AUTORITÀ PORTUALE DI SAVONA
PORTO DI VADO LIGURE

PROGETTO N°600/1

DIGA FORANEA: SPOSTAMENTO DELLA DIGA ESISTENTE

VISTO:
Il Responsabile del Procedimento
Dott. Ing. Flavio Destefanis

PROGETTAZIONE:

TECHNITAL S.p.A.

IL RESPONSABILE:
Dott. Ing. Guido Fiorini

PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATO N° :

TITOLO ELABORATO

ELABORATI GENERALI
RELAZIONE DESCRITTIVA GENERALE

MI0102-PE-D-Z-R-001-00

DATA	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO
Ottobre 2016	A. Lizzadro	G. Marcolini	G.Fiorini

REVISIONE N°	DATA	DESCRIZIONE
00	Ottobre 2016	EMISSIONE PER APPROVAZIONE

NOME FILE

MI0102-PE-D-Z-R-001-00.docx

A TERMINE DI LEGGE CI RISERVIAMO LA PROPRIETA' DI QUESTO ELABORATO CON DIVIETO DI RIPRODURLO RENDENDOLO NOTO A TERZI ANCHE PARZIALMENTE SENZA NOSTRA AUTORIZZAZIONE

AUTORITÀ PORTUALE DI SAVONA

PORTO DI VADO LIGURE

PROGETTO N°600/1
DIGA FORANEA: SPOSTAMENTO DELLA DIGA ESISTENTE

PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATI GENERALI
RELAZIONE DESCRITTIVA GENERALE

INDICE

1. PREMESSA 11
2. VITA UTILE E PERIODO DI RITORNO DELL'ONDA DI PROGETTO 16
3. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA CON RIFERIMENTO ALLE NTC 20
3.1. Normativa 20
3.2. Confronto tra diga nella posizione attuale e nella posizione di progetto 21
3.3. Conclusioni 23
4. CONDIZIONI GEOTECNICHE E METEOMARINE DI RIFERIMENTO 24
4.1. Rilievi topobatimetrici 24
4.1.1. Inquadramento topografico 24
4.1.2. Rilievo batimetrico con ecoscandaglio di tipo Multibeam 25
4.1.3. Documentazione prodotta 28
4.2. Geologia, evoluzione geomorfologica ed idrogeologica dell'area 32
4.2.1. Lineamenti stratigrafici generali dell'area di progetto 32
4.2.2. Stratigrafia media ricavata dalle indagini in situ 34
4.2.3. Idrogeologia 35
4.2.4. Caratterizzazione sismica 36
4.3. Indagini geotecniche e caratterizzazione dei terreni di fondazione 40
4.3.1. Indagini antecedenti il Progetto (ante 2006) 40
4.3.2. Indagini per il Progetto della Nuova Diga Foranea 41
4.3.3. Caratterizzazione dei terreni di fondazione 42
4.4. Le condizioni meteomarine 43
4.4.1. Esposizione del paraggio 44
4.4.2. I livelli del mare 45
4.4.3. Le condizioni anemometriche 47
4.4.4. Il moto ondoso al largo 53
4.4.5. Propagazione del moto ondoso dal largo alla diga foranea esistente 58
4.4.6. Propagazione del moto ondoso in corrispondenza delle opere 64
4.5. Analisi idrodinamiche e dispersive 80
4.5.1. Scenario di analisi 81
4.5.2. Moto ondoso 83
4.5.3. Gli effetti indotti dalle opere previste sull'idrodinamica e sulla dispersione della baia di Vado. 89
4.5.4. Analisi della capacità di ricambio 113
4.5.5. Tendenze evolutiva del litorale 120
4.6. Valutazione di incidenza del progetto 126
4.6.1. Interazione diretta con le opere 127
4.6.2. Interazione indiretta con le opere 128
4.6.2.1 Modifica del regime idrodinamico e sedimentologico dei fon 128

5. DESCRIZIONE DELLE OPERE 146
5.1. Tratto di diga foranea verso mare 148
5.1.1. Opere previste nel presente progetto di 1ª fase 148
5.1.2. Opere previste in una fase successiva 152
5.2. Tratto di diga foranea di raccordo 153
5.2.1. Opere previste nel presente progetto di 1ª fase 153
5.2.2. Opere previste in una fase successiva 154
5.3. Serraglie in calcestruzzo 156
5.3.1. Opere previste nel progetto di 1ª fase 156
5.3.2. Opere previste in una fase successiva 159
6. CONFIGURAZIONI DI PROGETTO E TEMPI DI RITORNO DELLE ONDE ASSOCIATI 161
7. FASI LAVORATIVE E CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI 166
7.1. Fasi costruttive generali 166
7.2. Sequenza costruttiva di messa in opera dei cassoni 166
7.1. Cronoprogramma lavori 176

ELENCO FIGURE

Fig. 1.1 - Nuova diga foranea come da Piano Regolatore Portuale 13
Fig. 1.2 - Nuova diga foranea come da Progetto Preliminare 509 redatto dall'Autorità Portuale 14
Fig. 1.3 - Prima fase della nuova diga foranea 15
Fig. 3.1 - Planimetria della diga foranea di 1ª fase con ubicazione sezioni tipo 21
Fig. 3.2 - Sezioni tipo C e D della diga foranea di 1ª fase – Tratto verso mare 22
Fig. 4.1 - Vado Ligure – Diga foranea - Zona interessata dal rilievo batimetrico con ecoscandaglio di tipo Multibeam 27
Fig. 4.2 - Vado Ligure – Diga foranea - Rilievo batimetrico con ecoscandaglio tipo multibeam 29
Fig. 4.3 - Vado Ligure – Diga foranea - Base topografica 31
Fig. 4.4 - Vado Ligure – Diga foranea - Condizioni meteomarine - Le batimetrie nel paraggio di Vado Ligure 45
Fig. 4.5 - Vado Ligure, rosa dei venti - Dati orari, 1986-1997 48
Fig. 4.6 - Punto UKMO - rosa dei venti. Dati triorari, 1987-2008 50
Fig. 4.7 - Ubicazione dei punti di misura del moto ondoso 54
Fig. 4.8 - Dati di moto ondoso KNMI - estensione delle aree di rilievo dei dati 55
Fig. 4.9 - Rosa del moto ondoso al largo di Vado, nel punto di coordinate 44°n; 8,73°e, ottenuta con i dati ukmo 1987 - 2008 55
Fig. 4.10 - Griglia regionale e griglia di dettaglio usate nel modello di propagazione delle onde 60
Fig. 4.11 - Griglia regionale e griglia di dettaglio usate nel modello di propagazione delle onde 61
Fig. 4.12 - Batimetria ricostruita sulla griglia di calcolo regionale 62
Fig. 4.13 - Batimetria ricostruita sulla griglia di calcolo di dettaglio 62
Fig. 4.14 - Caratteristiche dell'onda al largo: a) provenienza 100°N e Tr=50 anni: Hs=4,6 m , Tp=10,4 s, b) provenienza 190°N e Tr=250 anni: Hs=7,1 m , Tp=13,0 s 64
Fig. 4.15 - Schematizzazione della diga foranea da P.R.P (sinistra) e di 1° fase (destra) utilizzata nel modello matematico di propagazione delle onde PHAROS 68
Fig. 4.16- Coefficienti di riflessione considerati nel modello matematico di propagazione delle onde PHAROS per la configurazione di diga foranea da P.R.P. (sinistra) e di 1a fase (destra) 69
Fig. 4.17 - Batimetrie riprodotte sul modello: Diga da P.R.P. (sinistra), diga di 1a fase (destra) 69

Fig. 4.18 - Propagazione dell'onda in corrispondenza della nuova diga foranea: diga da P.R.P. (sinistra), diga 1a fase (destra) 72
Fig. 4.19 - Schematizzazione della piattaforma in esercizio con diga da P.R.P (config. 1, sinistra) e con diga di 1a fase (config. 2, destra) 73
Fig. 4.20 - Coefficienti di riflessione considerati nel modello matematico di propagazione delle onde PHAROS 75
Fig. 4.21 - Batimetrie riprodotte sul modello: Diga da P.R.P. (configurazione 1, sinistra), diga di 1a fase (configurazione 2, destra) 75
Fig. 4.22 - Propagazione dell'onda con Tr=1 anno in corrispondenza della piattaforma: Diga da P.R.P. (sinistra), diga di 1a fase (destra) 77
Fig. 4.23 - Configurazione di analisi di esercizio provvisorio. 82
Fig. 4.24 - Rose delle registrazioni (a sinistra), delle energie (a destra) e delle altezze massime (sotto) relative al punto u.k.m.o. 85
Fig. 4.25 - Ubicazione del punto "P" di riferimento per le condizioni meteomarine. 86
Fig. 4.26 - Rose delle registrazioni (a sinistra) e delle energie (a destra) relative al punto P. 88
Fig. 4.27 - Rosa delle altezze massime relativa al punto P 88
Fig. 4.28 - Dettaglio della maglia di calcolo nella zona del porto di Vado Ligure. 91
Fig. 4.29 - Batimetria (m s.m.m.) della schematizzazione con le opere a mare previste nella configurazione di analisi. 92
Fig. 4.30 - Distribuzione delle velocità medie (m/s) sulla profondità in assenza di vento - condizione di massimo flusso (Sx) e massimo riflusso (Dx). 94
Fig. 4.31 - Distribuzione delle velocità (m/s) nello strato superficiale in presenza di vento da nord est - condizione di massimo flusso (Sx) e massimo riflusso (Dx). 96
Fig. 4.32 - Distribuzione delle velocità medie (m/s) sulla profondità in presenza di vento da nord est - condizione di massimo flusso (Sx) e massimo riflusso (Dx). 97
Fig. 4.33 - Distribuzione delle velocità (m/s) nello strato superficiale in presenza di vento da sud est - condizione di massimo flusso (Sx) e massimo riflusso (Dx). 99
Fig. 4.34 - Distribuzione delle velocità medie (m/s) sulla profondità in presenza di vento da sud est - condizione di massimo flusso (Sx) e massimo riflusso (Dx). 100
Fig. 4.35 - Distribuzione delle velocità (m/s) nello strato superficiale in presenza di vento da nord ovest - condizione di massimo flusso (Sx) e massimo riflusso (Dx). 102

Fig. 4.36 - Distribuzione delle velocità medie (m/s) sulla profondità in presenza di vento da nord ovest - condizione di massimo flusso (Sx) e massimo riflusso (Dx). 103
Fig. 4.37 - Andamento della concentrazione dei traccianti rilasciati dai torrenti in assenza di vento. 106
Fig. 4.38 - Andamento della concentrazione dei traccianti rilasciati dai torrenti in condizione di vento da nord est. 108
Fig. 4.39 - Andamento della concentrazione dei traccianti rilasciati dai torrenti in condizione di vento da sud est. 110
Fig. 4.40 - Andamento della concentrazione dei traccianti rilasciati dai torrenti in condizione di vento da nord ovest. 112
Fig. 4.41 - Distribuzione iniziale del tracciante utilizzato per la "fraction analysis" e posizione dei punti di controllo. 115
Fig. 4.42 - Risultati della "fraction analysis". 116
Fig. 4.43 - Distribuzione iniziale del tracciante utilizzato per il tempo di ricambio 118
Fig. 4.44 - Distribuzione del tempo di ricambio (in ore). 119
Fig. 4.45 - Configurazione di analisi – ubicazione delle boe virtuali (stazioni) poste alla profondità di –4,5 m s.m.m. 122
Fig. 4.46 - Configurazione di analisi – Schematizzazione linea di riva e opere 123
Fig. 4.47 - Configurazione di analisi – Andamento trasporto solido 125
Fig. 4.48 - Configurazione di analisi – Evoluzione della linea di riva 125
Fig. 4-49 - Il sito SIC IT-1323271 "Fondali di Noli-Bergeggi" (giallo) e la diga foranea 1° fase (verde). 128
Fig. 4-50 - La maglia del modello utilizzato con riferimento all'Area Marina Protetta di Bergeggi e al sito SIC IT-1323271 "Fondali di Noli-Bergeggi". 131
Fig. 4-51 - Dettaglio della maglia di calcolo nella zona del porto di Vado Ligure. 132
Fig. 4-52 - Schema degli sversamenti per un giorno tipo nella fase 6 (situazione più gravosa). 136
Fig. 4-53 - giorno tipo - Concentrazioni [mg/l] alle ore 6, 9, 12, 15 e 18 (fine attività). 138
Fig. 4-54 - giorno tipo - Concentrazioni [mg/l] alle ore 21, 24, 03 e 06. 139
Fig. 4-55 - giorno tipo con vento da Nord-Est (sopra) e vento da Nord-Ovest (sotto). Densità di sedimentazione [g/m^2/giorno]. 140
Fig. 4-56 - Densità di sedimentazione media sul lungo periodo [g/m^2/giorno] applicando la frequenza di accadimento dei venti (Tab. 4.25). 141
Fig. 4-57 - Andamento delle concentrazioni di solidi sospesi in prossimità del punto di scarico (a) e al limite settentrionale del sito SIC-IT1323271 (punto più vicino allo scarico). 143

Fig. 4-58 - Andamento delle concentrazioni di solidi sospesi in prossimità del punto (c) interno al SIC-IT1323271 e del punto (d) in corrispondenza dell'isola di Bergeggi. 144
Fig. 5.1 - Planimetria della diga foranea di prima fase 147
Fig. 5.2 - Planimetria della diga di 1ª fase con ubicazione sezioni tipo 149
Fig. 5.3 - Sezioni tipo B e C della diga foranea di 1ª fase – tratto verso mare 150
Fig. 5.4 - Sezioni tipo D e E della diga foranea di 1ª fase – tratto verso mare 151
Fig. 5.5 - Tratto di diga foranea verso mare – Sezione con muro paraonde a futuro completamento della sovrastruttura 152
Fig. 5.6 - Sezione tipo A della diga foranea di 1ª fase – tratto di raccordo 153
Fig. 5.7 - Futuro adeguamento della sezione tipo A con muro paraonde a completamento della sovrastruttura 156
Fig. 5.8 - Sezioni tipo delle serraglie della nuova diga foranea di 1ª fase 158
Fig. 5.9 - Futuro adeguamento delle sezioni tipo delle serraglie con muro paraonde a completamento della sovrastruttura 160
Fig. 7.1 – Sequenza costruttiva di messa in opera dei cassoni – fasi A)-B)-C) 170
Fig. 7.2 – Sequenza costruttiva di messa in opera dei cassoni – fasi D)-E)-F) 171
Fig. 7.3 – Sequenza costruttiva di messa in opera dei cassoni – fasi G)-H)-I) 172
Fig. 7.4 – Sequenza costruttiva di messa in opera dei cassoni – fasi J)-K)-L) 173
Fig. 7.5 – Sequenza costruttiva di messa in opera dei cassoni – fasi M)-N)-O) 174
Fig. 7.6 – Sequenza costruttiva di messa in opera dei cassoni – fasi P)-Q)-R) 175
Fig. 7.7 - Cronoprogramma dei lavori 176

ELENCO TABELLE

Tab. 2.1 - Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo Tv 16
Tab. 2.2 - Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera Pf 18
Tab. 2.3 - Periodi di ritorno dell'onda di progetto –Diga foranea nella configurazione finale e di prima fase 19
Tab. 4-1 Vado Ligure –Diga Foranea – Stratigrafia media 42
Tab. 4-2 Vado Ligure –Diga Foranea – Caratterizzazione geotecnica 43
Tab. 4.3 - Risultati dell'analisi statistica dei livelli estremi 46
Tab. 4.4 - Frequenze di occorrenza delle velocità e direzione del vento a Vado Ligure (1986-1997) 48
Tab. 4.5 - Frequenze di occorrenza delle velocità e direzione del vento al largo - dati UKMO (1987-2008) 51
Tab. 4.6 - Valori della velocità del vento (m/s) in funzione del tempo di ritorno - dati dell'anemometro di Vado Ligure alla quota di 220 m sul l.m.m. 52
Tab. 4.7 - Valori della velocità del vento (m/s) in funzione del tempo di ritorno - dati dell'anemometro di Vado Ligure riportati alla quota di 10 m sul l.m.m. 52
Tab. 4.8 - Valori della velocità del vento (m/s) in funzione del tempo di ritorno - dati nel punto al largo UKMO 53
Tab. 4.9 - Clima d'onda ottenuto con i dati Ukmo per il periodo 1987-2008 56
Tab. 4.10 - Statistica degli eventi estremi 58
Tab. 4.11 - Caratteristiche del moto ondoso estremo al largo considerate per le simulazioni – Tr=50, 100 e 250 anni. 63
Tab. 4.12 - Caratteristiche del moto ondoso estremo al largo considerate per le simulazioni – Tr=1 anno 63
Tab. 4.13 - Configurazioni di diga simulate con il modello PHAROS 68
Tab. 4.14 - Caratteristiche del moto ondoso estremo considerate per le simulazioni con il modello PHAROS– Tr=250 anni 70
Tab. 4.15 - Caratteristiche del moto ondoso estremo considerate per le simulazioni con il modello PHAROS – Tr=50 anni 70
Tab. 4.16 - Caratteristiche del moto ondoso frequenti considerate per le simulazioni con il modello PHAROS– Tr=1 anno 71
Tab. 4.17 - Configurazioni simulate con il modello PHAROS – Piattaforma 74
Tab. 4.18 - Caratteristiche del moto ondoso estremo considerate come input per le simulazioni con il modello PHAROS – Tr=1 anno 76
Tab. 4.19 - Caratteristiche del moto ondoso estremo considerate come input per le simulazioni con il modello PHAROS – Tr=5 anni 76

Tab. 4.20 - Onda di progetto in corrispondenza delle sezioni tipo A e delle serraglie della diga foranea – Tr=50 anni 78
Tab. 4.21 - Onda di progetto in corrispondenza delle sezioni tipo B, C, D ed E della diga foranea – Tr= 50 e 250 anni 79
Tab. 4.22 - Onda di progetto in corrispondenza delle sezioni tipo A, B, C, D ed E per Tr=1 anno 79
Tab. 4.23 - Caratteristiche delle onde "al largo" (punto U.K.M.O.) 84
Tab. 4.24 - Forzanti meteomarine considerate per le simulazioni idrodinamiche 93
Tab. 4.25 – Frequenza delle condizioni di vento considerate nel presente studio. 134
Tab. 4.26 - Parametri adottati per le simulazioni. 136
Tab. 6.1 - Configurazioni di progetto e tempo di ritorno delle onde associato – sez. A 162
Tab. 6.2 - Configurazioni di progetto e tempo di ritorno delle onde associato – sez. B 163
Tab. 6.3 - Configurazioni di progetto e tempo di ritorno delle onde associato – sez. C 164
Tab. 6.4 - Configurazioni di progetto e tempo di ritorno delle onde associato – sez. D e E 165

1. PREMESSA

Nell'ambito del Piano Regolatore Portuale sono stati previsti l'allungamento e la modifica della configurazione della diga foranea esistente con lo scopo di assicurare la protezione della nuova piattaforma multifunzionale dall'azione del moto ondoso. In Fig. 1.1 è riportata la configurazione della nuova diga foranea come da Piano Regolatore.

