Antico.

Tra i natanti autorizzati al transito nel canale di calma vi sono anche i rimorchiatori del Corpo dei Piloti, dei Rimorchiatori Riuniti e del Gruppo Antichi Ormeggiatori del Porto di Genova.

In Tabella 16.1 si riportano le caratteristiche delle principali imbarcazioni ammesse a circolare all'interno del canale di navigazione antistante l'aeroporto di Genova.

Dalle informazioni raccolte i suddetti mezzi possono circolare anche a velocità superiori ai 6 nodi , pertanto in deroga a quanto previsto nel Regolamento di sicurezza e dei servizi marittimi del Porto di Genova.

Tabella 16.1 - Caratteristiche delle navi che transitano nel canale: motonavi, catamarani

Flotta	Lunghezza L _{OA} (m)	Larghezza (m)	Pescaggio D (m)	Velocità (nodi)
<u>I Barcaioni delle Grazie s.r.l.</u>				
MARTINICA	16.18	4.08	n.d.	10
HOBBY SECONDO	12.07	3.41	n.d.	10
SHARK	9.18	3.28	n.d.	10
<u>Cooperativa Battellieri</u>				
ONDA AZZURRA	29.9	7.20	2.50	n.d.
LA SUPERBA	28.7	7.10	n.d.	n.d.
<u>Alimar</u>				
MAREXPRESS	26.70	9.00	1.70	18
RODI JET	28.62	6.35	1.60	19
NEPTUNUS	19.40	5.06	1.40	16
DIAMANTE	16.30	4.56	1.20	19
RUBINO	11.06	3.30	1.10	20

Tabella 16.2 - Caratteristiche delle navi che transitano nel canale: rimorchiatori

Flotta	Lunghezza L _{OA} (m)	Larghezza (m)	Pescaggio D (m)	Velocità (nodi)
Corpo dei Piloti del Porto di Genova				
ARIEL	12.29	3.25	n.d.	n.d.
PEGASO	12.29	2.84	n.d.	n.d.
TRITONE	12.29	2.84	n.d.	n.d.
SKIRON	11.30	3.04	n.d.	n.d.
NEREIDE II	10.79	3.02	n.d.	n.d.
Rimorchiatori Riuniti del Porto di Genova				
GR GRIFO	15.50	4.10	0.90/1.25	8.0
FO FORTE	10.45	3.40	1.20	8.7
88 BRASILE	26.93	9.12	4.70	12.0
90 IRLANDA	26.93	9.12	4.70	12.0
92 GIAPPONE	26.93	9.12	4.70	12.0
94 OLANDA	26.91	9.10	4.78	12.0
95 BELGIO	26.91	9.10	4.78	12.0
96FINLANDIA	26.91	9.10	4.78	12.0
97 AMERICA	26.91	9.10	4.78	12.0
98 GRECIA	29.95	10.20	5.25	12.0
99 FRANCIA	29.95	10.20	5.25	12.0
100 SVEZIA	27.50	11.50	6.00	13.5
101 INGHILTERRA	27.50	11.50	6.00	13.5
102 MESSICO	36.65	13.60	7.00	14.2
103 NORVEGIA	24.40	11.25	5.80	12.0
104 SPAGNA	24.40	11.25	5.80	12.0
Gruppo Antichi Ormeggiatori Porto Genova				
ORMEGGIATORE XII	8.20	2.38	n.d.	8.0
ORMEGGIATORE XVII	10.60	3.01	n.d.	10.0
ORMEGGIATORE XXI	6.08	2.02	n.d.	4.0
ORMEGGIATORE 26	7.88	2.26	n.d.	8.0
ORMEGGIATORE XXVII	7.88	2.62	n.d.	8.0
ORMEGGIATORE XXIX	7.75	2.75	n.d.	8.0
ORMEGGIATORE 30	8.90	3.00	n.d.	10.0
ORMEGGIATORE 32	8.40	3.00	n.d.	12.0
ORMEGGIATORE 33	7.77	2.93	n.d.	14.0
ORMEGGIATORE 34	7.77	2.93	n.d.	14.0
DELFINO 1°	8.27	3.32	n.d.	25.0

16.2 La sicurezza della navigazione all'interno del canale di calma

Il fenomeno dello “*squat*” consiste nelle variazioni d’immersione ed assetto di un natante che naviga in bassi fondali e in canali ristretti, specie in prossimità della condizione critica (passaggio da regime dislocante a regime planante). Il fenomeno è pericoloso sia perché può causare strisciamenti della carena sul fondo sia perché può dar luogo a movimenti trasversali che influenzano la manovrabilità e l’efficienza del timone.

Con la diminuzione del franco sotto chiglia si riduce la sezione di passaggio dell’acqua che di conseguenza aumenta la sua velocità; l’accelerazione subita dall’acqua fa variare il campo di pressione, generando le variazioni d’immersione e d’assetto nonché l’aumento di resistenza del natante in transito.

I fenomeni sono tanto più evidenti quanto maggiore è il rapporto tra la sezione trasversale immersa di massima area del natante e la sezione del canale ed assumono aspetti differenti al variare della velocità di transito delle imbarcazioni.

Nel caso in esame l’opera di progetto non va ad alterare la profondità del canale di calma, che presenta mediamente un valore di circa 13 m ed il rapporto tra la profondità del canale e il pescaggio delle navi che vi transitano si mantiene elevato anche in riferimento alle navi di dimensioni maggiori, le cui caratteristiche sono state precedentemente riportate in Tabella 16.1.

Si può concludere che nella configurazione prevista dal presente intervento il fenomeno dello “*squat*” non subisce incrementi e non va quindi a compromettere la sicurezza della navigazione all’interno del canale.

Un altro aspetto da considerare ai fini della sicurezza della navigazione nei canali è legato al fatto che un’eventuale diminuzione della larghezza del canale di transito determina un aumento del “*bank effect*”; si tratta dello stesso effetto idrodinamico che avviene per lo “*squat*”, solo che in questo caso l’interazione è con la sponda del canale.

L’aumento della velocità relativa nave-acqua al lato della murata comporta uno squilibrio tra le pressioni a prua e a poppa (pressioni maggiori verso prua e minori lungo tutta la restante murata fino a poppa), causando una virata della nave che tende progressivamente ad avvicinare la poppa alla conterminazione, fino al rischio di collisione.

Questo aspetto verrà considerato nel dimensionamento della larghezza del canale che viene approfondito e presentato nel paragrafo seguente.

16.3 Verifica della larghezza del nuovo canale

Il deposito a mare oggetto del presente intervento determinerà un restringimento del canale di calma che separa la diga foranea dall'aeroporto di Genova; al fine di verificare che i requisiti necessari per una navigazione in condizioni di sicurezza rimangano soddisfatti anche nella configurazione progettuale, si è effettuato il dimensionamento della larghezza del canale secondo le linee guida riportate nel Bollettino del PIANC n°95 del giugno 1997 '*Approach channel - a guide for design*', in riferimento alle caratteristiche delle navi che vi possono transitare (Tabella 16.1).

La larghezza al fondo del canale, nel caso di circolazione a senso unico (Figura 16-1), viene determinata tramite la seguente relazione:

$$w = w_{BM} + \sum_{i=1}^n w_i + w_{Br} + w_{Bg}$$

che per un canale a doppio senso di circolazione diventa:

$$w = 2w_{BM} + 2\sum_{i=1}^n w_i + w_{Br} + w_{Bg} + w_p$$

in cui

w_{BM} = larghezza minima di manovra;

w_i = incremento di larghezza per canali rettilinei determinato da fattori ambientali e condizioni di navigazione;

w_{Br}, w_{Bg} = incrementi di larghezza che tengono conto del "*bank effect*";

w_p = incremento di larghezza per canali a doppio senso di circolazione.