Con riferimento alla configurazione del PRP è stato redatto dall'Autorità Portuale il Progetto Preliminare 509, relativo allo "Spostamento terminale del molo sopraflutti esistente e realizzazione del nuovo sopraflutti nel bacino portuale di Vado Ligure", approvato con Delibera del Comitato Portuale n°53 del 03.06.2010. Questo progetto comprende una parte delle opere del PRP e cioè solo le opere della diga foranea relativamente al tratto verso mare e non le opere relative al nuovo terrapieno ubicato alla radice della diga esistente (vedi Fig. 1.2).

La completa realizzazione della diga con ragionevole tempestività, come anche raccomandato dal Consiglio Superiore dei LL.PP. nel parere positivo sul progetto definitivo della piattaforma stessa, era un impegno dell'Autorità Portuale e pertanto non era parte del presente Project Financing. Tuttavia, venendo meno la previsione di ricorso alle provvidenze di cui al comma 990, art. 1 della legge finanziaria 2007, relative alla realizzazione della nuova diga di PRP e in considerazione dei risparmi ottenuti dalla modifica delle opere della piattaforma (oggetto della presente variante), l'Autorità Portuale ha richiesto al concessionario APM Terminals, con lettera Prot. 10287/TEC del 5 dicembre 2014, di valutare una variante tecnica al progetto esecutivo della piattaforma, nel cui ambito, a parità di costo complessivo, ricomprendere un primo stralcio di opere della diga foranea.

APM Terminals ha risposto positivamente alla richiesta dell'Autorità Portuale con nota prot. LOU-020-15, tenendo anche conto del fatto che la realizzazione della diga costituisce uno dei presupposti della convenzione di concessione.

Le opere di variante relative alla diga foranea descritte di seguito, si riferiscono ad una prima fase funzionale della configurazione del Progetto Preliminare 509. L'individuazione di una prima fase funzionale (vedi Fig. 1.3) è stata effettuata considerando l'esigenza di migliorare rispetto alla situazione della diga foranea esistente, le condizioni di manovrabilità delle navi in navigazione nello specchio d'acqua compreso tra la piattaforma e la diga stessa, secondo quanto ottenuto dallo studio con un modello 'real time' svolto di recente presso il CETENA, su richiesta dei Piloti del Porto.

Per la realizzazione della diga foranea di prima fase è previsto il salpamento di una parte della diga esistente e il riutilizzo dei cassoni rimossi nell'ambito della nuova opera, oltre alla posa di 2 cassoni ex novo. I cassoni saranno posati su uno scanno di imbasamento in scogliera, secondo una tipologia costruttiva analoga a quella della diga esistente.

Rispetto a quest'ultima, la nuova diga di prima fase insisterà su fondali più elevati, variabili all'incirca dai 35 ai 49 m, e in corrispondenza dei cassoni riutilizzati di dimensioni più contenute, posizionati lungo il tratto di raccordo con l'infrastruttura esistente, comprenderà anche una scogliera di protezione disposta sul lato mare.

Nella presente relazione viene fornita una descrizione dettagliata delle opere in progetto e la presentazione delle fasi generali costruttive previste per la realizzazione della prima fase funzionale della nuova diga foranea.

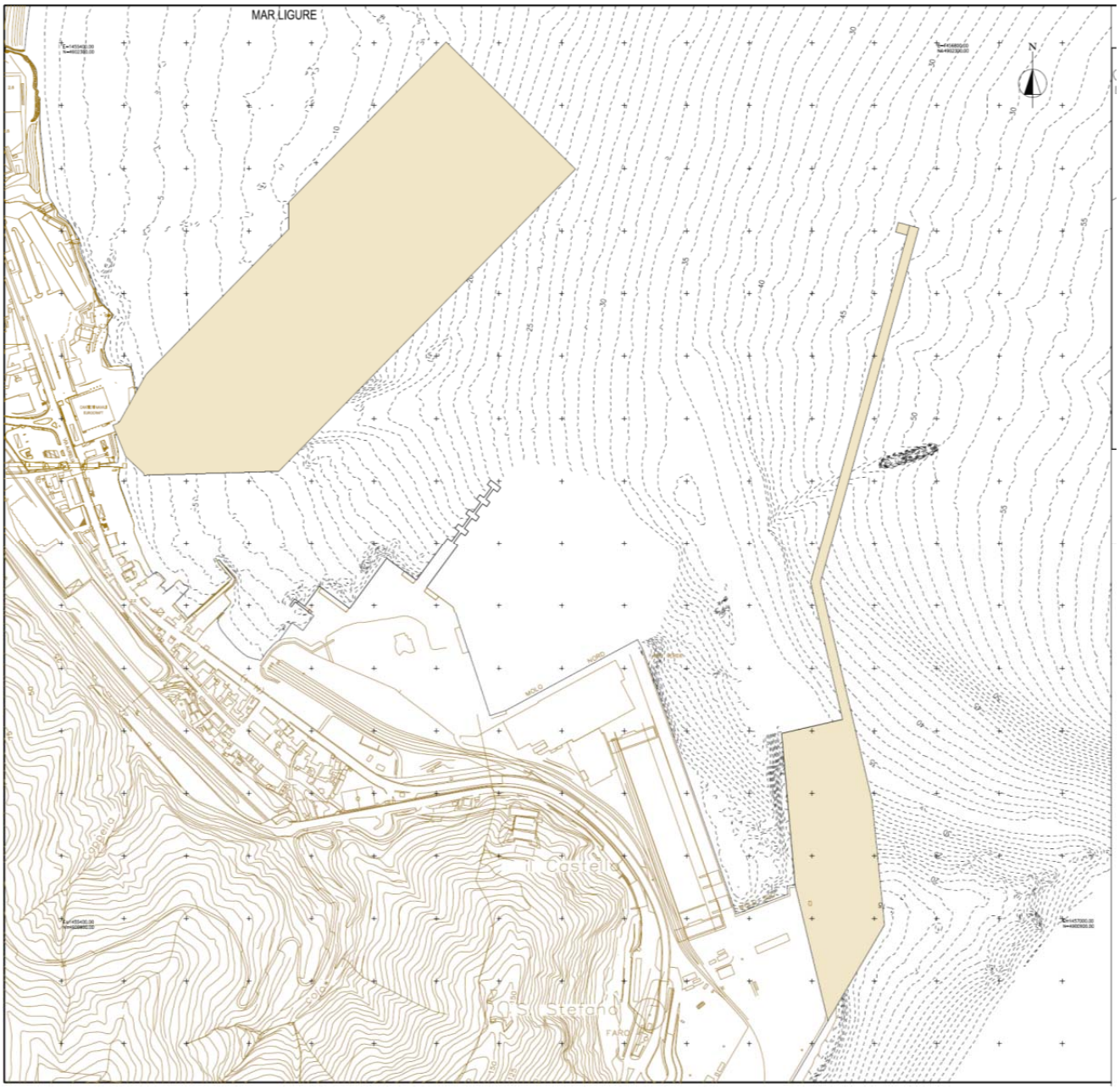


FIG. 1.1 - NUOVA DIGA FORANEA COME DA PIANO REGOLATORE PORTUALE

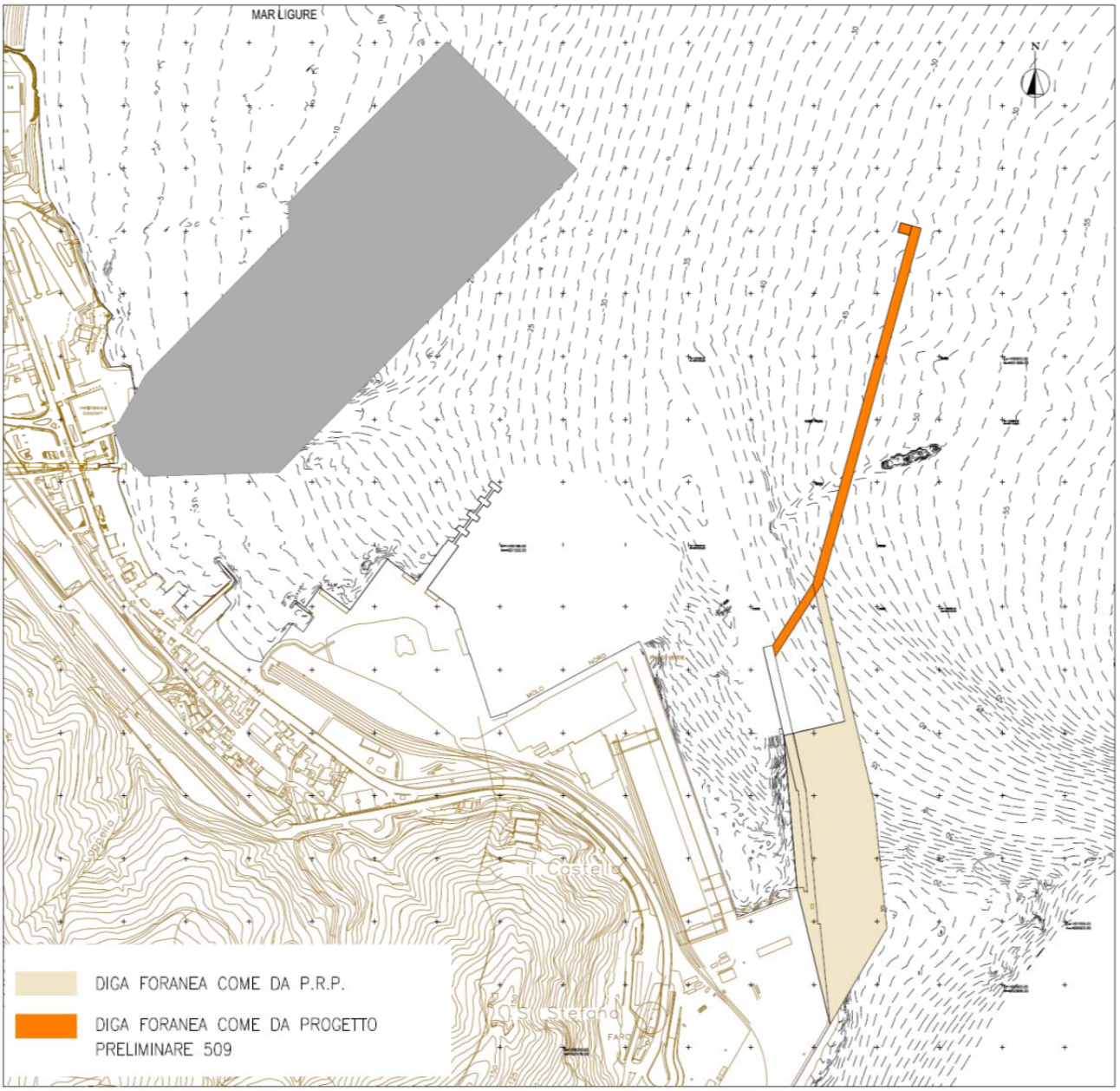


FIG. 1.2 - NUOVA DIGA FORANEA COME DA PROGETTO PRELIMINARE 509 REDATTO DALL'AUTORITÀ PORTUALE

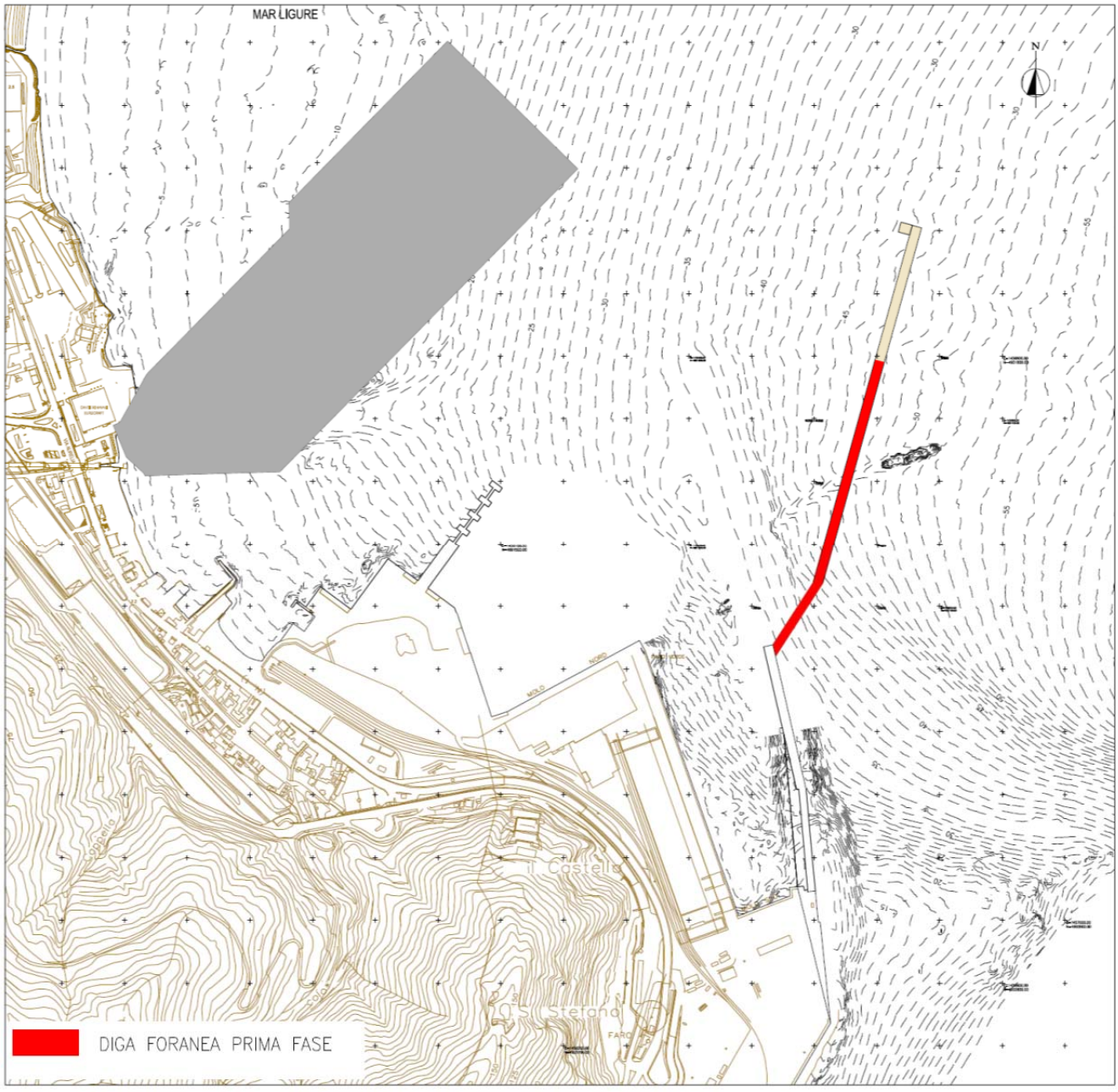


FIG. 1.3 - PRIMA FASE DELLA NUOVA DIGA FORANEA

2. VITA UTILE E 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 Tab. 2.1.

TAB. 2.1 - 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 od alla distruzione totale in relazione alle deformazioni-modificazioni subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno subito (vedi Tab. 2.2)

Per strutture rigide (dighe a parete verticale), per le quali è estremamente difficile riparare il danno, si assume la probabilità di distruzione totale. Si è fatta la stessa assunzione per la protezione dei fondali vicino alle strutture a parete verticale e per lo scanno di imbasamento della diga foranea, al fine di fornire la stessa probabilità di danneggiamento attribuita alle strutture stesse.

Per strutture flessibili o comunque per opere riparabili (ad es. dighe a scogliera), 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. Per le scogliere si può assumere un rischio per la vita umana limitato e una ripercussione economica media o medio-bassa.

TAB. 2.2 - MASSIMA PROBABILITÀ DI DANNEGGIAMENTO AMMISSIBILE NEL PERIODO DI VITA OPERATIVA DELL'OPERA PF

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.

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}:

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

Per la diga foranea nella configurazione finale, in relazione alla sua importanza si può associare un livello di sicurezza pari a 2. Tutte le opere definitive possono essere considerate come infrastrutture civili di uso generale, cui corrisponde quindi un tempo di vita di 50 anni. Riguardo alla configurazione di prima fase si è assunta una vita tecnica di 10 anni, conformemente all'impegno dell'Autorità Portuale di completare la diga foranea con riferimento alla configurazione finale da PRP.

Per quanto riguarda la massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo operativo dell'opera, si assume la probabilità corrispondente alla distruzione totale, tipica delle opere a parete verticale. Inoltre si può assumere un rischio per la vita umana limitato e una ripercussione economica media o medio-bassa, a seconda dei casi.

In definitiva nel dimensionamento delle opere in progetto si sono adottati i valori dell'altezza d'onda significativa corrispondenti ai periodi di ritorno indicati in Tab. 2.3.

TAB. 2.3 - PERIODI DI RITORNO DELL'ONDA DI PROGETTO –DIGA FORANEA NELLA CONFIGURAZIONE FINALE E DI PRIMA FASE

Configurazione	Tv (anni)	Pf	Tr teorico (anni)	Tr adottato (anni)
Diga finale da PRP	50	0,2	224	**250**
Diga prima fase	10	0,2	45	**50**

Per la definizione delle caratteristiche delle onde di progetto associate ai diversi tempi di ritorno considerati si rimanda alla Relazione Meteomarina (El. MI0102-PE-D-L-R-001-00).

3. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA CON RIFERIMENTO ALLE NTC

3.1. Normativa

Le verifiche saranno condotte con riferimento a quanto stabilito nel capitolo 8 delle NTC 2008, che riporta quanto di seguito:

"Le costruzioni esistenti devono essere sottoposte a valutazione della sicurezza quando ricorra anche una delle seguenti situazioni:

- *riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti, dovuta ad azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni), situazioni di funzionamento ed uso anomalo, deformazioni significative imposte da cedimenti del terreno di fondazione;*
- *provati gravi errori di progetto o di costruzione;*
- *cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione;*
- *interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modifichino la rigidezza.*

Qualora le circostanze di cui ai punti precedenti riguardino porzioni limitate della costruzione, la valutazione della sicurezza potrà essere limitata agli elementi interessati e a quelli con essi interagenti, tenendo presente la loro funzione nel complesso strutturale.

La valutazione della sicurezza deve permettere di stabilire se:

- *l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;*
- *l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);*
- *sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.*

La valutazione della sicurezza dovrà effettuarsi ogni qual volta si eseguano gli interventi strutturali di cui al punto 8.4 delle NTC, e dovrà determinare il livello di sicurezza prima e dopo l'intervento.

Il Progettista dovrà esplicitare, in un'apposita relazione, i livelli di sicurezza attuali o raggiunti con l'intervento e le eventuali conseguenti limitazioni da imporre nell'uso della costruzione."

Da quanto sopra riportato, stabilito dalle NTC 2008, si evince, che se la destinazione d'uso non cambia e se i carichi non variano in maniera significativa, non è richiesta una valutazione della sicurezza per la diga nella configurazione di progetto.

Nel caso in esame la destinazione d'uso non cambia e nel paragrafo 3.2 successivo, dimostreremo che i carichi agenti sulla diga, calcolati attualmente, non aumentano in conseguenza della rotazione della diga stessa.

3.2. Confronto tra diga nella posizione attuale e nella posizione di progetto

Partendo dal fatto che spostando la diga la destinazione d'uso non cambia, dimostriamo di seguito, che anche il carico calcolato attualmente per la diga nella posizione di progetto è praticamente uguale a quello calcolato per la diga nella posizione attuale.

Prendendo come riferimento il cassone della sezione tipo D (si vedano figure 3.1 e 3.2 sotto riportate).

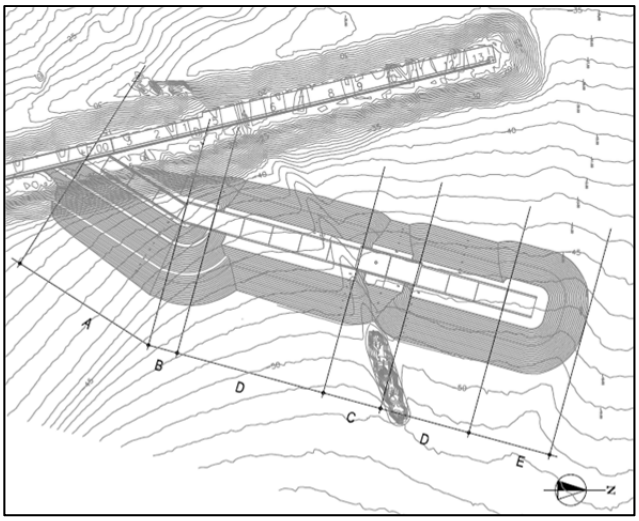


FIG. 3.1 - PLANIMETRIA DELLA DIGA FORANEA DI 1A FASE CON UBICAZIONE SEZIONI TIPO

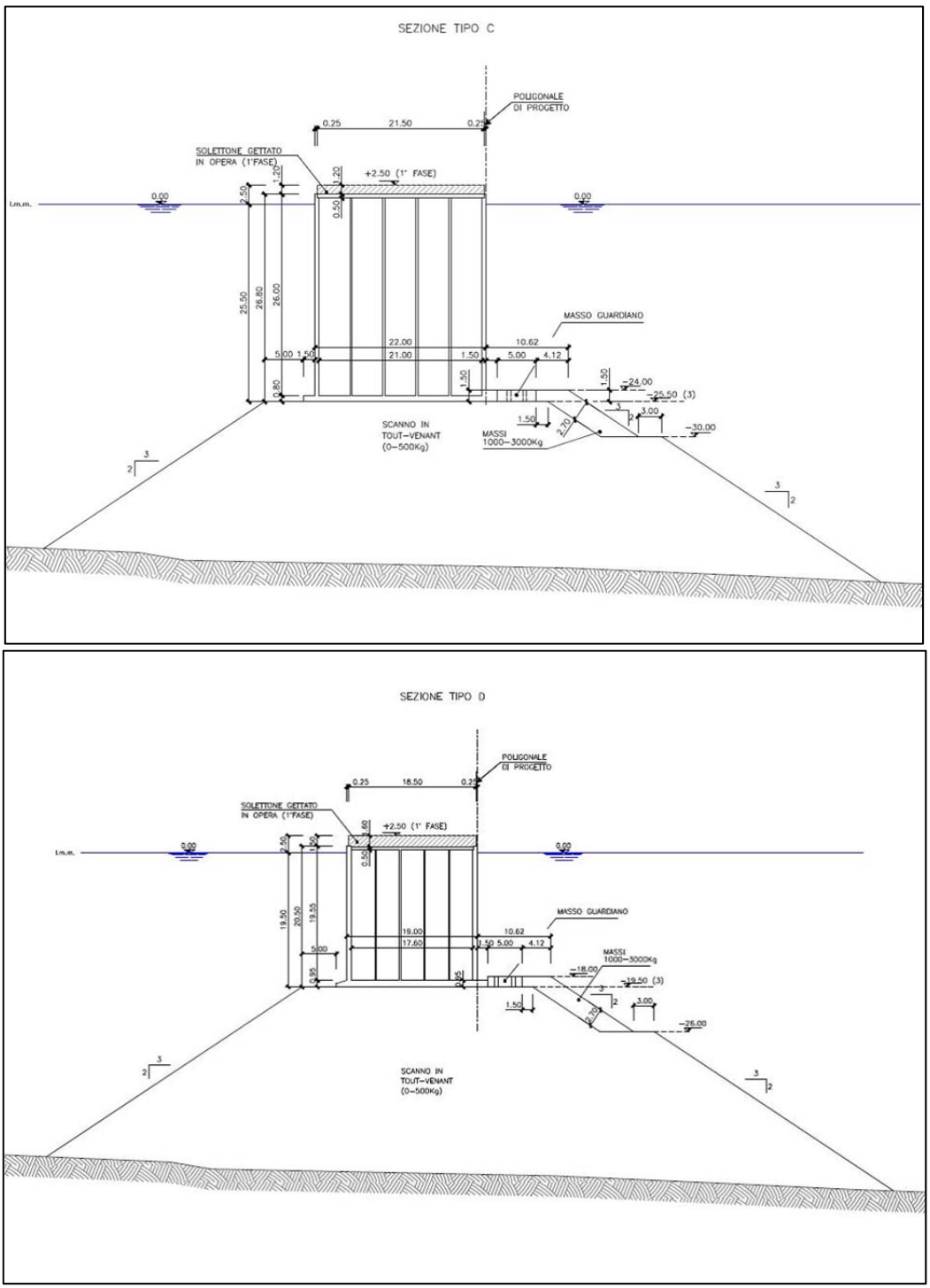


FIG. 3.2 - SEZIONI TIPO C E D DELLA DIGA FORANEA DI 1A FASE – TRATTO VERSO MARE

Eseguendo il calcolo dei carichi d'onda sui cassoni tipo D nella posizione attuale con 38 m e sugli stessi cassoni nella posizione di progetto, con fondale di 50m, risulta che la differenza di carico è irrisoria. Si passa da un carico della cresta di 1870 kN/m^2 a 1867 kN/m^2 e quindi le verifiche strutturali e di stabilità porterebbero agli stessi coefficienti di sicurezza.

3.3. Conclusioni

In base a quanto sopra dimostrato si può concludere che, lo spostamento dei cassoni dalla posizione attuale alla posizione prevista nel progetto della nuova diga foranea, che implica l'approfondimento del fondale di calcolo al piede dell'opera da 38 m a 50 m e la modifica dell'inclinazione dei cassoni rispetto alle onde incidenti (con rotazione di circa 30 °: orientamento diga esistente 357°N, orientamento diga di progetto 15°N), non porta a significative variazioni dell'entità dei carichi. I carichi di progetto non si modificano significativamente dal momento che nei calcoli si è considerata, a favore della sicurezza, un'onda ortogonale alla diga e l'approfondimento del fondale fa aumentare dello 0.3% il carico orizzontale relativo alla cresta dell'onda, e del 2% la sua sottospinta. Se si eseguisse quindi una verifica dei cassoni della diga nella posizione attuale, risulterebbero gli stessi coefficienti di sicurezza della diga spostata come da progetto.

I cassoni nella posizione attuale e con i carichi calcolati attualmente si trovano nella stessa condizione d'uso e nella stessa condizione di carico della diga nella posizione prevista dal presente progetto. Non sussiste quindi nessuna delle condizioni elencate nel capitolo 8 per le quali la costruzione esistente, una volta spostata, debba essere sottoposta a valutazione della sicurezza.

Nella relazione di calcolo MI0102-PE-D-C-R-002-00 si sono comunque condotte le verifiche si di sicurezza agli SLU, ma con il solo scopo d'avere un indicazione sul reale stato delle cose con i carichi calcolati attualmente (carichi che non cambiano, anche spostando la diga come da progetto).

4. CONDIZIONI GEOTECNICHE E METEOMARINE DI RIFERIMENTO

4.1. Rilievi topobatimetrici

L'Autorità Portuale di Savona ha reso disponibili, già per il progetto definitivo della piastra, una serie di rilievi batimetrici, realizzati negli anni precedenti, per questo progetto e per altri interventi, con la tecnologia multibeam nella rada di Vado Ligure; i rilievi erano in coordinate locali, ma facilmente riportabili in coordinate globali avendo tutti capisaldi facilmente individuabili e certi, in quanto cementati entro strutture fisse.

Erano inoltre disponibili, sempre per il Progetto Definitivo, i rilievi a terra eseguiti sempre dall'Autorità Portuale per i progetti di attraversamento dell'Aurelia e della viabilità nell'area portuale.

Per tutti i motivi sopra esposti si è resa necessaria, perla realizzazione del Progetto Definitivo, l'integrazione dei rilievi, al duplice scopo di avere una mappa vettoriale in coordinate globali dell'intera area, e di possedere rilievi che coprissero tutte le aree ed i manufatti interessati nella progettazione in corso.

Le attività svolte si possono riassumere come segue:
- inquadramento topografico dell'area e traduzione dei rilievi esistenti in coordinate globali;
- rilievo batimetrico con ecoscandaglio di tipo Multibeam;
- rilievo dell'area di radicamento a terra della piattaforma;
- individuazione della rete dei sottoservizi;
- rilievo dei pontili.

4.1.1. Inquadramento topografico

Per riferire i risultati dei rilievi al Sistema Nazionale Gauss-Boaga orientato a Monte Mario è stata effettuata una poligonazione vincolata alla rete di caposaldi IGM utilizzando sistemi elettro-ottici di precisione e ricevitori satellitari: teodoliti elettronici (let-

tura 1 cc), vincolata a tre punti trigonometrici della rete IGM con grado di affidabilità 1° e 2°.

La poligonazione è stata anche vincolata alla rete di punti IGM95, stazionando con ricevitori satellitari:

- su almeno 2 vertici della rete IGM95 più vicini ed omogenei;
- su un congruo numero di stazioni che individuavano i vertici esterni del poligono massimo in cui erano inscritti i rilievi;
- sui centrini o capisaldi di livellazione.

E' stata inoltre effettuata una livellazione geometrica di alta precisione per collegare altimetricamente tutti i punti utilizzati per la poligonazione e stazionati con i ricevitori satellitari.

La livellazione è stata ancorata a tre capisaldi di livellazione I.G.M..

Nella zona oggetto dei rilievi sono stati ubicati capisaldi di livellazione e punti stabili di riferimento con densità di almeno uno per chilometro.

A partire quindi dai capisaldi esistenti facenti parte dei rilievi pregressi, è stato possibile tradurli in coordinate globali Gauss Boaga.

4.1.2. Rilievo batimetrico con ecoscandaglio di tipo Multibeam

L'area sottoposta a rilievo batimetrico, integrativo rispetto a quello messo a disposizione dall'Autorità Portuale di Savona, è indicata in Fig. 4.1 ed è delimitata ad Ovest dalla linea di riva, mentre a Est del rilievo esistente, considerato sufficiente al fine dell'identificazione della presenza di popolamenti biologici di fondo; l'area è completata dai punti le cui coordinate sono riportate in figura ed è esclusa l'area dell'attuale porto tra l'esistente diga foranea ed il molo dei traghetti. mentre è compresa l'area tra la futura piattaforma e il molo dei traghetti.

I dati batimetrici misurati con l'ecoscandaglio, sono elaborati mediante software specifico al fine di consentire:

- la pulizia dei dati di navigazione (in particolare salti di navigazione);
- l'applicazione delle correzioni di marea e riduzione dei dati alla superficie di riferimento richiesta;
- la produzione del Modello Digitale del Terreno (DTM) come una maglia di passo massimo 0,5 m tra la profondità di 0,0 m e 60,0 m;
- la produzione di immagini ombreggiate (Shade Relief) di dettaglio del Modello Digitale del Terreno (DTM), aventi lo scopo di consentire una corretta individuazione di formazioni sommerse che possono potenzialmente ospitare popolamenti biologici dei fondi coralligeni.
- l'estrazione dal DTM di profili batimetrici, isobate, piano quotato.

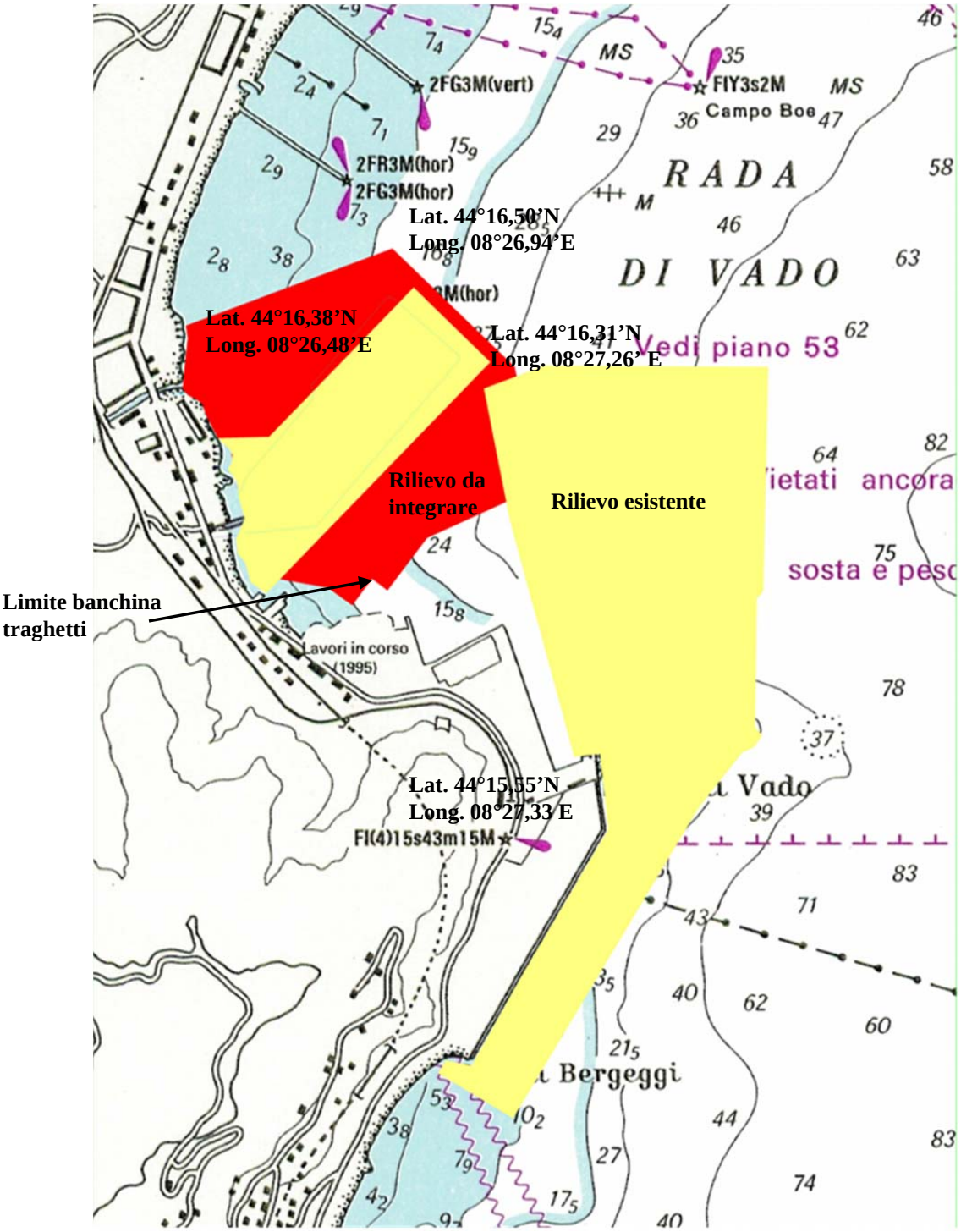


FIG. 4.1 - VADO LIGURE – DIGA FORANEA - ZONA INTERESSATA DAL RILIEVO BATIMETRICO CON ECOSCANDAGLIO DI TIPO MULTIBEAM

4.1.3. Documentazione prodotta

Dopo il completamento delle attività di campo è stata restituita la seguente documentazione.