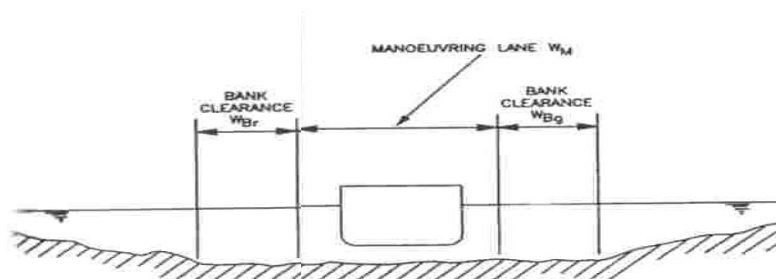


Figura 16-1 - Canale con circolazione a senso unico

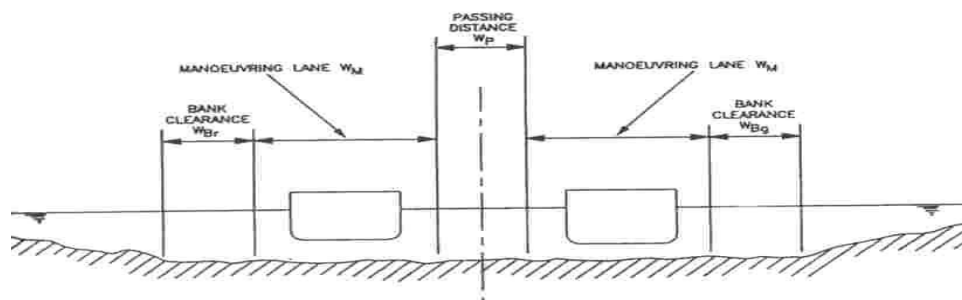


Figura 16-2 - Canale a doppio senso di circolazione

I diversi termini che concorrono alla determinazione della larghezza del canale sono determinati sulla base delle indicazioni riportate nelle tabelle di seguito presentate, tratte dalle linee guida precedentemente citate.

Tabella 16.3 - Larghezza minima di manovra

Ship Manoeuvrability	good	moderate	poor
Basic Manoeuvring Lane, w_{BM}	1.3 B	1.5 B	1.8 B

Tabella 16.4 - Incremento di larghezza per canali rettilinei determinato da fattori meteomarinari, ambientali e dalle condizioni di navigazione

WIDTH w_i	Outer Channel exposed to open water	Inner Channel protected water
(a) Vessel speed (knots)		
- fast > 12	0.1 B	0.1 B
- moderate > 8 - 12	0.0	0.0
- slow 5 - 8	0.0	0.0

WIDTH w_i	Vessel Speed	Outer Channel exposed to open water	Inner Channel protected water
(b) Prevailing cross wind (knots)			
- mild ≤ 15 ($\leq$ Beaufort 4)	all	0.0	0.0
- moderate > 15 - 33 (> Beaufort 4 - Beaufort 7)	fast	0.3 B	-
	mod	0.4 B	0.4 B
	slow	0.5 B	0.5 B
- severe > 33 - 48 (> Beaufort 7 - Beaufort 9)	fast	0.6 B	-
	mod	0.8 B	0.8 B
	slow	1.0 B	1.0 B
(c) Prevailing cross current (knots)			
- negligible < 0.2	all	0.0	0.0
- low 0.2 - 0.5	fast	0.1 B	-
	mod	0.2 B	0.1 B
	slow	0.3 B	0.2 B
- moderate > 0.5 - 1.5	fast	0.5 B	-
	mod	0.7 B	0.5 B
	slow	1.0 B	0.8 B
- strong > 1.5 - 2.0	fast	0.7 B	-
	mod	1.0 B	-
	slow	1.3 B	-
(d) Prevailing longitudinal current (knots)			
- low ≤ 1.5	all	0.0	0.0
- moderate > 1.5 - 3	fast	0.0	-
	mod	0.1 B	0.1 B
	slow	0.2 B	0.2 B
- strong > 3	fast	0.1 B	-
	mod	0.2 B	0.2 B
	slow	0.4 B	0.4 B
(e) Significant wave height H_s and length λ (m)			
- $H_s \leq 1$ and $\lambda \leq L$	all	0.0	0.0
- $3 > H_s > 1$ and $\lambda \approx L$	fast	≈ 2.0 B	
	mod	≈ 1.0 B	
	slow	≈ 0.5 B	
- $H_s > 3$ and $\lambda > L$	fast	≈ 3.0 B	
	mod	≈ 2.2 B	
	slow	≈ 1.5 B	
WIDTH w_i		Outer Channel exposed to open water	Inner Channel protected water
(f) Aids to Navigation			
- excellent with shore traffic control		0.0	0.0
- good		0.1 B	0.1 B
- average, visual and ship board, infrequent poor visibility		0.2 B	0.2 B
- average, visual and ship board, frequent poor visibility		≥ 0.5 B	≥ 0.5 B
(g) Bottom surface			
- if depth ≥ 1.5 T		0.0	0.0
- if depth < 1.5 T then			
- smooth and soft		0.1 B	0.1 B
- smooth or sloping and hard		0.1 B	0.1 B
- rough and hard		0.2 B	0.2 B
(h) Depth of waterway			
- ≥ 1.5 T		0.0	≥ 1.5 T 0.0
- 1.5 T - 1.25 T		0.1 B	< 1.5 T- 1.15 T 0.2 B
- < 1.25 T		0.2 B	< 1.15 T 0.4 B
(i) Cargo hazard level			
- low		0.0	0.0
- medium		≥ 0.5 B	≥ 0.4 B
- high		≥ 1.0 B	≥ 0.8 B

Tabella 16.5 - Classificazione della pericolosità del carico (vedi punto i tabella precedente)

CATEGORY	CARGO
Low	Dry bulk, break bulk, containers, passengers, general freight, trailer freight
Medium	Oil in bulk
High	Aviation spirit, LPG, LNG, chemicals of all classes

Tabella 16.6 - Incremento di larghezza per canali a doppio senso di circolazione

PASSING DISTANCE w_p	Outer Channel exposed to open water	Inner Channel protected water
Vessel speed (knots)		
- fast > 12	2.0 B	-
- moderate > 8 - 12	1.6 B	1.4 B
- slow 5 - 8	1.2 B	1.0 B
Encounter traffic density		
- light	0.0	0.0
- moderate	0.2 B	0.2 B
- heavy	0.5 B	0.4 B

CATEGORY	TRAFFIC DENSITY (vessel/hour)
Light	0 - 1.0
Moderate	> 1.0 - 3.0
Heavy	> 3.0

Tabella 16.7 - Incrementi di larghezza che tengono conto del "bank effect"

WIDTH for BANK CLEARANCE (w_b or w_{b1})	Vessel Speed	Outer Channel exposed to open water	Inner Channel protected water
Sloping channel edges and shoals :			
	fast	0.7 B	-
	moderate	0.5 B	0.5 B
	slow	0.3 B	0.3 B
Steep and hard embankments, structures :			
	fast	1.3 B	-
	moderate	1.0 B	1.0 B
	slow	0.5 B	0.5 B

Note : Referring to the design ship :
 B = Beam
 L = Length
 T = Draught

Per il calcolo della larghezza del canale si è fatto riferimento alle seguenti imbarcazioni di progetto:

- la motonave per il trasporto pubblico Mare Express di lunghezza 26.7 m , larghezza 9.0 m e pescaggio 2.5 m (il cui transito può essere previsto a 2 sensi di circolazione);
- i rimorchiatori Svezia e Inghilterra di lunghezza 27.50 m, larghezza 11.5 m e pescaggio 6.00 m (il cui transito può essere previsto a 2 sensi di circolazione).
- il rimorchiatore Messico di lunghezza 36.65 m, larghezza 13.6 m e pescaggio 7.00 m, che è l'unico mezzo con queste caratteristiche dimensionali più significative e viene considerato alla stregua di un mezzo 'eccezionale' con transito a senso unico di circolazione.

Si sono considerate varie velocità di transito: 8 nodi (slow), 12 nodi (moderate) e maggiore di 12 nodi (fast) (vedi Tabella 16.4).