Rilievo batimetrico con ecoscandaglio tipo Multibeam

I risultati dei rilievi Fig. 4.2 sono stati restituiti in forma cartografica ed alfanumerica, su supporto informatico, accompagnati da:



FIG. 4.2 - VADO LIGURE – DIGA FORANEA - RILIEVO BATIMETRICO CON ECOSCANDAGLIO TIPO MULTIBEAM

– relazione descrittiva del rilievo a supporto della cartografia proposta;
– descrizione delle procedure di lavoro adottate (inclusi i risultati delle calibrazioni effettuate);
– specifiche tecniche della strumentazione utilizzata;

- monografie dei capisaldi di appoggio;
- tabelle di marea registrate nel periodo di osservazione richiesto;
- carte di navigazione con le tracce di tutti i transetti eseguiti;
- elenco dei punti battuti e/o estratti in formato ASCII organizzati in colonne che riportano le coordinate planimetriche (Coord. Gauss Boaga e UTM-WGS84) ed altimetriche riferite al livello di riferimento richiesto (l.m.m.);
- carte plano-batimetriche in formato vettoriale CAD e GIS (3D), che riportano la linea di costa, le opere a mare esistenti, le isobate. L'equidistanza delle isobate è 1.0 m rispetto al livello medio mare. Le carte riportano le tracce delle sezioni trasversali estratti ed i reticoli Gauss Boaga;
- griglia utilizzata per la generazione del DTM con file in formato ASCII XYZ, la maglia non dovrà essere superiore a 50 cm.

Rilievo dell'area di intestazione a terra della piattaforma - Sottoservizi - Rilievo dei pontili

La documentazione fornita relativamente al rilievo dell'area di intestazione a terra della piattaforma è la seguente:

- planimetria in scala 1:500 con riportata l'area rilevata ed i capisaldi ufficiali e/o nuovi della poligonale;
- monografie di tutti i punti monumentali;
- piano quotato in scala 1:200 della zona di intervento con ubicazione dei fabbricati e dei punti, su supporto magnetico (formato DWG per gli elaborati grafici e file ASCII delle triplette di punti);
- rapporto esplicativo sul lavoro topografico svolto ed ogni altra informazione utile ad una corretta interpretazione degli elaborati;
- fotografie esplicative eseguite con punto di presa ubicato sulla planimetria.
- documentazione fotografica se realizzata.

Relativamente al rilievo dei pontili è stata fornita:

- una relazione tecnica che illustra in linea di massima i criteri di impostazione delle indagini ed una descrizione delle tipologie e dello stato di conservazione delle strutture;

- copia cartacea e/o elettronica dei progetti dei pontili esistenti, se disponibili;
- planimetrie con ubicazione dei pontili;
- sezioni dei pontili;
- documentazione fotografica.

Queste attività hanno consentito di disporre di una base affidabile (Fig. 4.3), in coordinate globali, sulla quale è stata impostata la progettazione delle opere.



FIG. 4.3 - VADO LIGURE – DIGA FORANEA - BASE TOPOGRAFICA

4.2. Geologia, evoluzione geomorfologica ed idrogeologica dell'area

La struttura geologica dell'area di progetto mostra la presenza di contatti trasgressivi, evidenziando una complessa storia geologica e morfologica.

Sul basamento roccioso, costituito dagli gneiss di Capo Vado, si sono depositati tanto i sedimenti granulari quaternari quanto le argille compatte probabilmente di età pliocenica.

I medesimi terreni quaternari si sono anche depositati sulle argille compatte.
Si evidenzia dunque una complessa storia deposizionale che ha messo in contatto formazioni e terreni di diverse età geologiche.

4.2.1. Lineamenti stratigrafici generali dell'area di progetto

La paleomorfologia dell'area rivela una complessa evoluzione che ha modellato particolarmente l'argilla compatta pliocenica, con accentuata geometria sulla quale si sono depositati i sedimenti granulari recenti, costituiti prevalentemente di ghiaia, sabbia e limo.
Il basamento roccioso di Capo Vado si approfondisce sotto il livello del mare in direzione NS, come evidenziato dai sondaggi del Molo Sopraflutti S1, S1bis e S2 e da quelli dell'area traghetti S07, S08, S09, S11.
La roccia quindi raggiunge notevoli profondità nell'area della nuova piastra multifunzionale.
Anche nella zona a terra della nuova piastra la roccia si trova a notevole profondità, superiore probabilmente a -80/-100 m s.l.m.m.
E' presumibile che su questa inclinata superficie rocciosa, interessata da erosioni vallive che si sviluppano in direzione Sud Nord e verso Ovest, cioè nella zona a terra della nuova piastra, si sia depositata l'argilla compatta in epoca pliocenica.
A seguito del sollevamento tettonico della linea di costa, questa argilla ha subito un processo di indurimento che le ha conferito un notevole grado di preconsolidazione, ma è anche stata erosa notevolmente, dando luogo a profonde incisioni.
L'andamento generale del tetto di questa argilla è leggermente inclinato in direzione NO-SE. Questa primitiva conformazione geologica è stata notevolmente erosa lungo

l'attuale linea di costa, dietro la nuova piastra multifunzionale, ma anche nello spazio tra l'area traghetti ed il pontile Fornicoke, dove crea una fossa che risale in direzione NE per poi riprendere la sua originaria pendenza in direzione NE dall'estremità del pontile Fornicoke.

La paleomorfologia dell'argilla pliocenica mostra quindi un alto morfologico in corrispondenza della nuova piastra multifunzionale, avendo subito una pronunciata erosione lungo la linea di costa in direzione NO-SE, e sui due lati, tanto quello a NO fino all'altezza della sezione stratigrafica T4 ovvero fino a metà del pontile Esso, quanto quello a SE fino alla sezione stratigrafica T5 ovvero dall'estremità del pontile Fornicoke.

Queste erosioni laterali hanno lasciato nella zona della piastra delle zone sopraelevate nel tetto dell'argilla pliocenica tra le sezioni stratigrafiche T2-T8.

Questa complessa paleomorfologia è stata quindi coperta dai depositi granulari quaternari, ghiaie, sabbie con un'accentuata presenza di limi nella parte più superficiale.

Questi terreni hanno riempito la depressione lungo la linea di costa, ricoprendo l'argilla pliocenica nella zona della piastra, dove descrivono il fondale che si approfondisce in direzione NE. Nella zona a Sud Est hanno poi ricoperto anche il profilo della roccia di Capo Vado nell'area traghetti ed alla radice del molo frangiflutti. Seguendo l'immersione verso NE del tetto dell'argilla pliocenica si nota un considerevole aumento dello spessore della ghiaia e della sabbia limosa, che sono conformi al profilo dell'argilla pliocenica. Gli spessori degli strati limosi superiori a granulometria più fine restano praticamente invariati. Appare dunque di complessa interpretazione il periodo deposizionale di questi terreni granulari che dal tetto dell'argilla compatta mostrano un profilo fine upward, cioè la granulometria diventa più fine dal basso verso l'alto.

E' molto probabile quindi che la deposizione sia avvenuta in ambiente continentale per quanto riguarda la ghiaia e la sabbia limosa soprastante, per poi chiudersi con una deposizione di terreni a grana fine, prevalentemente limo, in acque poco profonde.

Questo processo deposizionale è stato possibile durante le glaciazioni würminane, quando il livello del mare si è abbassato fino a 100 m sotto il livello attuale.

Alla fine dell'era pleistocenica il mare è risalito da -100 m s.l.m.m. al livello attuale, con continuità tra 50000 e 12000÷10000 anni da oggi, per poi rimanere, con piccole variazioni, al livello attuale. E' in questo periodo che può essere avvenuta la deposizione di questi terreni, con un ambiente deposizionale che è passato progressivamente da con-

tinentale a bacino di sedimentazione in acque poco profonde. La deposizione continentale ha prevalso per gli strati di ghiaia e sabbia, quella in acqua di mare per i terreni fini soprastanti, come testimoniato dall'abbondante presenza di resti di forma marina, conchiglie e fossili di varia natura.
Nel seguente periodo olocenico, ovvero negli ultimi 10000 anni questi terreni sono rimasti sotto il livello del mare, più o meno come nella attuale condizione, esposti maggiormente ad erosione piuttosto che a sedimentazione.

4.2.2. Stratigrafia media ricavata dalle indagini in situ

L'esame di tutti i sondaggi geognostici e delle prove in situ effettuate nelle varie campagne di indagine, ha mostrato una successione stratigrafica, a partire dal fondale, che vede man mano il passaggio a livelli sempre più grossolani, passando pertanto da livelli a prevalenza limosa, a livelli a prevalenza sabbiosa e poi ghiaiosa. Tali livelli rappresentano la deposizione quaternaria, che si attesta sul livello di argilla pliocenica di base.
In sintesi la successione stratigrafica risulta pertanto:

- Strato superficiale poco addensato;
- Sabbia limosa;
- Ghiaia;
- Argilla;
- Roccia.

Lo strato superficiale, costituito da limo sabbioso, è stato suddiviso in due livelli denominati nel seguito L1 ed L2.
E' possibile osservare che, al di sotto della piattaforma, lo strato limoso superficiale L1 ha uno spessore medio di 4 m, variabile tra 2.5 m e 6 m, tendendo a scomparire verso terra. In corrispondenza dell'esistente pontile fornicoke, è stato quasi completamente dragato e pertanto il suo spessore si riduce ancora di più.
Il livello L2 non risulta presente lungo la costa ed il suo spessore, nell'area della futura piastra, risulta variabile tra 0 e 6 m, mediamente pari a 5 m.
Lo strato denominato SL, presente al di sotto di L1 ed L2, mostra spessori elevati lungo la costa, per ridurre il suo spessore nella prima metà della piastra a circa 4 m ed incrementarlo ancora nella zona a maggiori profondità di fondale fino a circa 13 m. In prossimità della costa, come verificato dal sondaggio S10, al di sotto dello strato di sabbia

limosa SL, è presente uno strato di sabbia più pulita S con spessore che supera i 20 m. Sempre verso terra si è riscontrata la presenza di una lente a prevalenza limosa, compresa tra lo strato SL e G. Tale lente viene confermata sia delle prove CPTU che dai sondaggi eseguiti nelle diverse campagne di indagine in tale area. Lo strato di ghiaia G, posto al di sotto di SL, si insinua man mano proseguendo dalla costa verso mare, mostrando spessori mediamente pari a 4 m al di sotto della piastra, che si incrementano fino anche a 24 m lungo il lato sud della piattaforma e a 22 m verso l'estremità a mare della stessa.
Al di sotto del livello granulare sabbioso-ghiaioso posto al letto della deposizione quaternaria, si individua la deposizione pliocenica, costituita da argilla limosa/limo argilloso sovraconsolidata, che in alcuni sondaggi giunge a profondità superiore a -100 m s.l.m.m. Soltanto in alcuni sondaggi è stata incontrata quella che si può definire la roccia di base, costituita dalla formazione rocciosa che forma Capo Vado.

4.2.3. Idrogeologia

Durante l'indagine eseguita nel 1969 per il pontile Esso fu riscontrata acqua in pressione che si origina principalmente dallo strato di ghiaia G.
Durante lavori di fondazione eseguiti nell'area portuale sono state raccolte testimonianze di acqua in pressione nei terreni di fondazione.
In tutti questi casi sembra trattarsi di acqua dolce, quindi proveniente dall'entroterra.
In particole si è constatato che la risalita artesiana si è verificata soltanto nei sondaggi che hanno attraversato il livello di ghiaia G.
Si può quindi descrivere a linee generali il seguente modello idrogeologico:

- la falda continentale, con livello superiore di qualche metro al medio mare, entra in contatto con il mare attraverso la vasta depressione lungo la costa riempita da terreno granulare mediamente permeabile, vedi le sezioni stratigrafiche longitudinali e la descrizione fornita nel precedente paragrafo;
- in virtù della sua pressione superiore a quella esercitata dal mare spinge il cuneo salino verso il mare e si spinge così al di là della linea di costa;
- lo strato di ghiaia, di elevata permeabilità, cattura questa pressione e la trasporta al largo, fino al termine della nuova piastra ed oltre, come dimostrato nei sondaggi 1969.

Durante l'indagine fu osservato come la risalita d'acqua era di almeno 1 m sopra il livello del mare, sondaggio S4.
Negli altri sondaggi si è evidenziata una forte venuta di acqua in pressione. Considerando la possibile altezza della piattaforma da cui verranno eseguiti i sondaggi e le osservazioni riportate circa le venute di acqua si può considerare che la risalita sia stata tra 2 e 3 m sopra il livello del mare.
Considerando che lo spessore di L1, L2, SL sopra la ghiaia mediamente è intorno a 15 m, ne deriva un gradiente di flusso verticale verso l'alto tra 0.15 e 0.2.
Considerando però che la permeabilità del terreno diminuisce dal tetto della ghiaia verso l'alto, ne deriva che il gradiente varia con la profondità.
In prima approssimazione si può supporre che nello strato di sabbia subito a contatto con la ghiaia il gradiente sia ≤ 0.1, nello strato di limo con consistenza bassa L2 tra 0.15÷0.2 e, nello strato di limo con consistenza bassa L1 possa giungere fino a 0.3, comunque con valori compresi tra 0.25 e 0.30. E' plausibile ritenere che la presenza di tale gradiente possa avere influito sullo stato di addensamento dello strato superficiale di limo.
Per quanto riguarda la storia deposizionale dei terreni è probabile che la deposizione di L1 ed L2 sia avvenuta prima o contemporaneamente alla pressione artesiana. Il tutto è riconducibile all'entroterra, se è stato sempre più alto del livello del mare e quindi in grado di trasmettere o meno una pressione artesiana nei terreni sotto il livello del mare.

4.2.4. Caratterizzazione sismica

La valutazione dell'azione sismica è stata fatta secondo le prescrizioni contenute nel DM 14/01/2008.
In relazione alle caratteristiche della Diga Foranea sono stati stabiliti i seguenti parametri significativi:
V_N = vita nominale della struttura = 50 anni
$V_R = C_u V_N$
classe d'uso = II
$C_u = 1$
$V_R = V_N = 50$ anni

Le probabilità di superamento P_{VR} degli stati limiti sono:
stati limiti di danno SLD: $P_{VR} = 63\%$
stati limiti di salvaguardia della vita SLV: $P_{VR} = 10\%$
stati limiti di prevenzione del collasso SLC: $P_{VR} = 5\%$.
A questi valori di P_{VR} corrispondono i seguenti periodi di ritorno T_r e quindi, per il sito di Vado Ligure, valgono i seguenti valori di a_g, F_0, T_c^* .

P_{VR}	T_r	a_g	F_0	T_c^*
63	50	0.024	2.54	0.187
10	475	0.058	2.608	0.307
5	975	0.074	2.64	0.326

Soltanto per i cassoni tipo A è prevista una vita utile inferiore, pertanto:
V_N = vita nominale della struttura = 10 anni
$V_R = C_u V_N$
classe d'uso = II
$C_u = 1$
$V_R = V_N = 10$ anni

I corrispondenti periodi di ritorno T_r e quindi i relativi valori di a_g, F_0, T_c^* sono:

P_{VR}	T_r	a_g	F_0	T_c^*
63	35	0.020	2.565	0.167
10	332	0.051	2.589	0.292
5	682	0.066	2.623	0.315

Per quanto riguarda la categoria del suolo, ai sensi delle NTC2008, il terreno di fondazione si inquadra nella categoria D.
Conoscendo la categoria del suolo la normativa definisce un coefficiente di sito con cui valutare il massimo valore dell'accelerazione al livello del fondale:
$a_{max} = a_g S_S S_T$
dove:
Ss = coefficiente di sito

S_T = coefficiente topografico
Per suolo di categoria D in base alla normativa si ottiene: S_S = 1.8.
Data la geometria delle opere il coefficiente topografico S_T vale invece 1.4.
Considerando lo stato limite SLV si ottiene a_{max}:

a_{max}	=	0.146	per T_r = 475 anni	cassoni tipo B, C, D e E
a_{max}	=	0.128	per T_r = 332 anni	cassoni tipo A

I corrispondenti coefficienti sismici orizzontali e verticali kh e kv sono i seguenti:

$$kh = \beta_m \frac{a_{max}}{g}$$
$$kv = 0.5kh$$

Il coefficiente b, considerando un'opera di sostegno con un'accelerazione su suolo rigido inferiore a 0.1 g, sarà pari a 0.18, da cui:
CASSONE TIPO B, C, D, E:
$kh = 0.026$
$kv = 0.013$

CASSONE TIPO A:
$kh = 0.023$
$kv = 0.011$

In aggiunta a tali carichi, in presenza di sisma, si considera poi la spinta idrodinamica dell'acqua valutata secondo Westergaard:

$$q = \frac{7}{8} k_h \gamma_w \sqrt{hz}$$

dove
h = altezza di acqua libera;
z = quota dal pelo libero;
g_w = peso di volume dell'acqua.

Per i cassoni tipo A e B, che hanno anche un riempimento in terra lato mare, si è valutata, in aggiunta ai carichi precedenti, la spinta dinamica del terreno, tramite il coefficiente di spinta dinamico di Mononobe Okabe:

$$K = \frac{sin^2(\Psi + \varphi' - \vartheta)}{cos\vartheta sin^2(\Psi)\,\sin(\Psi + \vartheta - \delta)\left[1 + \sqrt{\frac{sin(\varphi' + \delta)\sin(\varphi' - \beta - \vartheta)}{\sin(\Psi - \vartheta - \delta)\,\sin(\Psi + \beta)}}\right]^2}$$

Dove:

f' = angolo d'attrito del terreno

Y = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete del muro

b=angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terreno

d = attrito muro terreno

$tan\vartheta = \frac{\gamma_d}{\gamma'}\frac{kh}{1 \pm kv}$ (caso terreno permeabile).