Riguardo alle condizioni meteomarine si sono considerate in ottemperanza a quanto richiesto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:

- per il moto ondoso un'altezza d'onda nel canale ricorrente con tempo di ritorno 5 anni ($H_s = 1$ m) e più gravosa con tempo di ritorno 20 anni (H_s compresa tra 1 e 3 m); quest'ultima condizione rappresenta una scelta molto cautelativa perché a questa altezza d'onda comunque corrisponderebbero altezze d'onda all'esterno del canale troppo elevate per una navigazione in sicurezza;
- per il vento una velocità in condizioni frequenti con tempo di ritorno 5 anni (velocità = 33 nodi) e più gravose con tempo di ritorno 20 anni (velocità = 45 nodi); quest'ultima condizione corrisponde alla classe più elevata ('*severe condition*', vedi Tabella 16.4);
- per le correnti, un valore basso inferiore a 1,5 nodi (come si può desumere dalle simulazioni idrodinamiche), che rappresenta la classe '*low condition*' (vedi Tabella 16.4).

Si è inoltre ipotizzato che le imbarcazioni di progetto siano caratterizzate da una 'good' manovrabilità (secondo la classificazione del PIANC riportata in Tabella 16.3).

Sulla base delle suddette condizioni, sono stati verificati 5 scenari per il calcolo della larghezza minima del canale:

1. transito a 2 sensi di circolazione per nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie (per varie velocità di transito da 8 nodi a maggiore di 12 nodi);

2. transito a 2 sensi di circolazione per rimorchiatori Svezia e/o Inghilterra in condizioni meteomarine ordinarie (per varie velocità di transito da 8 nodi a maggiore di 12 nodi);
3. transito a 2 sensi di circolazione per nave bus Mare Express e rimorchiatore Svezia o Inghilterra in condizioni meteomarine ordinarie (per varie velocità di transito da 8 nodi a maggiore di 12 nodi).
4. transito a 1 senso di circolazione per rimorchiatore Messico in condizioni meteomarine gravose (per velocità di transito da 8 nodi a maggiore di 12 nodi);
5. transito a 1 senso di circolazione per nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie e gravose (per velocità di transito maggiori di 12 nodi).

Nella Tabella 16.8 sono sintetizzati i risultati del calcolo in termini di larghezza minima del canale per i suddetti 5 scenari considerati.

Sulla base di quanto valutato nel capitolo 15, si è raccomandato di non considerare in via cautelativa ai fini di una navigazione in sicurezza una fascia aderente alla diga di 5 m, pertanto la larghezza del canale utile per la navigazione diventa pari a 70 m.

Sulla base di quanto riportato in Tabella 16.8 si possono dedurre le seguenti conclusioni:

- per il nave bus che transita in condizioni meteomarine ordinarie e in doppio senso di circolazione è necessario un canale di larghezza 63 m per una velocità massima di 12 nodi; per velocità maggiori di 12 nodi non garantite condizioni di sicurezza in quanto è necessario disporre di un canale di larghezza maggiore di 70 m (vedi scenario 1);
- per il nave bus sono garantite le condizioni di sicurezza per la navigazione nel canale di 70 m a senso unico di circolazione, in condizioni meteomarine sia ordinarie che gravose, per velocità superiori ai 12 nodi (vedi scenario 5);
- per il rimorchiatore di progetto (Svezia o Inghilterra) che transita in condizioni meteomarine ordinarie e in doppio senso di circolazione è necessario un canale di larghezza 67 m per una velocità massima di 8 nodi; per velocità maggiori di 8 nodi non possono essere garantite condizioni di sicurezza in quanto è necessario disporre di un canale di larghezza maggiore di 70 m (vedi scenario 2);
- per il rimorchiatore di progetto (Messico) che transita in condizioni meteomarine gravose e senso unico di circolazione sono invece garantite le condizioni di sicurezza per la navigazione nel canale di 70 m fino a velocità di transito massime di 8 nodi (scenario 4);
- per il nave bus e il rimorchiatore (Svezia o Inghilterra) che transitano in condizioni meteomarine ordinarie e ovviamente in doppio senso di circolazione è necessario un

canale di larghezza 67 m per una velocità massima di transito di 8 nodi per il rimorchiatore e di 12 nodi per il navebus; in presenza di velocità di transito è necessario disporre di una larghezza del canale superiore ai 70 m (scenario 3).

In conclusione la larghezza utile del canale di navigazione di 70 m consente:

- in condizioni meteomarine ordinarie e a doppio senso di circolazione, il transito in sicurezza del nave bus di progetto (Mare Express) fino ad una velocità di 12 nodi e del rimorchiatore di progetto (Svezia o Inghilterra) fino ad una velocità di 8 nodi.
- in condizioni meteomarine gravose e ad 1 senso di circolazione, il transito in sicurezza del nave bus (Mare Express) anche con velocità maggiori di 12 nodi;
- in condizioni meteomarine gravose e ad 1 senso di circolazione, il transito in sicurezza del rimorchiatore di progetto (Messico) fino ad una velocità di 8 nodi.

Si evidenzia infine che le raccomandazioni contenute nel PIANC sono normalmente cautelative e pertanto si ritiene che rispetto alle conclusioni sopra presentate possa esserci un ulteriore margine per il transito in sicurezza delle imbarcazioni di progetto, che potrebbe essere valutato mediante l'esecuzione di simulazioni delle manovre di navigazione nel canale in 'real time'.

Tabella 16.8 - Larghezza del canale minima per i vari scenari considerati

Scenario (n°)	Condizione meteomarina	Tipologia natante	Velocità max natante (nodi)	Tipologia canale	Larghezza canale (m) (*)
1a	ordinaria	Nave bus	8	2 sensi	52
1b	ordinaria	Nave bus	12	2 sensi	63
1c	ordinaria	Nave bus	> 12	2 sensi	72
2a	ordinaria	rimorchiatore	8	2 sensi	67
2b	ordinaria	rimorchiatore	12	2 sensi	81
2c	ordinaria	rimorchiatore	> 12	2 sensi	92
3a	ordinaria	Rimorch./nave bus	8	2 sensi	59
3b	ordinaria	Rimorch./nave bus	8/12	2 sensi	67
3c	ordinaria	Rimorch./nave bus	12	2 sensi	72
3d	ordinaria	Rimorch./nave bus	>12	2 sensi	82
4a	gravosa	rimorchiatore	8	1 senso	51
4b	gravosa	rimorchiatore	12	1 senso	71
4c	gravosa	rimorchiatore	> 12	1 senso	90
5a	ordinaria	Nave bus	> 12	1 senso	39
5b (**)	gravosa	Nave bus	> 12	1 senso	61

Note:

(*): in grassetto rosso sono evidenziate le larghezze del canale superiori a 70 m, in grassetto nero le larghezze del canale inferiori a 70 m.

(**): Nell'ambito dello scenario 5 è stata considerata una condizione aggiuntiva (non richiesta) nell'intento di fornire ulteriori informazioni per la regolamentazione delle modalità di transito nel canale.

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto (Navebus)

Lunghezza fuori tutto (L_{oa})	26.7	m
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})	25.37	m
Larghezza (B)	9.00	m
Pescaggio (T)	1.70	m

Profondità del canale

Il rapporto "profondità/pescaggio" deve essere pari ad almeno 1.10 in acque protette, a 1.3 in acque con onde max da 1 m e 1.5 m in acque con onde ancor più alte, con periodi e direzioni di provenienza sfavorevoli. Tali valori tengono conto dello squat e delle incertezze di dragaggio e rilievo.

2.2 m

Profondità canale 13.00 m

Larghezza del canale

Bacino di manovra (W_M) 1.3

Manovrabilità della nave g 1.3

"Bank effect" (W_B) 1

Tipo di sponda (dx) b 0.5

Tipo di sponda (sx) b 0.5

Condizioni ambientali ordinarie (W_i) 0.5

Velocità della nave 8 nodi 0.0

Velocità del vento trasversale 33 nodi 0.5

Velocità corrente trasversale 0 nodi 0.0

Velocità corrente longitudinale 0.5 nodi 0.0

Altezza d'onda significativa 1 m 0.0

Condizioni di navigazione a 0.0

Tipo di fondale s 0.0

Profondità del canale 0 0.0

Pericolosità del carico 1 0.0

Larghezza al fondo del canale con circolazione a senso unico = 25 m

Rapporto w/b = 2.8

Canali a doppio senso di circolazione (W_p) 1.2

Velocità dei passaggi (da "Velocità della nave" già specificata sopra) 1.2

Densità di traffico 1 0

Larghezza al fondo del canale a doppio senso di circolazione = 52 m

Figura 16-3 - Scenario 1a: larghezza del canale a 2 sensi per nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natante fino a 8 nodi

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto (Navebus)

Lunghezza fuori tutto (L_{oa})	26.7	m
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})	25.37	m
Larghezza (B)	9.00	m
Pescaggio (T)	1.70	m

Profondità del canale

Il rapporto "profondità/pescaggio" deve essere pari ad almeno 1.10 in acque protette, a 1.3 in acque con onde max da 1 m e 1.5 m in acque con onde ancor più alte, con periodi e direzioni di provenienza sfavorevoli. Tali valori tengono conto dello squat e delle incertezze di dragaggio e rilievo.

Nel caso in esame il valore consigliato di profondità è:

2.2 m

Profondità canale	13.00	m
-------------------	-------	---

Larghezza del canale

Bacino di manovra (W_M)		1.3
Manovrabilità della nave		1.3

"Bank effect" (W_B)		2
Tipo di sponda (dx)	b	1
Tipo di sponda (sx)	b	1

Condizioni ambientali <u>ordinarie</u> (W_i)	0.4
--	-----

Velocità della nave	12	nodi	0.0
Velocità del vento trasversale	33	nodi	0.4
Velocità corrente trasversale	0	nodi	0.0
Velocità corrente longitudinale	0.5	nodi	0.0
Altezza d'onda significativa	1	m	0.0
Condizioni di navigazione	a		0.0
Tipo di fondale	s		0.0
Profondità del canale	0		0.0
Pericolosità del carico	1		0.0

Larghezza al fondo del canale con circolazione a senso unico	=	33	m
Rapporto w/b	=	3.7	

Canali a doppio senso di circolazione (W_p)	1.6
---	-----

Velocità dei passaggi (da "Velocità della nave" già specificata sopra)	1.6	
Densità di traffico	1	0

Larghezza al fondo del canale a doppio senso di circolazione	=	63	m
--	---	----	---

Figura 16-4 - Scenario 1b: larghezza del canale a 2 sensi per nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natante fino a 12 nodi

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto (Navebus)

Lunghezza fuori tutto (L_{oa})	26.7	m
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})	25.37	m
Larghezza (B)	9.00	m
Pescaggio (T)	1.70	m

Profondità del canale

Il rapporto "profondità/pescaggio" deve essere pari ad almeno 1.10 in acque protette, a 1.3 in acque con onde max da 1 m e 1.5 m in acque con onde ancor più alte, con periodi e direzioni di provenienza sfavorevoli. Tali valori tengono conto dello squat e delle incertezze di dragaggio e rilievo.
Nel caso in esame il valore consigliato di profondità è:

2.2 m

Profondità canale	13.00	m
-------------------	-------	---

Larghezza del canale

Bacino di manovra (W_M)		1.3
Manovrabilità della nave		1.3

"Bank effect" (W_B)		2.6
Tipo di sponda (dx)	b	1.3
Tipo di sponda (sx)	b	1.3

Condizioni ambientali <u>ordinarie</u> (W_i)	0.4
--	-----

Velocità della nave	13	nodi	0.1
Velocità del vento trasversale	33	nodi	0.3
Velocità corrente trasversale	0	nodi	0.0
Velocità corrente longitudinale	0.5	nodi	0.0
Altezza d'onda significativa	1	m	0.0
Condizioni di navigazione	a		0.0
Tipo di fondale	s		0.0
Profondità del canale	0		0.0
Pericolosità del carico	1		0.0

Larghezza al fondo del canale con circolazione a senso unico	=	39	m
Rapporto w/b	=	4.3	

Canali a doppio senso di circolazione (W_p)	2
---	---

Velocità dei passaggi (da "Velocità della nave" già specificata sopra)	2	
Densità di traffico	1	0

Larghezza al fondo del canale a doppio senso di circolazione	=	72	m
--	---	----	---

Figura 16-5 - Scenario 1c: larghezza del canale a 2 sensi per nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natante maggiore di 12 nodi

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto - rimorchiatore

Lunghezza fuori tutto (L_{oa})	27.5	m
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})	26.13	m
Larghezza (B)	11.50	m
Pescaggio (T)	6.00	m

Profondità del canale

Il rapporto "profondità/pescaggio" deve essere pari ad almeno 1.10 in acque protette, a 1.3 in acque con onde max da 1 m e 1.5 m in acque con onde ancor più alte, con periodi e direzioni di provenienza sfavorevoli. Tali valori tengono conto dello squat e delle incertezze di dragaggio e rilievo.

Nel caso in esame il valore consigliato di profondità è:

7.8 m

Profondità canale	13.00	m
-------------------	-------	---

Larghezza del canale

Bacino di manovra (W_M)	1.3
-----------------------------	-----

Manovrabilità della nave	g	1.3
--------------------------	---	-----

"Bank effect" (W_B)	1
-------------------------	---

Tipo di sponda (dx)	b	0.5
---------------------	---	-----

Tipo di sponda (sx)	b	0.5
---------------------	---	-----

Condizioni ambientali ordinarie (W_i)	0.5
---	-----

Velocità della nave	8	nodi	0.0
---------------------	---	------	-----

Velocità del vento trasversale	33	nodi	0.5
--------------------------------	----	------	-----

Velocità corrente trasversale	0	nodi	0.0
-------------------------------	---	------	-----

Velocità corrente longitudinale	0.5	nodi	0.0
---------------------------------	-----	------	-----

Altezza d'onda significativa	1	m	0.0
------------------------------	---	---	-----

Condizioni di navigazione	a	0.0
---------------------------	---	-----

Tipo di fondale	s	0.0
-----------------	---	-----

Profondità del canale	0	0.0
-----------------------	---	-----

Pericolosità del carico	1	0.0
-------------------------	---	-----

Larghezza al fondo del canale con circolazione a senso unico	=	32	m
Rapporto w/b	=	2.8	

Canali a doppio senso di circolazione (W_p)	1.2
---	-----

Velocità dei passaggi (da "Velocità della nave" già specificata sopra)	1.2
--	-----

Densità di traffico	1	0
---------------------	---	---

Larghezza al fondo del canale a doppio senso di circolazione	=	67	m
--	---	----	---

Figura 16-6 - Scenario 2a: larghezza del canale a 2 sensi per rimorchiatore Inghilterra o Svezia in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natante fino a 8 nodi

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto - rimorchiatore

Lunghezza fuori tutto (L_{oa})	27.5	m
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})	26.13	m
Larghezza (B)	11.50	m
Pescaggio (T)	6.00	m

Profondità del canale

Il rapporto "profondità/pescaggio" deve essere pari ad almeno 1.10 in acque protette, a 1.3 in acque con onde max da 1 m e 1.5 m in acque con onde ancor più alte, con periodi e direzioni di provenienza sfavorevoli. Tali valori tengono conto dello squat e delle incertezze di dragaggio e rilievo.