4.3. Indagini geotecniche e caratterizzazione dei terreni di fondazione

4.3.1. Indagini antecedenti il Progetto (ante 2006)

4.3.1.1 Ampliamento Pontile Esso - SGI/SIPAC 1969

Sono stati effettuati 10 sondaggi geognostici lungo lo sviluppo del pontile esistente e del prolungamento, proposto nel progetto di ampliamento, ma non realizzato.
I sondaggi sono stati eseguiti a carotaggio continuo, con prove in sito SPT e Vane Test, prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati per le prove di laboratorio.
Sono state individuate sostanzialmente due formazioni, una superficiale di natura granulare ed una profonda costituita da limi ed argille compatti.
Questa indagine ha permesso di documentare, ai fini di questo studio, la presenza di un flusso di acqua dolce in condizione artesiana rispetto al fondale, che trova la sua maggiore diffusione attraverso lo strato di ghiaia di cui si è detto.
Nel corso della realizzazione dei sondaggi infatti è stata riscontrata la risalita attraverso il tubo di rivestimento di acqua in pressione, una volta attraversato il livello limoso sabbioso più superficiale e raggiunto lo strato ghiaioso a più alta permeabilità.

4.3.1.2 Pontile Fornicoke - Studio Celotti 1974

Nell'ambito del progetto sono stati effettuati 2 sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT e prelievo di campioni.

4.3.1.3 Prolungamento molo sopraflutti di Capo Vado - RC 1976

Nell'ambito del progetto sono stati effettuati 6 sondaggi geognostici lungo lo sviluppo del prolungamento del futuro molo.
I sondaggi sono stati effettuati a carotaggio continuo, con prove in sito SPT e prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati per le prove di laboratorio.

Nei primi quattro sondaggi, procedendo da Capo Vado verso il largo, si è incontrata roccia al letto del livello granulare sovrastante, costituita da gneiss, denominato Granito del Torrente Letimbro, che si presenta in uno stato alterato.
Nell'ambito del livello granulare superficiale si è chiaramente individuata una porzione poco addensata, poggiante su un livello ghiaioso sabbioso la cui potenza incrementa procedendo verso mare, a scapito della roccia che tende ad inabissarsi per non essere più individuata nei due sondaggi posti sui fondali più profondi.

4.3.1.4 Molo Traghetti - RC 1980

Nell'ambito del progetto si fa riferimento alle stratigrafie di 7 sondaggi - S07, S08, S09, S10, S11, S12 e S13.
Per i sondaggi S07 - S09 non sono disponibili le stratigrafie di dettaglio, ma è fornita una sezione stratigrafica schematica da cui si evince la presenza di un livello granulare sabbioso limoso della potenza di circa 10 m poggiante su roccia.
La stessa roccia si individua nel sondaggio S11, mentre il sondaggio S10 incontra l'argilla compatta.

4.3.2. Indagini per il Progetto della Nuova Diga Foranea

La campagna di indagine del 2014 ha visto l'esecuzione di vibrocore, lungo l'asse della futura Diga, più due sondaggi realizzati lungo il molo sopraflutti.
Le indagini lungo la Nuova Diga hanno interessato soltanto gli strati più superficiali, penetrando nel fondale per soli 3-4 m. I due sondaggi S1 ed S2 eseguiti all'interno della diga esistente hanno invece attraversato il corpo diga, spingendosi almeno 15-20 m all'interno del fondale, raggiungendo entrambi la roccia di base.
Alcuni campioni sono stati prelevati e sono stati mandati in laboratorio dove si sono eseguite per lo più prove di classificazione.

Tali sondaggi hanno confermato la stratigrafia del molo sopraflutti già valutata con la precedente campagna di indagine e si è potuta meglio definire quella al di sotto dell'asse della Nuova Diga, che mostra in ogni caso la stessa successione di strati:

- L: limi e limi sabbiosi;

- SL: sabbie limose;
- G: ghiaie e ghiaietto;
- R: substrato roccioso.

In aggiunta a tali sondaggi è inoltre stato eseguito nel 2006 un profilo sismico, procedendo da terra verso mare, attraversando la futura diga intorno alla -47 m l.m.m.

4.3.3. Caratterizzazione dei terreni di fondazione

I parametri geotecnici dei terreni di fondazione sono stati valutati sulla base delle indagini disponibili, eseguite sia nell'area della vicina Piattaforma, sia nell'area della nuova Diga. Si rimanda alla relazione geotecnica per tutti i dettagli circa la definizione geotecnica dei terreni.
Di seguito si richiama la tabella di caratterizzazione, Tab. 4-2, e la stratigrafia media utilizzata per la analisi svolte sulla Diga, Tab. 4-1.
Come si può osservare la stratigrafia nell'area della diga è costituita da 3 strati principali, a granulometria via via più grossolana con la profondità, con spessore medio complessivo di circa 15 m. Al di sotto di tali strati si ritrova la roccia di base. Soltanto nella parte più a mare della diga si è osservato un rapido approfondimento del tetto della roccia di base, con un conseguente incremento dello spessore dello strato di ghiaia G.

TAB. 4-1 VADO LIGURE –DIGA FORANEA – STRATIGRAFIA MEDIA

STRATIGRAFIA MEDIA DI PROGETTO		
Spessore medio [m]	Strato	Note
5	L1	Limo sabbioso con spessore variabile tra 4 e 6 m
5	SL	Sabbie più o meno limose con sottolivelli di limo sabbioso. Spessore variabile tra 2 e 8 m, crescente verso la parte più a mare della diga
4	G	Ghiaia con sabbia e poco limo, con spessore circa costante lungo la diga, che si incrementa in modo si-

		gnificativo al di sotto del cassone tipo E, per un rapido approfondimento della roccia di base

TAB. 4-2 VADO LIGURE –DIGA FORANEA – CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Livello	γ	IP	G_s	OCR	e_0	K	c_v	C_u	c'	ϕ'	E (*) (MPa)		G_{max}	α_{Eur} (**)	CR RR	C_α	ν	k_0
	(kN/m^3)	(-)	(-)	(-)	(-)	(m/s)	(m^2/s)	(kPa)	(kPa)	(°)	m	n	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
L1	16	10	2.73	5	1.35	3E-8	5E-6	(***)	0	33	1.5	0.75	15	14	0.135 0.0096	3E-3	0.35	0.50
L2	17	10	2.73	1	1.28	3E-8	2E-5	(***)	0	32	1.5	0.75	40	13	0.135 0.0096	3E-3	0.35	0.50
SL	18	-	2.72	1	1.10	1E-7	-	-	0	32	-	0.6	70	9	-	-	0.30	0.50
G	19	-	2.72	1	-	1E-5	-	-	0	40	30	0.6	120	8	-	-	0.30	0.50
A	18.5	20	2.75	≥ 3	1.00	1E-9	3E-6	200	200	27	-		150	-	0.27 0.025	1E-3	0.25	1.50

(*) Per SL e G il modulo E varia con lo stato tensionale tramite la formula seguente:
$E = m(\sigma'_v/p_a)^n$ dove p_a = pressione atmosferica,
σ'_v = sforzo verticale agente $= \sigma'_{v0}$ allo stato naturale
$= \sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v$ in presenza delle opere
Per L1, L2 e A le caratteristiche di deformabilità sono ricavabili da CR ed RR, adeguandoli al valore della tensione efficace agente.

(**) E_R si ottiene da E attraverso il fattore α_{Eur} quindi: $E_{ur} = \alpha_{Eur} \times E$

(***) Per individuare il valore di Cu per L1 ed L2 si può utilizzare la seguente relazione:
$Cu = 0.46 \cdot OCR^{0.7}\sigma'_v$

Per quanto concerne le caratteristiche del materiale utilizzato per la realizzazione della diga, considerando che si tratta di un tout-venant 0-500 kg, si assumono le seguenti caratteristiche geotecniche:

γ = 18 kN/m^3
E = 40 Mpa
Φ' = 45 °.

4.4. Le condizioni meteomarine

Scopo di questo capitolo è di definire le condizioni meteomarine relative al paraggio dove è prevista la "Nuova Piastra Multifunzionale del Porto di Vado Ligure", di riferimento per la progettazione delle nuove opere.

Per i dettagli si rimanda alla relazione meteomarina del progetto.

Di seguito sono ripresi in sintesi i risultati ottenuti relativamente alla definizione delle seguenti condizioni meteomarine:

- i livelli del mare;
- le condizioni anemometriche;
- il moto ondoso al largo ed in corrispondenza delle nuove opere nel bacino di Vado: a riguardo in particolare è stata effettuata la propagazione delle onde dal largo verso costa mediante l'utilizzo di un modello matematico.

Le varie analisi svolte hanno tenuto conto anche del contributo di studi specialistici redatto in passato per il paraggio in esame: per l'elenco delle pubblicazioni e studi consultati si rimanda alla relazione meteomarina.

4.4.1. Esposizione del paraggio

Il paraggio di Vado è ubicato nella riviera di Ponente della costa ligure. L'esposizione della zona d'intervento è compresa tra 50° e 180°N con un settore di massimo fetch proveniente da sud e sud-est caratterizzato da valori di 150-200 km. Per le altre possibili direzioni di provenienza il fetch geografico si mantiene inferiore a 100 km.

Il sito risulta naturalmente protetto nei confronti degli eventi ondosi di maggiore intensità, provenienti da Libeccio, per effetto dell'azione schermante offerta da Capo Vado. Il sito risulta esposto direttamente solo agli eventi provenienti dal secondo quadrante, e, parzialmente dal primo che, come si è visto, non presenta fetch particolarmente estesi. Il paraggio di Vado Ligure è caratterizzato da una batimetria, tipica delle coste liguri, per cui si raggiungono profondità superiori ai 50 e talora ai 100 m a ridotta distanza dalla costa (Fig. 4.4). Già dalla semplice analisi di tale batimetria si può quindi intuire come le onde provenienti dal largo non subiscano rilevanti modificazioni delle loro grandezze fondamentali (altezza, periodo di picco e direzione di propagazione dell'onda) fintantoché non raggiungono zone molto prossime a riva.

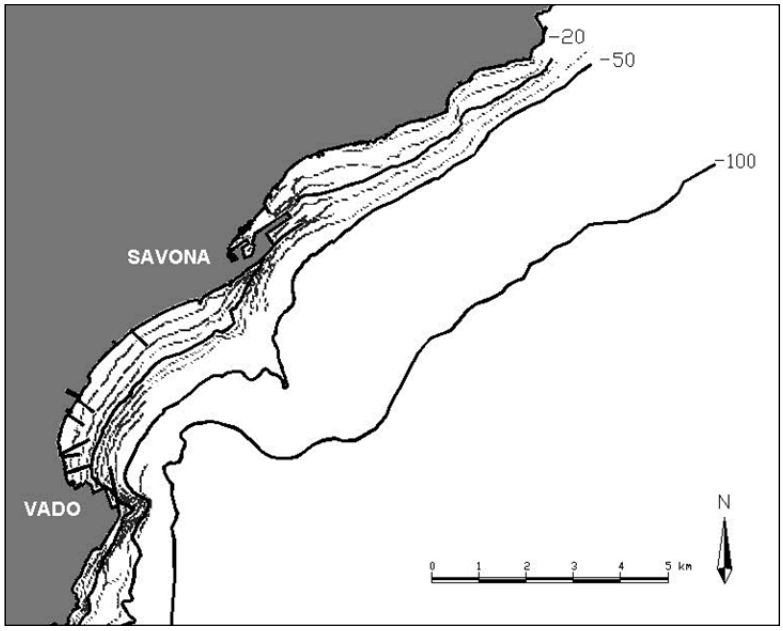


FIG. 4.4 - VADO LIGURE – DIGA FORANEA - CONDIZIONI METEOMARINE - LE BATIMETRIE NEL PARAGGIO DI VADO LIGURE

4.4.2. 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. 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, ovvero 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 (dal mareografo di Genova, relative al periodo 1998 - 2008) sono state elaborate al fine di separare le due componenti astronomica e meteorologica.

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 Tab. 4.3, con riferimento a valori del tempo di ritorno pari a 1, 5, 10, 20 e 50 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 Tab. 4.3.

TAB. 4.3 - RISULTATI DELL'ANALISI STATISTICA DEI LIVELLI ESTREMI

T_r	**M. Meteorologica (m)**		**M. Astronomica**	**Livello marino**
(anni)	**Pearson (tipo III)**	**Gumbel**	**(m)**	**(m)**
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

4.4.3. Le condizioni anemometriche

4.4.3.1 Le condizioni frequenti di vento

La disponibilità di serie storiche di dati di vento molto lunghe riguardano una stazione a terra in prossimità dell'intervento, proprio a Vado Ligure. I dati di Vado Ligure che si riferiscono al periodo 1986-1997, che come si può notare nel seguito sono stati selezionati per definire le condizioni di vento sottocosta, sono stati ottenuti dalla stazione ubicata in corrispondenza della postazione Capo Vado 1 sita in località Scoglio bianco (Lat. Nord 44°15'30", Long. Est 8°26'58") che si trova proprio vicino al porto di Vado, oggi gestita dall'ARPAL Liguria. L'anemometro è ubicato ad una quota piuttosto alta di 220 m sul l.m.m. (quota del terreno 200 m e l'anemometro posizionato a 20 m da terra) ed ha registrato i dati con cadenza semioraria. Si ritiene che questo anemometro sia in grado di fornire dati rappresentativi delle condizioni locali.

Sono stati poi raccolti i dati di vento (con cadenza trioraria) ricostruiti presso il Centro Meteorologico di Bracknell con riferimento al periodo 1987-2008, che vengono utilizzati per definire le condizioni di vento al largo e sulla base delle quali il Centro Meteorologico di Bracknell ha ricostruito le condizioni d'onda al largo. I dati raccolti sono stati elaborati 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).
Nelle Fig. 4.5 e Fig. 4.6 sono mostrate la rose dei venti dedotte dalle due serie anemometriche e nelle

Tab. 4.4, Tab. 4.5 le percentuali di occorrenza per classi di velocità e direzioni del vento. Si fa notare che i dati registrati all'anemometro di Vado Ligure sono stati riportati alla quota di 10 m sul l.m.m., utilizzando la nota formula di letteratura u10=uz (10/z)1/7.
Le velocità del vento dell'UKMO risultano un po' più basse rispetto a quelle registrate all'anemometro di Vado Ligure. Anche le direzioni di provenienza del vento risentono per l'anemometro di Vado Ligure dei fenomeni legati alla particolare orografia del sito d'interesse.

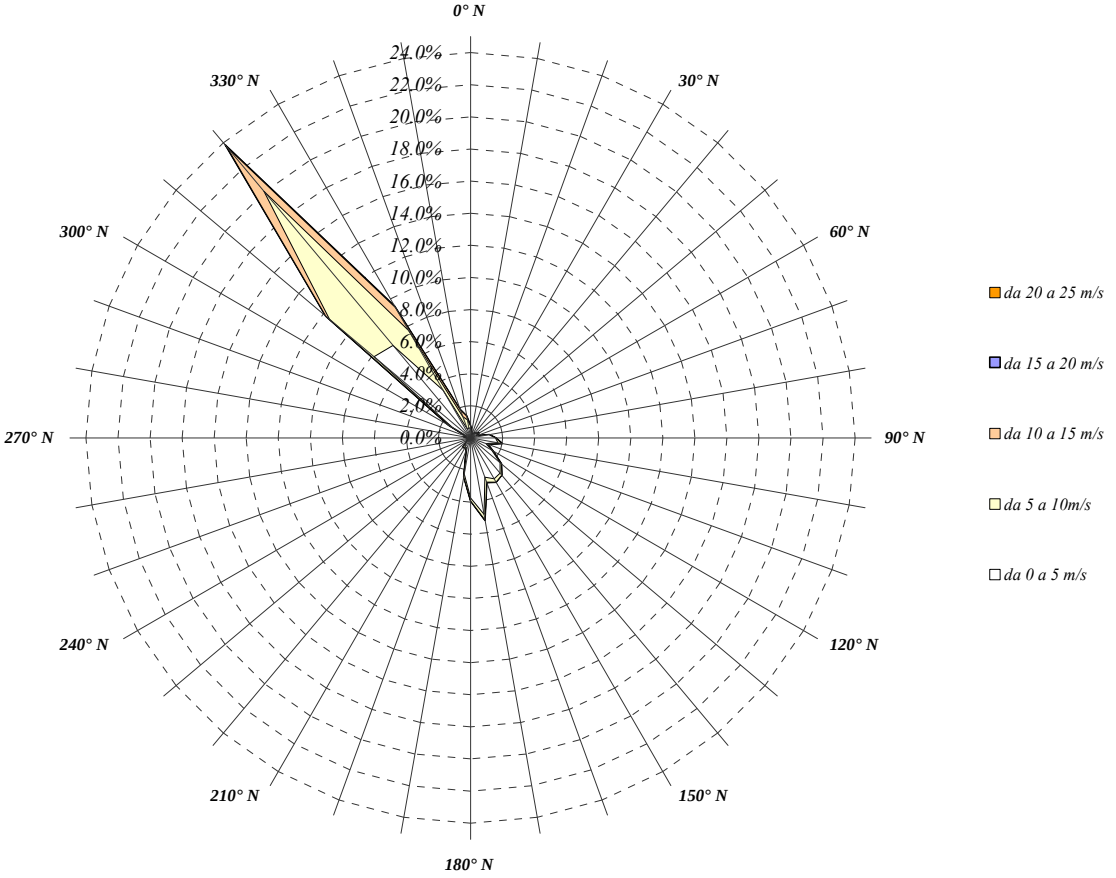


FIG. 4.5 - VADO LIGURE, ROSA DEI VENTI - DATI ORARI, 1986-1997

TAB. 4.4 - FREQUENZE DI OCCORRENZA DELLE VELOCITÀ E DIREZIONE DEL VENTO A VADO LIGURE (1986-1997)