Nel caso in esame il valore consigliato di profondità è:

7.8 m

Profondità canale	13.00	m
-------------------	-------	---

Larghezza del canale

Bacino di manovra (W_M)		1.3
Manovrabilità della nave	Fig.	1.3

"Bank effect" (W_B)		2
Tipo di sponda (dx)	b	1
Tipo di sponda (sx)	b	1

Condizioni ambientali <u>ordinarie</u> (W_i)	0.4
--	-----

Velocità della nave	12	nodi	0.0
Velocità del vento trasversale	33	nodi	0.4
Velocità corrente trasversale	0	nodi	0.0
Velocità corrente longitudinale	0.5	nodi	0.0
Altezza d'onda significativa	1	m	0.0
Condizioni di navigazione	a		0.0
Tipo di fondale	s		0.0
Profondità del canale	0		0.0
Pericolosità del carico	1		0.0

Larghezza al fondo del canale con circolazione a senso unico	=	43	m
Rapporto w/b	=	3.7	

Canali a doppio senso di circolazione (W_p)	1.6
---	-----

Velocità dei passaggi (da "Velocità della nave" già specificata sopra)	1.6
Densità di traffico	10

Larghezza al fondo del canale a doppio senso di circolazione	=	81	m
--	---	----	---

Figura 16-7 - Scenario 2b: larghezza del canale a 2 sensi per rimorchiatore Inghilterra o Svezia in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natante fino a 12 nodi

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto - rimorchiatore

Lunghezza fuori tutto (L_{oa})	27.5	m
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})	26.13	m
Larghezza (B)	11.50	m
Pescaggio (T)	6.00	m

Profondità del canale

Il rapporto "profondità/pescaggio" deve essere pari ad almeno 1.10 in acque protette, a 1.3 in acque con onde max da 1 m e 1.5 m in acque con onde ancor più alte, con periodi e direzioni di provenienza sfavorevoli. Tali valori tengono conto dello squat e delle incertezze di dragaggio e rilievo. Nel caso in esame il valore consigliato di profondità è:

7.8 m

Profondità canale	13.00	m
-------------------	-------	---

Larghezza del canale

Bacino di manovra (W_M) 1.3

Manovrabilità della nave g 1.3

"Bank effect" (W_B) 2.6

Tipo di sponda (dx) b 1.3

Tipo di sponda (sx) b 1.3

Condizioni ambientali ordinarie (W_i) 0.4

Velocità della nave	13	nodi	0.1
Velocità del vento trasversale	33	nodi	0.3
Velocità corrente trasversale	0	nodi	0.0
Velocità corrente longitudinale	0.5	nodi	0.0
Altezza d'onda significativa	1	m	0.0
Condizioni di navigazione	a		0.0
Tipo di fondale	s		0.0
Profondità del canale	0		0.0
Pericolosità del carico	1		0.0

Larghezza al fondo del canale con circolazione a senso unico	=	49	m
Rapporto w/b	=	4.3	

Canali a doppio senso di circolazione (W_p) 2

Velocità dei passaggi (da "Velocità della nave" già specificata sopra) 2

Densità di traffico 1 0

Larghezza al fondo del canale a doppio senso di circolazione	=	92	m
--	---	----	---

Figura 16-8 - Scenario 2c: larghezza del canale a 2 sensi per rimorchiatore Inghilterra o Svezia in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natante maggiore di 12 nodi

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto		rimorchiatore		nave bus	
Lunghezza fuori tutto (L_{oa})		27.5	m	26.7	m
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})		26.13	m	25.37	m
Larghezza (B)		11.50	m	9.00	m
Pescaggio (T)		6.00	m	1.70	m
Profondità canale		13.00	m	13.00	m
Larghezza del canale					
Bacino di manovra (W_M)		1.3		1.3	
Manovrabilità della nave		g	1.3	m	1.3
"Bank effect" (W_B)		1		1	
Tipo di sponda (dx)		b	0.5	b	0.5
Tipo di sponda (sx)		b	0.5	b	0.5
Condizioni ambientali <u>ordinarie</u> (W_i)		0.5		0.5	
Velocità della nave		8	nodi 0.0	8	nodi 0.0
Velocità del vento trasversale		33	nodi 0.5	33	nodi 0.5
Velocità corrente trasversale		0	nodi 0.0	0	nodi 0.0
Velocità corrente longitudinale		0.5	nodi 0.0	0.5	nodi 0.0
Altezza d'onda significativa		1	m 0.0	1	m 0.0
Condizioni di navigazione		a	0.0	a	0.0
Tipo di fondale		s	0.0	s	0.0
Profondità del canale		0	0.0	0	0.0
Pericolosità del carico		1	0.0	1	0.0
Canali a doppio senso di circolazione (W_p)		1.2			
Velocità dei passaggi (da "Velocità della nave" già specificata sopra)					
Densità di traffico		1			
Larghezza al fondo del canale a doppio senso di circolazione		=	59	m	

Figura 16-9 - Scenario 3a: larghezza del canale a 2 sensi per rimorchiatore Inghilterra o Svezia e nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natanti fino a 8 nodi

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto		rimorchiatore	nave bus
Lunghezza fuori tutto (L_{oa})		27.5 m	26.7 m
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})		26.13 m	25.37 m
Larghezza (B)		11.50 m	9.00 m
Pescaggio (T)		6.00 m	1.70 m
Profondità canale		13.00 m	13.00 m
Larghezza del canale			
Bacino di manovra (W_M)		1.3	1.3
Manovrabilità della nave	g	1.3	m 1.3
"Bank effect" (W_B)		1	2
Tipo di sponda (dx)	b	0.5	b 1
Tipo di sponda (sx)	b	0.5	b 1
Condizioni ambientali ordinarie (W_i)		0.5	0.4
Velocità della nave	8 nodi	0.0	12 nodi 0.0
Velocità del vento trasversale	33 nodi	0.5	33 nodi 0.4
Velocità corrente trasversale	0 nodi	0.0	0 nodi 0.0
Velocità corrente longitudinale	0.5 nodi	0.0	0.5 nodi 0.0
Altezza d'onda significativa	1 m	0.0	1 m 0.0
Condizioni di navigazione	a	0.0	a 0.0
Tipo di fondale	s	0.0	s 0.0
Profondità del canale	0	0.0	0 0.0
Pericolosità del carico	1	0.0	1 0.0
Canali a doppio senso di circolazione (W_p)		1.6	
Velocità dei passaggi (da "Velocità della nave" già specificata sopra)			
Densità di traffico		1	
Larghezza al fondo del canale a doppio senso di circolazione		= 67 m	

Figura 16-10 - Scenario 3d: larghezza del canale a 2 sensi per rimorchiatore Inghilterra o Svezia e nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità nave bus fino a 12 nodi e rimorchiatore fino a 8 nodi

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto			rimorchiatore		nave bus		
Lunghezza fuori tutto (L_{oa})		27.5	m		26.7	m	
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})		26.13	m		25.37	m	
Larghezza (B)		11.50	m		9.00	m	
Pescaggio (T)		6.00	m		1.70	m	
Profondità canale		13.00	m		13.00	m	
Larghezza del canale							
Bacino di manovra (W_M)				1.3	1.3		
Manovrabilità della nave		g		1.3	m	1.3	
"Bank effect" (W_B)				2	2		
Tipo di sponda (dx)		b		1	b	1	
Tipo di sponda (sx)		b		1	b	1	
Condizioni ambientali <u>ordinarie</u> (W_i)				0.4	0.4		
Velocità della nave		12	nodi	0.0	12	nodi 0.0	
Velocità del vento trasversale		33	nodi	0.4	33	nodi 0.4	
Velocità corrente trasversale		0	nodi	0.0	0	nodi 0.0	
Velocità corrente longitudinale		0.5	nodi	0.0	0.5	nodi 0.0	
Altezza d'onda significativa		1	m	0.0	1	m 0.0	
Condizioni di navigazione		a		0.0	a	0.0	
Tipo di fondale		s		0.0	s	0.0	
Profondità del canale		0		0.0	0	0.0	
Pericolosità del carico		1		0.0	1	0.0	
Canali a doppio senso di circolazione (W_p)				1.6			
Velocità dei passaggi (da "Velocità della nave" già specificata sopra)							
Densità di traffico							
1							
Larghezza al fondo del canale a doppio senso di circolazione			=	72	m		

Figura 16-11 - Scenario 3b: larghezza del canale a 2 sensi per rimorchiatore Inghilterra o Svezia e nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natanti fino a 12 nodi