VV (m/s)	≥ 0	≥ 5	≥ 10	≥ 15	≥ 20	≥ 25	≥ 30	≥ 35	Tot.
DIREZIONE °N	< 5	< 10	< 15	< 20	< 25	< 30	< 35	< 40	
5	**0.583**	**0.149**	**0.014**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.751**
15	**0.378**	**0.030**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.409**
25	**0.197**	**0.011**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.209**
35	**0.246**	**0.011**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.258**
45	**0.392**	**0.010**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.404**
55	**0.436**	**0.009**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.445**
65	**0.598**	**0.007**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.607**
75	**0.368**	**0.014**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.382**
85	**1.156**	**0.031**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.189**
95	**1.552**	**0.044**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.598**
105	**1.736**	**0.218**	**0.050**	**0.007**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.011**
115	**1.027**	**0.114**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.145**
125	**1.548**	**0.085**	*0.000*	**0.003**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.636**
135	**2.417**	**0.095**	**0.003**	*0.000*	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.516**
145	**2.871**	**0.158**	**0.003**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.033**
155	**2.941**	**0.246**	**0.003**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.190**
165	**2.604**	**0.328**	**0.025**	**0.007**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.965**
175	**4.827**	**0.376**	**0.013**	**0.002**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**5.219**
185	**3.737**	**0.181**	**0.007**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.926**
195	**2.270**	**0.189**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.460**
205	**0.671**	**0.121**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.791**
215	**0.650**	**0.061**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.711**
225	**0.526**	**0.174**	**0.059**	**0.003**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.761**
235	**0.299**	**0.023**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.324**
245	**0.113**	**0.006**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.121**
255	**0.055**	**0.005**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.061**
265	**0.102**	**0.008**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.112**
275	**0.209**	**0.008**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.219**
285	**0.383**	**0.046**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.432**
295	**0.246**	**0.025**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.273**
305	**1.322**	**0.224**	**0.033**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.578**
315	**7.862**	**3.623**	**0.291**	**0.012**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**11.788**
325	**7.519**	**12.529**	**3.588**	**0.166**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**23.802**
335	**3.429**	**4.289**	**1.658**	**0.101**	**0.001**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**9.478**
345	**0.561**	**0.849**	**0.449**	**0.029**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.888**
355	**0.648**	**0.504**	**0.217**	**0.012**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.381**
Tot.	**56.480**	**24.799**	**6.442**	**0.351**	**0.002**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**88.074**

4.580% **eventi di calme**

7.346% **eventi di direzione indeterminata**

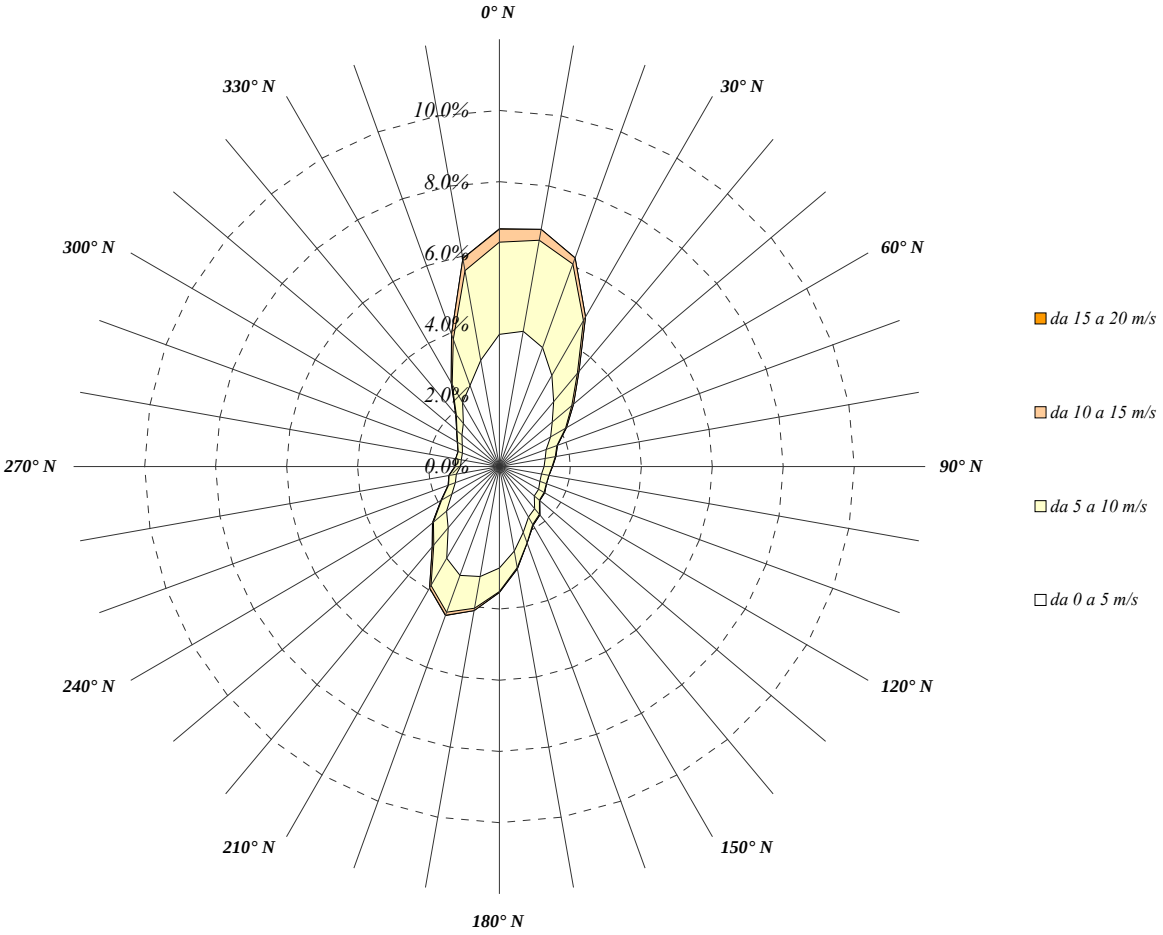


FIG. 4.6 - PUNTO UKMO - ROSA DEI VENTI. DATI TRIORARI, 1987-2008

TAB. 4.5 - FREQUENZE DI OCCORRENZA DELLE VELOCITÀ E DIREZIONE DEL VENTO AL LARGO - DATI UKMO (1987-2008)

VV (m/s)	≥ 0	≥ 5	≥ 10	≥ 15	≥ 20	≥ 25	≥ 30	≥ 35	Tot.
DIREZIONE °N	< 5	< 10	< 15	< 20	< 25	< 30	< 35	< 40	
5	**3.714**	**2.586**	**0.364**	**0.012**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**6.677**
15	**3.856**	**2.593**	**0.314**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**6.765**
25	**3.555**	**2.495**	**0.180**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**6.234**
35	**2.951**	**1.784**	**0.119**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**4.853**
45	**2.379**	**1.039**	**0.070**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.488**
55	**1.941**	**0.718**	**0.061**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.721**
65	**1.668**	**0.482**	**0.032**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.183**
75	**1.402**	**0.321**	**0.016**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.743**
85	**1.307**	**0.291**	**0.018**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.617**
95	**1.255**	**0.230**	**0.012**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.496**
105	**1.200**	**0.212**	**0.007**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.419**
115	**1.214**	**0.191**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.410**
125	**1.274**	**0.179**	**0.018**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.470**
135	**1.279**	**0.193**	**0.012**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.484**
145	**1.542**	**0.209**	**0.021**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.773**
155	**1.633**	**0.244**	**0.021**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.899**
165	**1.964**	**0.308**	**0.011**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.285**
175	**2.409**	**0.471**	**0.037**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.917**
185	**2.851**	**0.661**	**0.021**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.536**
195	**3.135**	**0.902**	**0.072**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**4.110**
205	**3.254**	**1.099**	**0.095**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**4.452**
215	**2.970**	**0.887**	**0.077**	**0.007**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.940**
225	**2.253**	**0.627**	**0.063**	**0.011**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.954**
235	**1.947**	**0.478**	**0.035**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.460**
245	**1.545**	**0.333**	**0.021**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.901**
255	**1.319**	**0.212**	**0.007**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.538**
265	**1.235**	**0.207**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.447**
275	**1.099**	**0.142**	**0.014**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.255**
285	**1.088**	**0.163**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.253**
295	**1.111**	**0.126**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.240**
305	**1.207**	**0.154**	**0.011**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.372**
315	**1.377**	**0.180**	**0.018**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.575**
325	**1.584**	**0.310**	**0.019**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.915**
335	**2.076**	**0.590**	**0.051**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.721**
345	**2.428**	**1.374**	**0.147**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.955**
355	**3.033**	**2.553**	**0.349**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**5.938**
Tot.	**72.056**	**25.542**	**2.327**	**0.075**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**100.000**

4.4.3.2 Le condizioni estreme di vento

Per la definizione dei valori estremi della velocità del vento sottocosta è stato elaborato il set di dati registrati all'anemometro di Vado Ligure presentato nel paragrafo precedente, mediante la distribuzione di probabilità di Gumbel con riferimento all'elaborazione dei massimi annuali.

Nelle tabelle riportate di seguito sono presentati i risultati delle elaborazioni svolte. I valori della velocità del vento di Vado Ligure indicati in Tab. 4.6 fanno riferimento alla quota di 220 m sul l.m.m., mentre quelli indicati in Tab. 4.7 sono riferiti alla quota di 10 m sul l.m.m..

TAB. 4.6 - VALORI DELLA VELOCITÀ DEL VENTO (M/S) IN FUNZIONE DEL TEMPO DI RITORNO - DATI DELL'ANEMOMETRO DI VADO LIGURE ALLA QUOTA DI 220 M SUL L.M.M.

Tempo di ritorno (anni)			
2	**10**	**50**	**100**
28	32	36	37

TAB. 4.7 - VALORI DELLA VELOCITÀ DEL VENTO (M/S) IN FUNZIONE DEL TEMPO DI RITORNO - DATI DELL'ANEMOMETRO DI VADO LIGURE RIPORTATI ALLA QUOTA DI 10 M SUL L.M.M.

Tempo di ritorno (anni)			
2	**10**	**50**	**100**
18	21	23	24

Per la definizione dei valori estremi della velocità del vento al largo è stato elaborato il set di dati dell'UKMO presentato nel paragrafo precedente, mediante la distribuzione di probabilità di Gumbel con riferimento all'elaborazione dei massimi annuali.

Nella tabella riportata di seguito sono presentati i risultati delle elaborazioni svolte.

TAB. 4.8 - VALORI DELLA VELOCITÀ DEL VENTO (M/S) IN FUNZIONE DEL TEMPO DI RITORNO - DATI NEL PUNTO AL LARGO UKMO

Tempo di ritorno (anni)			
2	**10**	**50**	**100**
17	19	22	23

4.4.4. Il moto ondoso al largo

4.4.4.1 I dati di moto ondoso disponibili

I dati di moto ondoso disponibili ai fini della definizione delle caratteristiche meteomarine del paraggio di interesse sono i seguenti:

- dati dell'UKMO, ricostruiti con il modello European Wave Model nel punto di coordinate 44° N e 8.74° E, relativi al decennio 1987-1998 acquisti dall'Università di Padova e al decennio 1998-2007 acquisiti direttamente da Technital;
- i dati dell'ondametro direzionale di Nizza, ubicato nel punto di coordinate (43° 38.30' N; 07° 13.70' E), relativi al periodo 2002 - 2007;
- i dati KNMI relativi al periodo 1961-1980 osservati nell'ambito del territorio di mare delimitato dalle coordinate (43°N; 8°E) e (43°N; 10°E).

In Fig. 4.7 sono ubicati i punti di misura del moto ondoso, con riferimento ai dati precedentemente elencati e in Fig. 4.8 è evidenziata l'estensione delle aree di rilievo dei dati KNMI.

4.4.4.2 I dati di moto ondoso disponibili

Le varie tipologie di dati analizzate hanno consentito di definire il clima di moto ondoso al largo del porto di Vado. L'ondametro direzionale ubicato a Nizza rappresenta l'unica fonte di dati d'onda direttamente misurati, sebbene per un periodo limitato. Considerata l'esposizione di Nizza, si ritiene che i dati dell'ondametro possano essere considerati d'interesse per il paraggio di Vado solo per direzioni di provenienza da scirocco

(105°N - 165°N). I dati KNMI, considerata l'area di rilievo possono essere considerati d'interesse per un settore più ampio compreso tra 105°N e 195°N.

Dal confronto di questi dati si può concludere che nel settore d'interesse (45°N - 220°N) le frequenze di occorrenza valutate per le varie tipologie di dati sono abbastanza simili, pertanto si ritiene di poter selezionare il clima di moto ondoso ricavato a partire dai dati UKMO (vedi Tab. 4.9).

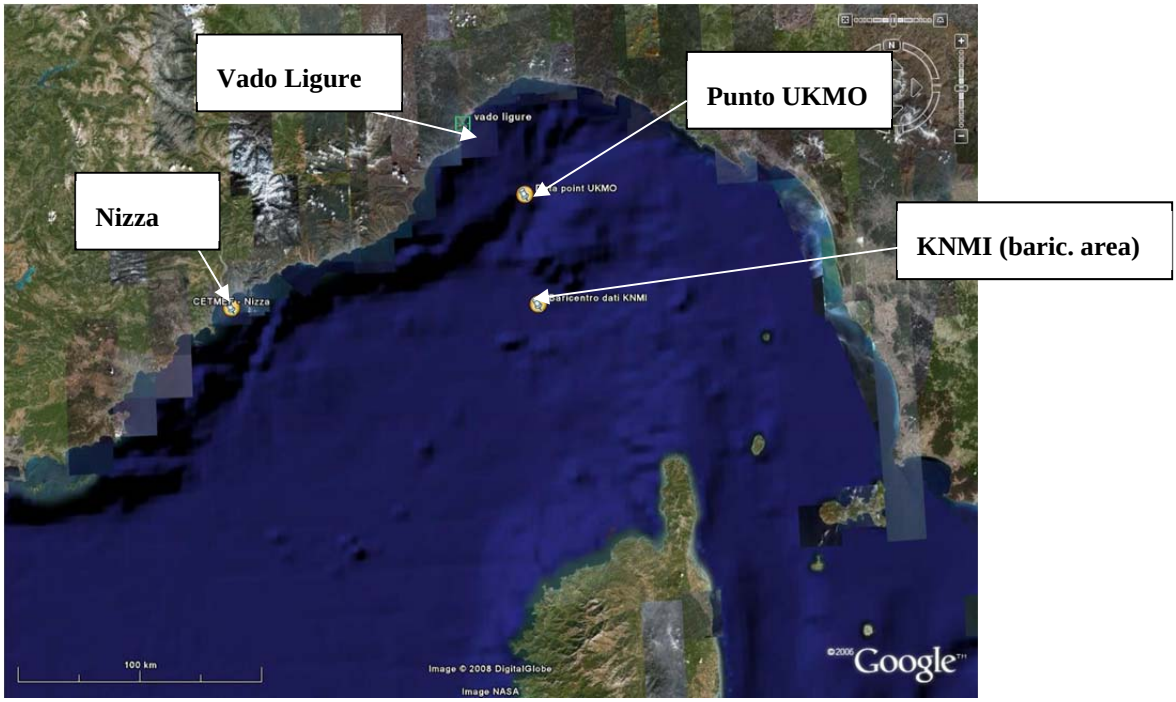


FIG. 4.7 - UBICAZIONE DEI PUNTI DI MISURA DEL MOTO ONDOSO

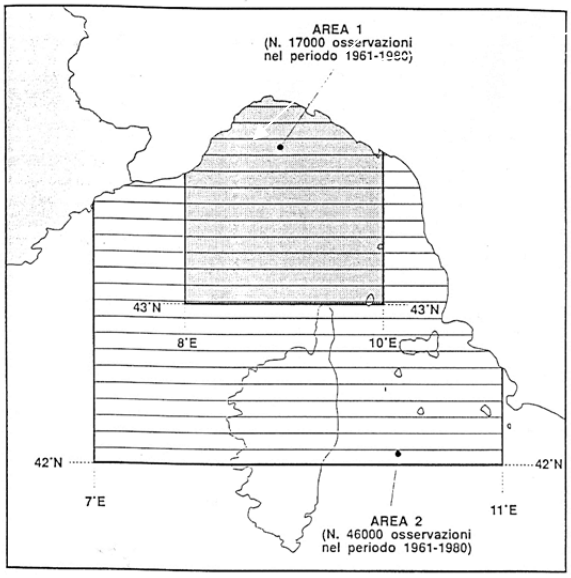


FIG. 4.8 - DATI DI MOTO ONDOSO KNMI - ESTENSIONE DELLE AREE DI RILIEVO DEI DATI

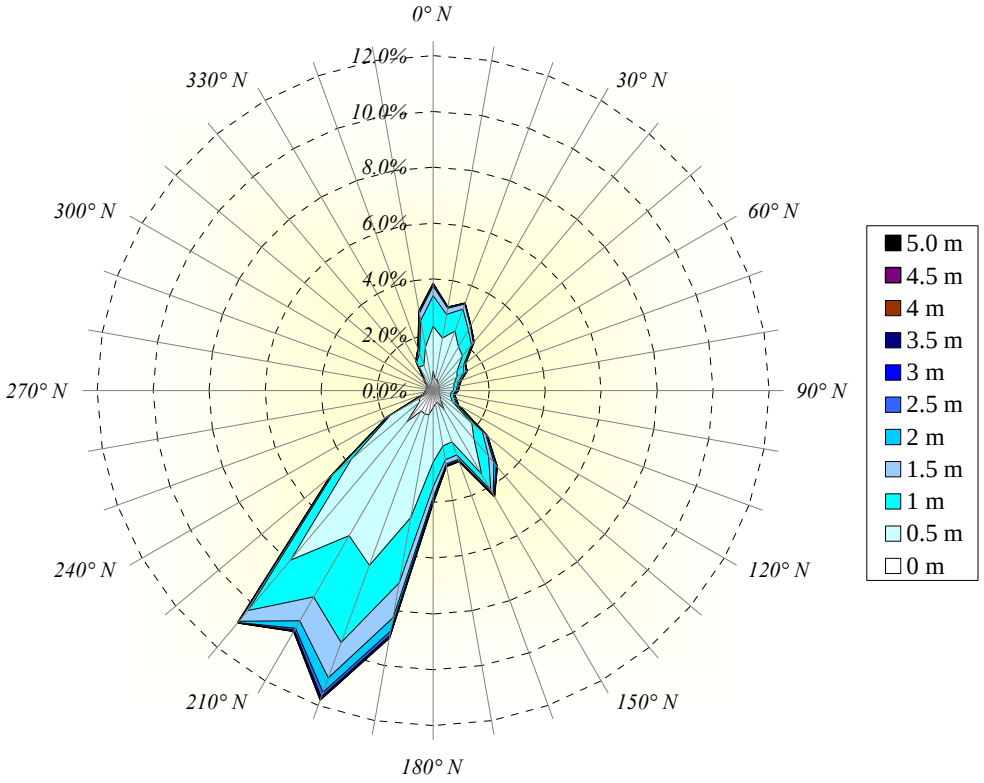


FIG. 4.9 - ROSA DEL MOTO ONDOSO AL LARGO DI VADO, NEL PUNTO DI COORDINATE 44°N; 8,73°E, OTTENUTA CON I DATI UKMO 1987 - 2008