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto		rimorchiatore		nave bus	
Lunghezza fuori tutto (L_{oa})		27.5	m	26.7	m
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})		26.13	m	25.37	m
Larghezza (B)		11.50	m	9.00	m
Pescaggio (T)		6.00	m	1.70	m
Profondità canale		13.00	m	13.00	m
Larghezza del canale					
Bacino di manovra (W_M)		1.3		1.3	
Manovrabilità della nave		g	1.3	m	1.3
"Bank effect" (W_B)		2.6		2.6	
Tipo di sponda (dx)		b	1.3	b	1.3
Tipo di sponda (sx)		b	1.3	b	1.3
Condizioni ambientali ordinarie (W_i)		0.4		0.4	
Velocità della nave		13	nodi 0.1	13	nodi 0.1
Velocità del vento trasversale		33	nodi 0.3	33	nodi 0.3
Velocità corrente trasversale		0	nodi 0.0	0	nodi 0.0
Velocità corrente longitudinale		0.5	nodi 0.0	0.5	nodi 0.0
Altezza d'onda significativa		1	m 0.0	1	m 0.0
Condizioni di navigazione		a	0.0	a	0.0
Tipo di fondale		s	0.0	s	0.0
Profondità del canale		0	0.0	0	0.0
Pericolosità del carico		1	0.0	1	0.0
Canali a doppio senso di circolazione (W_p)				2	
Velocità dei passaggi (da "Velocità della nave" già specificata sopra)					
Densità di traffico				1	
Larghezza al fondo del canale a doppio senso di circolazione		=	82	m	

Figura 16-12 - Scenario 3c: larghezza del canale a 2 sensi per rimorchiatore Inghilterra o Svezia e nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natanti maggiore di 12 nodi

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto - rimorchiatore

Lunghezza fuori tutto (L_{oa})	36.65	m
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})	34.82	m
Larghezza (B)	13.50	m
Pescaggio (T)	7.00	m

Profondità del canale

Il rapporto "profondità/pescaggio" deve essere pari ad almeno 1.10 in acque protette, a 1.3 in acque con onde max da 1 m e 1.5 m in acque con onde ancor più alte, con periodi e direzioni di provenienza sfavorevoli. Tali valori tengono conto dello squat e delle incertezze di dragaggio e rilievo.

Nel caso in esame il valore consigliato di profondità è:

10.5 m

Profondità canale	13.00	m
-------------------	-------	---

Larghezza del canale

<i>Bacino di manovra</i> (W_M)		1.3
Manovrabilità della nave	g	1.3

"Bank effect" (W_B)	1
-------------------------	---

Tipo di sponda (dx)	b	0.5
Tipo di sponda (sx)	b	0.5

Condizioni ambientali <u>gravose</u> (W_i)	1.5
--	-----

Velocità della nave	8	nodi	0.0
Velocità del vento trasversale	45	nodi	1.0
Velocità corrente trasversale	0	nodi	0.0
Velocità corrente longitudinale	1	nodi	0.0
Altezza d'onda significativa	1.5	m	0.5
Condizioni di navigazione	A		0.0
Tipo di fondale	s		0.0
Profondità del canale	0		0.0
Pericolosità del carico	1		0.0

Larghezza al fondo del canale con circolazione a senso unico	=	51 m
--	---	------

Figura 16-13 - Scenario 4a: larghezza del canale a 1 senso per rimorchiatore Messico in condizioni meteomarine gravose – velocità natante fino a 8 nodi

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto - rimorchiatore

Lunghezza fuori tutto (L_{oa})	36.65	m
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})	34.82	m
Larghezza (B)	13.50	m
Pescaggio (T)	7.00	m

Profondità del canale

Il rapporto "profondità/pescaggio" deve essere pari ad almeno 1.10 in acque protette, a 1.3 in acque con onde max da 1 m e 1.5 m in acque con onde ancor più alte, con periodi e direzioni di provenienza sfavorevoli. Tali valori tengono conto dello squat e delle incertezze di dragaggio e rilievo.

Nel caso in esame il valore consigliato di profondità è:

10.5 m

Profondità canale	13.00	m
-------------------	-------	---

Larghezza del canale

<i>Bacino di manovra</i> (W_M)		1.3
Manovrabilità della nave		1.3

"Bank effect" (W_B)	2
-------------------------	---

Tipo di sponda (dx)	b	1
Tipo di sponda (sx)	b	1

Condizioni ambientali <u>gravose</u> (W_i)	1.8
--	-----

Velocità della nave	12	nodi	0.0
Velocità del vento trasversale	45	nodi	0.8
Velocità corrente trasversale	0	nodi	0.0
Velocità corrente longitudinale	1	nodi	0.0
Altezza d'onda significativa	1.5	m	1.0
Condizioni di navigazione	a		0.0
Tipo di fondale	s		0.0
Profondità del canale	0		0.0
Pericolosità del carico	1		0.0

Larghezza al fondo del canale con circolazione a senso unico	=	71 m
--	---	------

Figura 16-14 - Scenario 4b: larghezza del canale a 1 senso per rimorchiatore Messico in condizioni meteomarine gravose – velocità natante fino a 12 nodi

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto - rimorchiatore

Lunghezza fuori tutto (L_{oa})	36.65	m
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})	34.82	m
Larghezza (B)	13.50	m
Pescaggio (T)	7.00	m

Profondità del canale

Il rapporto "profondità/pescaggio" deve essere pari ad almeno 1.10 in acque protette, a 1.3 in acque con onde max da 1 m e 1.5 m in acque con onde ancor più alte, con periodi e direzioni di provenienza sfavorevoli. Tali valori tengono conto dello squat e delle incertezze di dragaggio e rilievo.

Nel caso in esame il valore consigliato di profondità è:

10.5 m

Profondità canale	13.00	m
-------------------	-------	---

Larghezza del canale

<i>Bacino di manovra</i> (W_M)		1.3
Manovrabilità della nave		1.3

"Bank effect" (W_B)	2.6
-------------------------	-----

Tipo di sponda (dx)	b	1.3
Tipo di sponda (sx)	b	1.3

Condizioni ambientali <u>gravose</u> (W_i)	2.7
--	-----

Velocità della nave	13	nodi	0.1
Velocità del vento trasversale	45	nodi	0.6
Velocità corrente trasversale	0	nodi	0.0
Velocità corrente longitudinale	1	nodi	0.0
Altezza d'onda significativa	1.5	m	2.0
Condizioni di navigazione	A		0.0
Tipo di fondale	s		0.0
Profondità del canale	0		0.0
Pericolosità del carico	1		0.0

Larghezza al fondo del canale con circolazione a senso unico = 90 m

Figura 16-15 - Scenario 4c: larghezza del canale a 1 senso per rimorchiatore Messico in condizioni meteomarine gravose – velocità natante maggiore di 12 nodi

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto (Navebus)

Lunghezza fuori tutto (L_{oa})	26.7	m
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})	25.37	m
Larghezza (B)	9.00	m
Pescaggio (T)	1.70	m

Profondità del canale

Il rapporto "profondità/pescaggio" deve essere pari ad almeno 1.10 in acque protette, a 1.3 in acque con onde max da 1 m e 1.5 m in acque con onde ancor più alte, con periodi e direzioni di provenienza sfavorevoli. Tali valori tengono conto dello squat e delle incertezze di dragaggio e rilievo.

Nel caso in esame il valore consigliato di profondità è:

2.2 m

Profondità canale	13.00	m
-------------------	-------	---

Larghezza del canale

<i>Bacino di manovra (W_M)</i>		1.3
Manovrabilità della nave		1.3

"Bank effect" (W_B)	2.6
-------------------------	-----

Tipo di sponda (dx)	b	1.3
Tipo di sponda (sx)	b	1.3

Condizioni ambientali <u>ordinarie</u> (W_i)	0.4
--	-----

Velocità della nave	13	nodi	0.1
Velocità del vento trasversale	33	nodi	0.3
Velocità corrente trasversale	0	nodi	0.0
Velocità corrente longitudinale	0.5	nodi	0.0
Altezza d'onda significativa	1	m	0.0
Condizioni di navigazione	a		0.0
Tipo di fondale	s		0.0
Profondità del canale	0		0.0
Pericolosità del carico	1		0.0

Larghezza al fondo del canale con circolazione a senso unico = 39 m

Figura 16-16 - Scenario 5a: larghezza del canale a 1 senso per nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie – velocità natante maggiore di 12 nodi

Dimensioni caratteristiche della nave di progetto (Navebus)

Lunghezza fuori tutto (L_{oa})	26.7	m
Lunghezza tra le perpendicolari (L_{bp})	25.37	m
Larghezza (B)	9.00	m
Pescaggio (T)	1.70	m

Profondità del canale

Il rapporto "profondità/pescaggio" deve essere pari ad almeno 1.10 in acque protette, a 1.3 in acque con onde max da 1 m e 1.5 m in acque con onde ancor più alte, con periodi e direzioni di provenienza sfavorevoli. Tali valori tengono conto dello squat e delle incertezze di dragaggio e rilievo.