TAB. 4.9 - 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	
5	**0.694**	**1.614**	**1.092**	**0.345**	**0.065**	**0.023**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.832**
15	**0.415**	**1.495**	**0.860**	**0.223**	**0.039**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.036**
25	**0.424**	**1.843**	**0.836**	**0.193**	**0.033**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.331**
35	**0.328**	**1.479**	**0.704**	**0.154**	**0.019**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.686**
45	**0.303**	**1.319**	**0.506**	**0.100**	**0.042**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.271**
55	**0.252**	**0.866**	**0.289**	**0.068**	**0.019**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.500**
65	**0.251**	**0.729**	**0.282**	**0.098**	**0.037**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.398**
75	**0.228**	**0.568**	**0.163**	**0.084**	**0.018**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.065**
85	**0.226**	**0.522**	**0.121**	**0.046**	**0.019**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.939**
95	**0.235**	**0.482**	**0.109**	**0.042**	**0.019**	**0.011**	*0.000*	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.899**
105	**0.196**	**0.417**	**0.112**	**0.033**	**0.007**	**0.002**	**0.002**	**0.002**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	**0.774**
115	**0.224**	**0.445**	**0.131**	**0.039**	**0.028**	**0.004**	**0.002**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.876**
125	**0.240**	**0.559**	**0.159**	**0.056**	**0.026**	**0.002**	*0.000*	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.044**
135	**0.336**	**1.463**	**0.505**	**0.161**	**0.046**	**0.016**	*0.000*	**0.002**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	**2.530**
145	**0.401**	**1.861**	**0.818**	**0.289**	**0.138**	**0.030**	**0.016**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**3.557**
155	**0.776**	**2.681**	**0.661**	**0.168**	**0.058**	**0.014**	**0.009**	**0.007**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**4.373**
165	**0.440**	**1.510**	**0.501**	**0.166**	**0.040**	**0.019**	**0.019**	**0.002**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	**2.700**
175	**0.489**	**1.526**	**0.503**	**0.154**	**0.044**	**0.030**	**0.007**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.754**
185	**0.606**	**1.959**	**0.887**	**0.370**	**0.105**	**0.063**	**0.018**	**0.011**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	**4.019**
195	**0.878**	**3.736**	**2.376**	**1.263**	**0.494**	**0.159**	**0.054**	**0.012**	**0.011**	**0.007**	**0.002**	**8.992**
205	**0.890**	**5.770**	**2.945**	**1.344**	**0.552**	**0.175**	**0.067**	**0.025**	**0.011**	**0.005**	*0.000*	**11.783**
215	**0.836**	**5.158**	**2.541**	**0.986**	**0.310**	**0.077**	**0.035**	**0.014**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	**9.959**
225	**1.458**	**6.464**	**2.358**	**0.499**	**0.063**	**0.014**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**10.858**
235	**0.647**	**3.163**	**0.866**	**0.112**	**0.026**	**0.002**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**4.817**
245	**0.566**	**1.207**	**0.098**	**0.012**	**0.007**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.894**
255	**0.217**	**0.119**	**0.014**	**0.009**	**0.002**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.364**
265	**0.170**	**0.100**	**0.016**	**0.007**	*0.000*	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.294**
275	**0.165**	**0.077**	**0.016**	**0.005**	**0.002**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.266**
285	**0.144**	**0.070**	**0.011**	**0.002**	**0.004**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.231**
295	**0.156**	**0.065**	**0.012**	**0.012**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.249**
305	**0.126**	**0.063**	**0.026**	**0.004**	**0.005**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.224**
315	**0.121**	**0.109**	**0.023**	**0.014**	**0.005**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.273**
325	**0.186**	**0.233**	**0.060**	**0.011**	**0.002**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**0.491**
335	**0.223**	**0.760**	**0.189**	**0.047**	**0.018**	**0.004**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.240**
345	**0.258**	**0.711**	**0.454**	**0.109**	**0.044**	**0.007**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**1.582**
355	**0.315**	**1.276**	**0.957**	**0.272**	**0.061**	**0.016**	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	*0.000*	**2.896**
Tot.	**14.418**	**52.416**	**22.199**	**7.497**	**2.400**	**0.706**	**0.231**	**0.086**	**0.032**	**0.012**	**0.002**	**100.00**

4.4.4.3 Analisi degli eventi estremi

La statistica degli eventi estremi è stata effettuata utilizzando un codice di calcolo che permette di elaborare la serie dei dati di moto ondoso al largo e di analizzare opportunamente gli eventi statisticamente più significativi, al fine di individuare le caratteristiche progettuali di maggiore importanza per il dimensionamento e la verifica delle nuove strutture.

La metodologia in uso, attualmente ritenuta lo schema di analisi più efficiente ed accurato a disposizione (proposta da Goda nel 1988), è quella detta della serie di durata parziale sopra soglia o, seguendo la terminologia anglosassone, del metodo P.O.T. (Peaks Over Treshold).

Lo studio condotto ha permesso in particolare di definire le caratteristiche del moto ondoso al largo del sito in esame per i 4 settori di provenienza in cui esso è stato suddiviso. Utilizzando la serie di dati dell'UKMO relativi al periodo 1989 - 2008, sono stati calcolati gli eventi estremi, per tempi di ritorno compresi tra 1 e 1000 anni, per i settori 50°N - 100 °N, 100°N - 150°N, 150°N - 190°N e 190° - 220°N.

Gli eventi estremi per i 4 settori, calcolati per i vari tempi di ritorno, sono riassunti nella Tab. 4.10, nella quale si è riportato per completezza, oltre al valore del periodo Tz, anche il valore del periodo di picco Tp associato al moto ondoso, calcolato per mezzo della relazione Tz=Tp/1,28, comunemente utilizzata in letteratura. Il periodo di picco è espresso dalla relazione $Tz = 3.7*(Hs)^{\wedge 0,5}$ che, si è visto, bene interpreta la serie ondametrica ricostruita, per quanto riguarda le onde estreme.

Le mareggiate più gravose sono quelle provenienti dai settori 150°-190°N e 190°-220°N. Queste mareggiate raggiungono la diga foranea con altezze d'onda ridotte rispetto a quelle al largo ma comunque significative ai fini del dimensionamento, ma interessano poco la piattaforma in quanto si propagano nel bacino portuale prevalentemente per diffrazione, risultando di entità più bassa in corrispondenza delle nuove opere della piattaforma.

Le mareggiate dal settore 50-100°N, sebbene di entità più modesta, risentono meno dell'effetto di schermatura della diga foranea e si presentano in corrispondenza delle nuove opere con l'intensità maggiore.

TAB. 4.10 - STATISTICA DEGLI EVENTI ESTREMI

settore 50°N -100°N

Tr (anni)	Hs (m)	Tz (s)	Tp (s)
1	1,6	4,8	6,2
2	1,9	5,2	6,7
5	2,3	5,8	7,3
10	2,6	6,1	7,8
15	2,8	6,4	8,1
20	2,9	6,5	8,3
25	3,0	6,6	8,4
50	3,3	6,9	8,8
100	3,6	7,2	9,2
150	3,8	7,4	9,5
250	4,1	7,7	9,8
500	4,4	8,0	10,2
1000	4,7	8,2	10,5

settore 100°-150°N

Tr (anni)	Hs (m)	Tz (s)	Tp (s)
1	2,1	5,5	7,0
2	2,5	6,0	7,7
5	3,1	6,7	8,6
10	3,5	7,1	9,1
15	3,8	7,4	9,5
20	4,0	7,6	9,7
25	4,1	7,7	9,9
50	4,6	8,2	10,4
100	5,0	8,5	10,9
150	5,3	8,7	11,2
250	5,7	9,1	11,6
500	6,1	9,4	12,0
1000	6,6	9,8	12,5

settore 150°N -190°N

Tr (anni)	Hs (m)	Tz (s)	Tp (s)
1	2,2	5,6	7,2
2	2,6	6,1	7,9
5	3,2	6,8	8,7
10	3,7	7,3	9,3
15	3,9	7,5	9,6
20	4,1	7,7	9,9
25	4,3	7,8	10,0
50	4,7	8,3	10,6
100	5,2	8,7	11,1
150	5,5	8,9	11,4
250	5,9	9,2	11,8
500	6,4	9,6	12,3
1000	6,9	9,9	12,7

settore 190°N - 220°N

Tr (anni)	Hs (m)	Tz (s)	Tp (s)
1	3.2	6.8	8.8
2	3.7	7.3	9.4
5	4.3	7.9	10.1
10	4.8	8.3	10.7
15	5.1	8.6	11.0
20	5.3	8.8	11.2
25	5.5	8.9	11.4
50	6.0	9.3	11.9
100	6.5	9.7	12.4
150	6.8	9.9	12.6
250	7.1	10.1	13.0
500	7.6	10.5	13.4
1000	8.2	10.9	13.9

4.4.5. Propagazione del moto ondoso dal largo alla diga foranea esistente

4.4.5.1 Metodologia di analisi

Per la propagazione delle onde dal largo fino alla diga foranea si è utilizzato il modello matematico SWAN (Simulating WAves Nearshore), messo a punto dal laboratorio idraulico di Delft, in grado di simulare i fenomeni di rifrazione e shoaling, generazione dell'onda da vento, dissipazione dovuta al whitecapping, attrito sul fondo, frangimento indotto dai bassi fondali e interazione non lineare tra le onde.

Nel presente studio meteomarino, poiché la diga foranea esistente, e ancor più quella di progetto, sono imbasate su alti fondali (da -20 a -50 m sl.m.m.) l'effetto dell'incremento del livello del mare ad opera della marea (comunque limitato a poche decine di cm) sulla propagazione delle onde è stato ritenuto trascurabile. Conseguentemente è stato assunto come livello di riferimento il l.m.m..

Analogamente, anche per le correnti si è ritenuto di non introdurle nello studio della propagazione delle onde verso la diga foranea, data la loro modesta entità.

Sono state prese in considerazione le condizioni ondose relative ai 4 settori individuati nel capitolo precedente per l'analisi delle condizioni estreme:

- 50-100°N
- 100°-150°N
- 150-190°N
- 190-220°N.

Le condizioni ondose d'interesse ai fini della ricorrenza statistica sono per la piattaforma quelle con periodo di ritorno di 100 anni (condizioni da utilizzare per le verifiche in fase di esercizio della scogliera alla radice della piattaforma), di 250 anni (condizioni da utilizzare per le verifiche in fase di esercizio per l'opera a parete verticale e per la protezione dei fondali con configurazione di diga estesa) e di 50 anni (condizioni da utilizzare per le verifiche in fase di esercizio per l'opera a parete verticale e per la protezione dei fondali con configurazione di diga di prima fase), mentre per la diga foranea di progetto quelle con periodo di ritorno 250 anni (condizioni da utilizzare per le verifiche dei cassoni a parete verticale e per la verifica dello scanno di imbasamento con configurazione di diga estesa) e di 50 anni (condizioni da utilizzare per le verifica dei cassoni a parete verticale, dell'opera composita cassoni a parete verticale-scogliera di protezione e dello scanno di imbasamento con configurazione di diga di prima fase).

Le attività svolte pertanto per valutare le condizioni ondose alla diga foranea esistente sono:

- messa a punto della schematizzazione dello stato di fatto, e riproduzione dei fondali per un'area sufficientemente ampia ad inglobare queste opere evitando gli effetti di bordo;
- inserimento delle condizioni di input al modello relative alle caratteristiche delle onde al largo;
- estrazione delle distribuzioni di moto ondoso nell'area antistante la diga;

4.4.5.2 Schematizzazione e batimetrie per il modello matematico SWAN

Per procedere ad un'analisi modellistica del moto ondoso è stata individuato il cosiddetto "Dominio di Calcolo", cioè l'area in cui si intende studiare la propagazione del moto ondoso, e di definire le schematizzazioni delle opere. Il suddetto dominio di calcolo è stato quindi schematizzato da due diverse griglie di calcolo a maglia quadrata, una griglia regionale avente lato di 200m e che copre l'intero dominio di calcolo (Fig. 4.10) una griglia di dettaglio che si innesta sulla griglia regionale, ha lato di 30 m (Fig. 4.11) e copre un'area limitata alla zona di interesse dello studio.

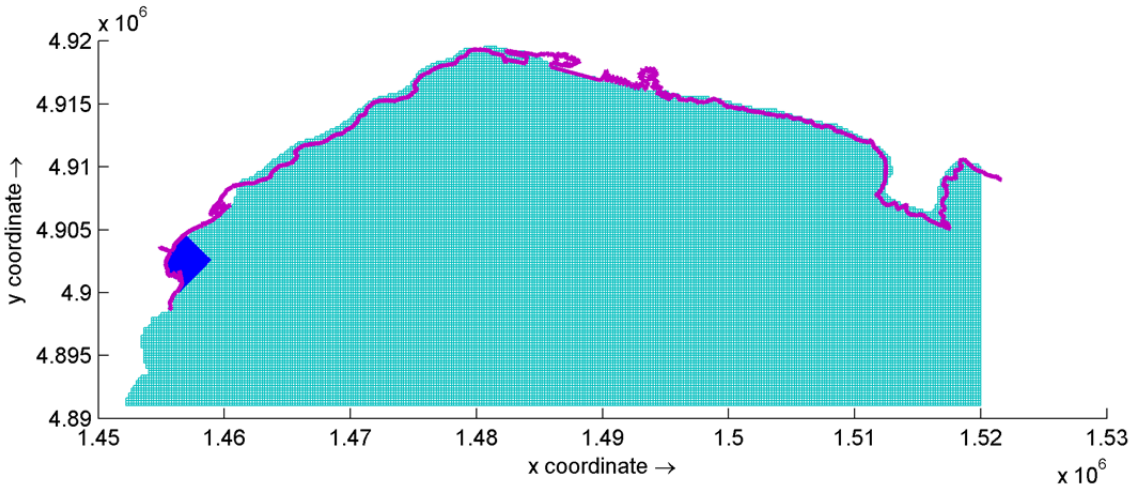


FIG. 4.10 - GRIGLIA REGIONALE E GRIGLIA DI DETTAGLIO USATE NEL MODELLO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE

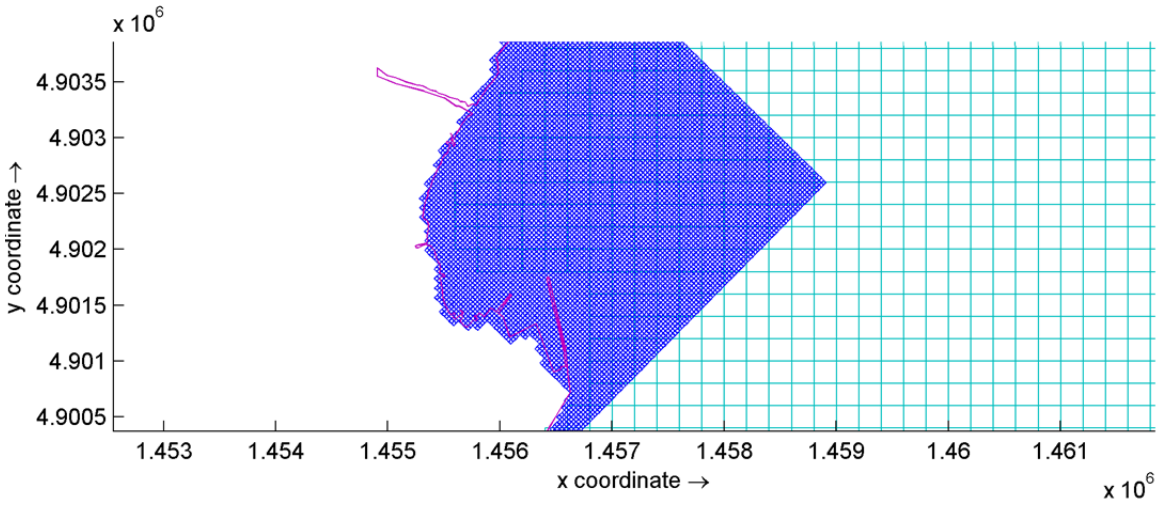


FIG. 4.11 - GRIGLIA REGIONALE E GRIGLIA DI DETTAGLIO USATE NEL MODELLO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE

La batimetria del modello è stata definita con riferimento alle stesse griglie utilizzate per la definizione di dominio fisico. I dati batimetrici, interpolati sulle due griglie di calcolo, sono stati desunti da carte nautiche a diverso dettaglio, integrate, nella zona del porto, dai rilievi batimetrici più recenti fatti condurre dall'Autorità Portuale di Savona nel Febbraio 2006, nell' Agosto 2008 e nell'Aprile 2010.