Nel caso in esame il valore consigliato di profondità è:

2.6 m

Profondità canale	13.00	m
-------------------	-------	---

Larghezza del canale

<i>Bacino di manovra</i> (W_M)		1.3
Manovrabilità della nave		1.3

"Bank effect" (W_B)		2.6
Tipo di sponda (dx)	b	1.3
Tipo di sponda (sx)	b	1.3

Condizioni ambientali gravose (W_i)	2.9
---	-----

Velocità della nave	13	nodi	0.1
Velocità del vento trasversale	45	nodi	0.6
Velocità corrente trasversale	0	nodi	0.0
Velocità corrente longitudinale	1	nodi	0.0
Altezza d'onda significativa	1.5	m	2.0
Condizioni di navigazione	c		0.2
Tipo di fondale	s		0.0
Profondità del canale	0		0.0
Pericolosità del carico	1		0.0

Larghezza al fondo del canale con circolazione a senso unico	=	61 m
--	---	------

Figura 16-17 - Scenario 5b: larghezza del canale a 1 senso per nave bus Mare Express in condizioni meteomarine gravose – velocità natante maggiore di 12 nodi

16.4 I fenomeni idraulici generati dal passaggio dei natanti

Un natante in navigazione genera all'interno di un canale effetti idrodinamici che riguardano la generazione di moto ondoso e di correnti. Il fenomeno è in generale piuttosto complesso ed esistono a riguardo una notevole mole di studi che hanno trattato l'argomento con vari approcci: analitico, sperimentale in laboratorio e tramite misure dirette di campo.

Gli effetti idrodinamici che si determinano in un canale per effetto del passaggio di un imbarcazione sono in sintesi i seguenti (vedi Figura 16-18):

- la generazione di onde trasversale di poppa e di onde divergenti (che si distaccano dalla fiancata dell'imbarcazione); quest'ultime possono interessare il dimensionamento dell'opera di conterminazione;
- un abbassamento del piano d'acqua che si colloca lungo i fianchi della nave in posizioni, rispetto alla sua mezzeria, che dipendono dalla velocità;
- la corrente di ritorno, che ha senso opposto a quello del moto della nave ed ha portata di valore tale da compensare il dislocamento della stessa.

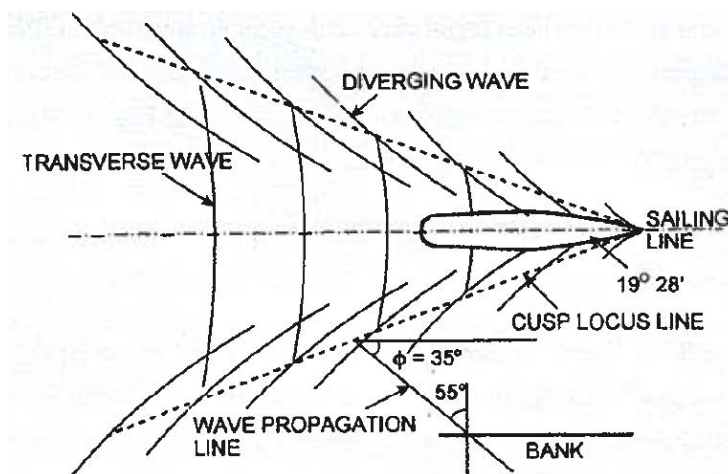


Figura 16-18 - Sistema ondoso generato dal transito di un'imbarcazione

L'intensità di tali fenomeni dipende dalla geometria della sezione trasversale del canale. La velocità massima che può essere raggiunta in un canale è detta velocità critica V_c ed il suo valore non può superare quello dell'onda di traslazione c :

$$c = \sqrt{gh_m}$$

in cui:

g = accelerazione di gravità;

h_m = profondità media della sezione del canale = A/b (area sezione liquida/larghezza).

La resistenza all'avanzamento di un natante e l'intensità dei fenomeni idraulici generati dalla navigazione registrano un notevole incremento per un dato valore di velocità, minore della V_c , detta velocità limite V_l . V_l è una frazione della V_c ed il valore di questa frazione dipende a sua volta dall'indice di navigabilità del canale $n=A/a$ (a =area sezione maestra immersa della nave a pieno carico), crescendo all'aumentare di questo. In generale è consigliabile che la velocità massima si avvicini a valori prossimi a quelli della velocità limite (85-95% della V_l) senza raggiungerla.

Per la determinazione dei valori di velocità della corrente di ritorno (U_r), dell'abbassamento del piano d'acqua Δh che è pari all'altezza d'onda di poppa, viene utilizzato il diagramma di Schijf (trattazione analitico - sperimentale presentata nell'ambito delle ricerche del PIANC) riportato in Figura 16-19.

In esso le velocità sono espresse come frazione della V_c e l'abbassamento come frazione della profondità media della sezione h_m . I dati forniti dal diagramma di Schijf sono valori medi; il calcolo dei valori massimi è più complesso e tiene conto delle linee di rotta asimmetriche rispetto all'asse del canale e del tipo di nave.

Per il calcolo dei fenomeni idraulici indotti dalla navigazione all'interno del canale di calma, si è fatto riferimento alle caratteristiche della motonave e dei rimorchiatori di progetto, considerati nel paragrafo precedente ai fini del dimensionamento della larghezza del canale.

Le valutazioni sono state eseguite in relazione a tutti gli scenari riportati sopra in Tabella 16.8, quindi considerando diverse velocità di transito delle imbarcazioni e la possibilità che alcune di esse transitino contemporaneamente nel canale di navigazione, compatibilmente con le dimensioni di progetto di quest'ultimo.

I fenomeni idraulici generati dal passaggio della motonave per il trasporto pubblico di progetto sono risultati decisamente contenuti, data l'entità modesta dell'area della sezione maestra immersa della nave.

Per quanto riguarda i rimorchiatori Svezia e Inghilterra, considerando la massima velocità di transito compatibile con la larghezza di progetto del canale, ovvero 8 nodi, ed una profondità

media del canale pari a 13 m, si sono ottenuti effetti idrodinamici modesti: un abbassamento del piano d'acqua che coincide con l'altezza delle onde generate a poppa pari a 0.26 m, ed un valore della corrente di ritorno pari a 0.34 m/s, che interessa solo lo strato d'acqua superficiale.

In relazione al passaggio del rimorchiatore Messico, che presenta dimensioni superiori a quelle degli altri mezzi e circola a senso unico nel canale ad una velocità di 8 nodi, sono state determinate un'altezza delle onde generate a poppa pari a 0.36 m ed un valore della corrente di ritorno pari a 0.5 m/s. Questo scenario è risultato il più gravoso tra quelli esaminati, anche se l'entità dei fenomeni idraulici rimane comunque di entità modesta.

Questi valori trovano conforto anche nei risultati delle analisi di campo condotte nei canali della laguna di Venezia, per vari tipi di imbarcazioni, tra cui anche quelle di caratteristiche analoghe al nostro caso. A riguardo si evidenzia che l'altezza d'onda massima generata dipende, oltre che dalla velocità del natante, da altri fattori quali la forma dello scafo, la profondità del canale sotto lo scafo, il pescaggio del natante.

Nel corso delle campagne effettuate sono state in particolare misurate le altezze d'onda divergenti generate da una motonave per trasporto pubblico che transitava a diverse velocità comprese tra 6 e 10 nodi. L'altezza d'onda massima generata evidentemente aumenta con la velocità del natante; è stata misurata un'altezza d'onda di 15 cm per la velocità di 6 nodi e di 43 cm per una velocità di 10 nodi. Le analisi di campo hanno permesso anche di stabilire una correlazione tra l'altezza delle onde generate dalle imbarcazioni e il periodo che le caratterizza; nelle condizioni di riferimento sopra delineate, i periodi dell'onda variano tra 1.7 s e 2.5 s.

Dai risultati dei calcoli sopra riportati, supportati dalle analisi di campo a disposizione, si evince che gli effetti idrodinamici generati dal transito delle imbarcazioni nel canale sono di entità limitata e pertanto non sono significativi ai fini del dimensionamento dell'opera, tenendo presente l'entità più significativa del moto ondoso valutato per effetto della propagazione delle onde attraverso le imboccature del canale.

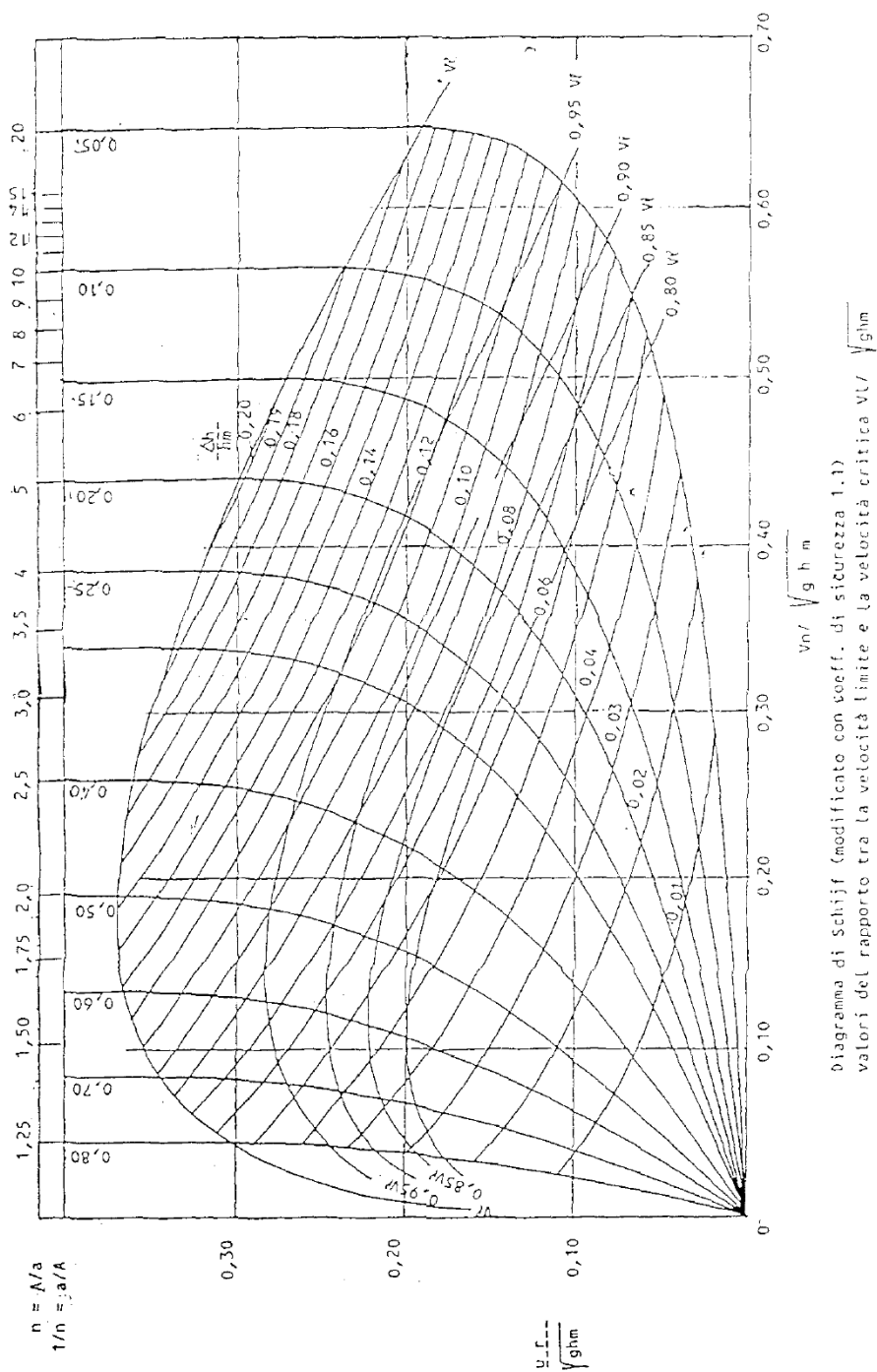


Diagramma di Schijf (modificato con coeff. di sicurezza 1.1)
valori del rapporto tra la velocità limite e la velocità critica V_n/V_c
in funzione dell'indice di navigabilità $n = A/a$
Valori della velocità della corrente di ritorno v_r e dell'abbassamento
del piano d'acqua Δh in funzione della velocità della nave V_n e
dell'indice di navigabilità.

Figura 16-19 - Diagramma di Schijf

APPENDICE 1**QUALITY STATEMENT: UK Met Office Wave Model archive**

QUALITY STATEMENT: UK Met Office Wave Model archive

The Met Office Wave Model Archive consists of the hindcast fields of winds and waves produced during the operation of the atmospheric and wave model forecast suite. To produce the best possible analysis of surface wind, all available reports of surface pressure, wind speed and direction (from ships, buoys, platforms and land stations) are subjected to a range of consistency checks before being assimilated into the model's analysis. The resulting wind field is then used to modify the wave field derived from earlier timesteps. For each of the 16 directional and 13 frequency bands, the changes in wave energy are computed at each gridpoint, using the local wind as energy input, and allowing for propagation, dissipation and transfer between spectral bands. The model is a so-called 'Second Generation' model, where the spectral shape is empirically defined and then allowed to evolve over time. For further details see Golding (1983) and Francis (1985). There are two versions of the wave model, both in operation since 1986 - one covers the Global oceans and the other European waters.

The **Global Wave Model** initially operated with an assumed fixed depth (200m) on a lat/long grid. The analysed fields of wind and 1-dimensional spectra (ie energy within each spectral band, plus a mean direction for that band) have been archived, initially at 12-hour intervals and subsequently (since June 1988) at 6-hour intervals. The spatial resolution was initially approx 150km (13.8k gridpoints). This was improved in June 1991, to approx 90km (37.3k gridpoints), and yet again in May 1999 to a resolution of around 55km, with depth-dependency. The enhanced resolution now allows sheltered seas (eg Persian Gulf, Caspian Sea) to be covered by the model and narrow waterways (eg Straits of Taiwan) are now handled more realistically.

Nested within the Global Wave Model, and taking boundary conditions from it, is a **European Waters Wave Model**. This is a depth-dependent second-generation model operating on a lat/long grid with spacing approx 25km (8.5k gridpoints). The model covers West European waters to 14degW between 30.5N and 66.7N and also covers the Mediterranean and Baltic Seas; the Black Sea was added in 1993. Wind and wave hindcast values were archived initially at 6-hour intervals and since June 1988 at 3-hour intervals.

Output at each timestep consists of wind speed and direction, plus **either**:

1-dimensional spectrum (energy and mean direction in each of the 13 spectral bands) **or** the conventional integrated variables derived from the spectrum (ie significant wave height, period and direction for both windsea and swell, together with resultant height and period).

The archived timeseries can be supplied at specified gridpoints. A range of analysis software has been developed to meet the needs of users who require data to be summarised in a convenient manner.

Since the winds are taken from the lowest level of the Atmospheric Model, they represent conditions approx 20m above mean sea level.

As with any operational model, there have been many small-scale improvements incorporated over the years. Most of these are introduced for computational reasons, to improve the efficiency of the calculations, but some are more fundamental, particularly the incorporation of wave height data from the ERS-1 satellite into the Global Wave model analysis with effect from June 1993 (see Foreman et al, 1994). Further detail (and dates) of the more significant changes to the model's operation are available on request. Over the years there have been occasional interruptions to the operational routine due to mainframe malfunction. Consequently, there are some periods of missing data in the archive, most of them of 12 hours duration or less.