Le batimetrie utilizzate per il modello regionale e per il modello di dettaglio sono presentate rispettivamente in Fig. 4.12 e Fig. 4.13. Si fa notare come nel modello SWAN le celle sommerse presentano valori di quota del fondale positivo mentre le celle emerse presentano quote negative.
Come livello per la definizione delle terre emerse si è scelto di prendere il l.m.m..

Come si osserva dalle Fig. 4.12 e Fig. 4.13 i fondali sul boundary sud del modello hanno profondità estremamente elevate (fino a -1000 m s.l.m.m.) che vanno riducendosi da sud verso nord fino a raggiungere valori attorno ai -30 - -40 m.s.l.m.m in prossimità della diga foranea esistente.

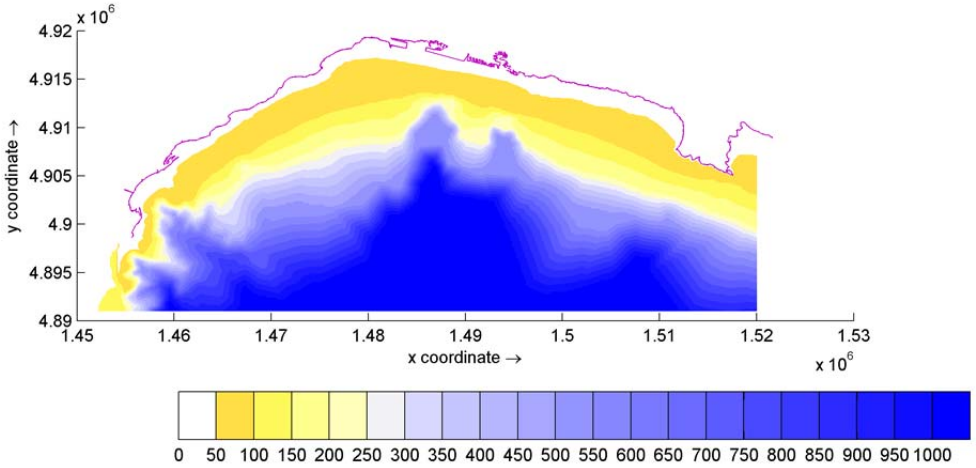


FIG. 4.12 - BATIMETRIA RICOSTRUITA SULLA GRIGLIA DI CALCOLO REGIONALE

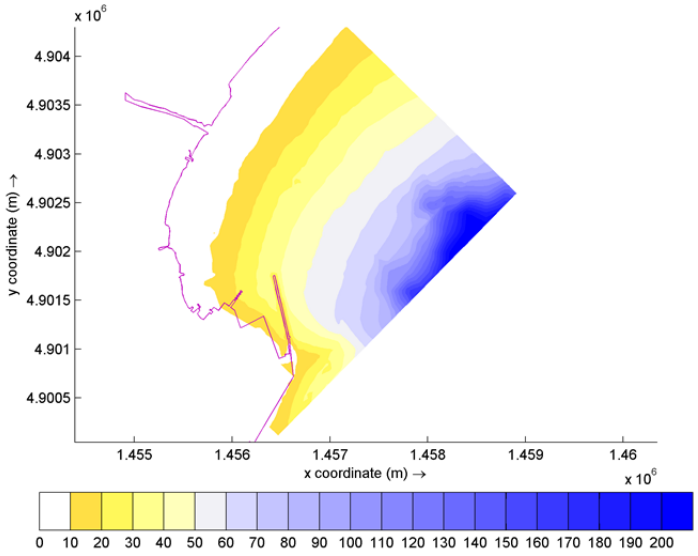


FIG. 4.13 - BATIMETRIA RICOSTRUITA SULLA GRIGLIA DI CALCOLO DI DETTAGLIO

4.4.5.3 Simulazioni e risultati ottenuti con il modello SWAN

Le simulazioni effettuate con il modello matematico SWAN hanno riguardato sia eventi estremi di moto ondoso (d'interesse per il dimensionamento) caratterizzati da altezze d'onda significative relative al tempo di ritorno di 50 anni, 100 anni e 250 anni e da eventi più frequenti (d'interesse per la stima della tracimazione limite in condizione di

operatività) caratterizzati da altezze d'onda significative aventi tempo di ritorno di 1 anno.

Gli eventi di riferimento provengono dal 1°, 2° e 3° quadrante e in particolare nelle simulazioni si è fatto riferimento alle direzioni d'onda di 70°, 100° e 130°N, 160°N, 190°N, scelte come rappresentative. Le caratteristiche delle condizioni ondose utilizzate come input nel modello sono riassunte nella seguente tabella.

TAB. 4.11 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO AL LARGO CONSIDERATE PER LE SIMULAZIONI – TR=50, 100 E 250 ANNI.

TR=50 anni			**TR=100 anni**			**TR=250 anni**		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	3,3	8,8	70	3,6	9,2	70	4,1	9,8
100	4,6	10,4	100	5,0	10,9	100	5,7	11,6
130	4,6	10,4	130	5,0	10,9	130	5,7	11,6
160	4,7	10,6	160	5,2	11,1	160	5,9	11,8
190	6,0	11,9	190	6,5	12,4	190	7,1	13

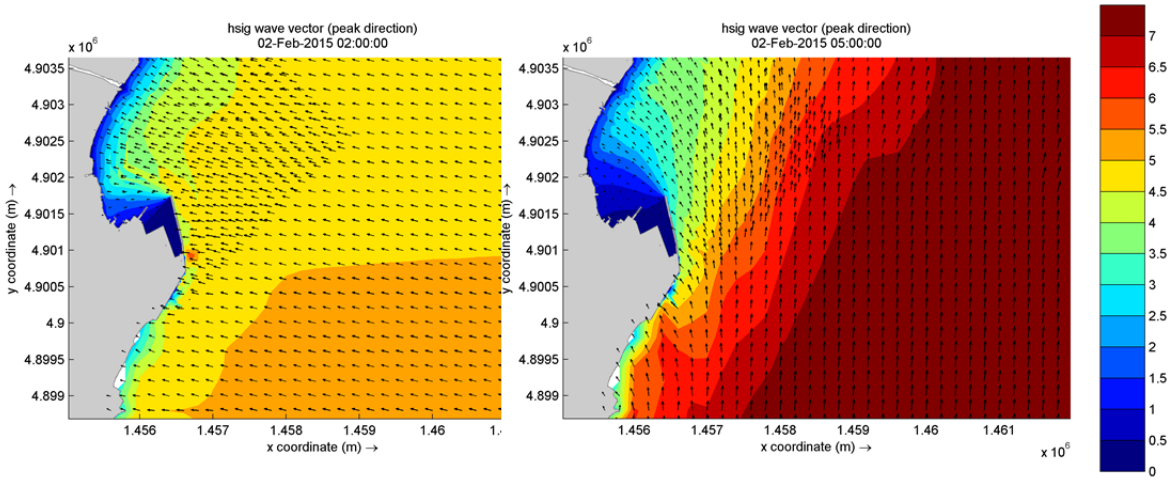
TAB. 4.12 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO AL LARGO CONSIDERATE PER LE SIMULAZIONI – TR=1 ANNO

TR=1 anno		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	1,6	6,2
100	2,1	7,0
130	2,1	7,0
160	2,2	7,2
190	3,2	8,7

I tempi di ritorno e le associate caratteristiche degli eventi di moto ondoso da simulare sono stati definiti a seconda dello scopo progettuale e dell'opera da dimensionare.

A titolo rappresentativo sono riportati nella Fig. 4.14 le distribuzioni dell'altezza d'onda con tempo di ritorno 50 anni e direzioni di provenienza 100°N in quanto la più significativi ai fini del dimensionamento delle opere della piattaforma e con tempo di ritorno 250 anni e direzione di provenienza 190°N in quanto la più significativa ai fini del dimensionamento delle opere della diga foranea di prima fase.

Si rimanda alla relazione meteomarina per i dettagli relativi ai risultati di tutte le simulazioni svolte.



a) b)

FIG. 4.14 - CARATTERISTICHE DELL'ONDA AL LARGO: A) PROVENIENZA 100°N E TR=50 ANNI: HS=4,6 M , TP=10,4 S, B) PROVENIENZA 190°N E TR=250 ANNI: HS=7,1 M , TP=13,0 S

4.4.6. Propagazione del moto ondoso in corrispondenza delle opere

4.4.6.1 Metodologia di analisi

Nel capitolo precedente sono state definite le altezze d'onda nella zona antistante la diga foranea in termini di valori estremi da utilizzare ai fini della progettazione delle opere.

Nel presente capitolo vengono presentate le condizioni ondose in corrispondenza delle opere in base alle quali poi calcolare i carichi di progetto per il dimensionamento, per quanto riguarda la piattaforma, di:

– scogliera alla radice della piattaforma,
– cassoni reggispinta di conterminazione
– protezione del fondale

e per quanto riguarda la diga foranea di progetto, di:

– scanno d'imbasamento,
– cassoni emersi
– scogliera di protezione dei cassoni nel tratto di raccordo alla diga esistente.

Per la definizione dei carichi alle opere che costituiscono la piattaforma si sono considerate due configurazioni di diga foranea di progetto:

- Diga foranea estesa come da P.R.P, alla quale viene associata una vita utile di 50 anni e i rispettivi tempi di ritorno per le diverse opere (per i dettagli fare riferimento alla Relazione Meteomarina);
- Diga foranea di 1° fase, alla quale viene associata una vita utile di 10 anni e i rispettivi tempi di ritorno per le diverse opere (per i dettagli fare riferimento alla Relazione Meteomarina).

Nel presente capitolo si è quindi andato ad investigare per ogni opera di progetto quale configurazione della diga (a cui come si è detto è associato l'evento meteomarino di progetto caratterizzato da un dato tempo di ritorno) massimizza l'onda di progetto all'opera stessa.

Dal momento che sia la diga foranea di progetto che le opere della piattaforma si sviluppano su fondali piuttosto elevati (da -35 a -50 m la diga e da -10 m a -25 m la piattaforma), l'effetto dell'incremento del livello del mare ad opera della marea (comunque limitato a poche decine di cm) sulla propagazione delle onde alle opere è stato ritenuto trascurabile. Conseguentemente è stato assunto come livello di riferimento il l.m.m..

Analogamente, anche per le correnti si è ritenuto di non introdurle nello studio della propagazione delle onde verso le nuove opere, data la loro modesta entità.

Per lo studio delle distribuzioni dell'altezza d'onda in corrispondenza della nuova diga foranea (sia estesa come da P.R.P. che di 1° fase) e per la propagazione delle onde dalla diga foranea fino alla piattaforma e si è utilizzato il modello matematico PHAROS, messo a punto dal laboratorio idraulico di Delft, in grado di simulare principalmente il fenomeno di diffrazione intorno alla testata della diga, i fenomeni di rifrazione e shoaling per effetto dei fondali che variano rapidamente in prossimità dell'opera.

Sono state prese in considerazione le condizioni ondose relative ai 4 settori più gravosi individuati per l'analisi delle condizioni estreme:

– 50-100°N
– 100-150°N
– 150-190°N
– 190-220°N.

Le simulazioni con il modello SWAN presentate nel capitolo precedente hanno mostrato che i valori dei altezza d'onda al largo, ovvero in corrispondenza del punto UKMO, non variano significativamente durante la propagazione fino alla zona antistante la diga foranea esistente, se non per le direzioni di propagazione comprese tra 160 e 190°N, per le quali si osserva una significativa diminuzione dell'altezza d'onda.

Le condizioni ondose di progetto sono per la diga foranea:

- quelle con periodo di ritorno 250 anni (condizioni da utilizzare per le verifiche dei cassoni a parete verticale e per la verifica dello scanno di imbasamento con configurazione di diga estesa)
- e di 50 anni (condizioni da utilizzare per le verifica dei cassoni a parete verticale, dell'opera composita cassoni a parete verticale-scogliera di protezione e dello scanno di imbasamento con configurazione di diga di prima fase).

Infine per la valutazione della tracimazione limite delle opere in condizioni operative si è considerata l'onda con tempo di ritorno un anno.

Le attività svolte pertanto per valutare le condizioni ondose alle opere sono le seguenti:

- messa a punto della schematizzazione dello stato di fatto, delle nuove opere (piattaforma portuale e diga foranea) e riproduzione dei fondali per un'area sufficientemente ampia ad inglobare queste opere evitando gli effetti di bordo;
- inserimento delle condizioni di input al modello relative alle caratteristiche delle onde in corrispondenza della diga foranea;
- estrazione delle distribuzioni di moto ondoso nell'area investigata;
- definizione delle condizioni ondose in corrispondenza delle nuove strutture portuali.

Per la definizione delle batimetrie è stato fatto riferimento a:

- i rilievi batimetrici fatti condurre dall'Autorità Portuale di Savona delle aree della piattaforma, delle aree prospicienti la diga foranea e del litorale (rilievi batimetrici del Febbraio 2006, Agosto 2008, Aprile 2010).
- le batimetrie d'insieme desunte dalla carta Nautica 1:30.000 del Litorale di Savona.

I fondali considerati fanno riferimento al l.m.m.. considerato che l'entità dell'escursione del livello del mare e delle correnti indotte sono modesti si è ritenuto per la propagazione delle onde verso le nuove opere (ai fini del loro dimensionamento) di considerare come livello di riferimento il l.m.m. e di non considerare l'interazione onde-correnti.

Di seguito vengono brevemente illustrate le attività svolte con il modello matematico ed i risultati ottenuti, di riferimento per la valutazione dei carichi sulle strutture portuali.

4.4.6.2 Diga foranea: schematizzazione e batimetrie per il modello matematico PHAROS

Per lo studio della propagazione del moto ondoso in corrispondenza delle opere della diga foranea sono state considerate due diverse schematizzazioni (Fig. 4.15) del dominio di calcolo in funzione dello scopo progettuale come presentato in Tab. 4.13.

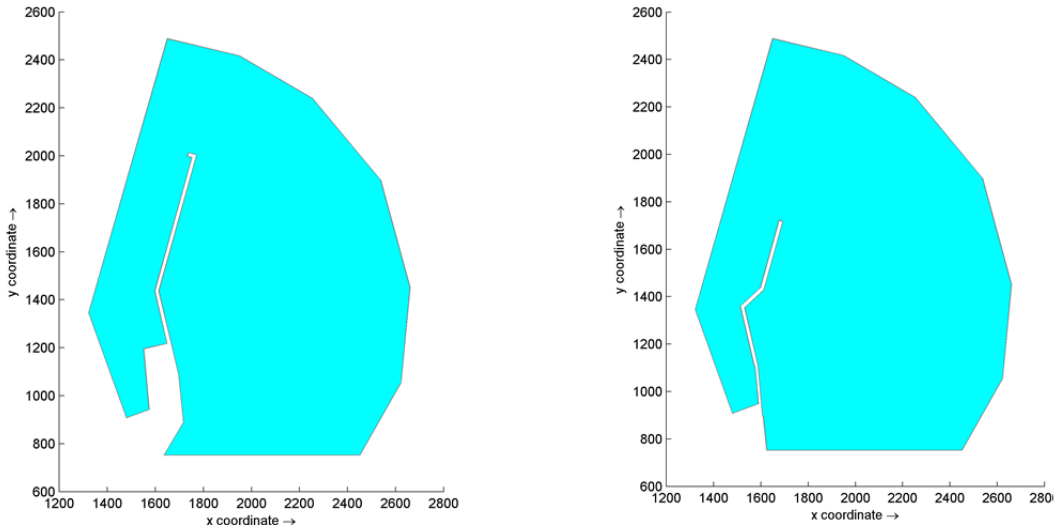


FIG. 4.15 - SCHEMATIZZAZIONE DELLA DIGA FORANEA DA P.R.P (SINISTRA) E DI 1° FASE (DESTRA) UTILIZZATA NEL MODELLO MATEMATICO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE PHAROS

In entrambe le schematizzazioni il dominio di calcolo del modello ha compreso un'area antistante la diga foranea di progetto sufficientemente ampia da evitare possibili effetti di bordo nelle simulazioni.

TAB. 4.13 - CONFIGURAZIONI DI DIGA SIMULATE CON IL MODELLO PHAROS

Config.	Scopo progettuale	Opera	Schematizzazione	T_R	Note
P.R.P	Dimensionamento strutturale definizione dei carichi sulle opere definizione della tracimazione limite in condizioni estreme	Cassoni tipo B, C e D/E Scanno d'imbasamento	Diga da P.R.P.	250 anni	Coef rifless. *a* = 70% su tutta la diga
P.R.P	Dimensionamento idraulico Definizione della tracimazione limite in condizioni operative	Cassoni tipo B, C e D/E	Diga da P.R.P.	1 Anno	Coef rifless. *a* = 70% su tutta la diga
1° Fase	Dimensionamento strutturale definizione dei carichi sulle opere - definizione della tracimazione limite in condizioni estreme definizione della traci-mazione limite in con-dizioni estreme	Struttura composita cassoni tipo A – scogliera Struttura composita serraglia - scogliera	Diga di 1° fase	50 anni	Coef rifless. *a* = 40% tratto struttura compo-sita *a* = 70% tratto cassoni verticali
1° Fase	Dimensionamento idraulico Definizione della tracimazione limite in condizioni operative Dimensionamento strutturale definizione dei carichi sullo scanno di imbasamento previa posa cassoni	Struttura composita cassoni tipo A – scogliera Struttura composita serraglia – scogliera Cassoni tipo B, C e D/E Scanno d'imbasamento	Diga di 1° fase	1 anno	Coef rifless. *a* = 40% tratto struttura compo-sita *a* = 70% tratto cassoni verticali

Le diverse configurazioni del boundary del modello, con l'indicazione dei coefficienti di riflessione adottati, sono mostrate nelle Fig. 4.16.

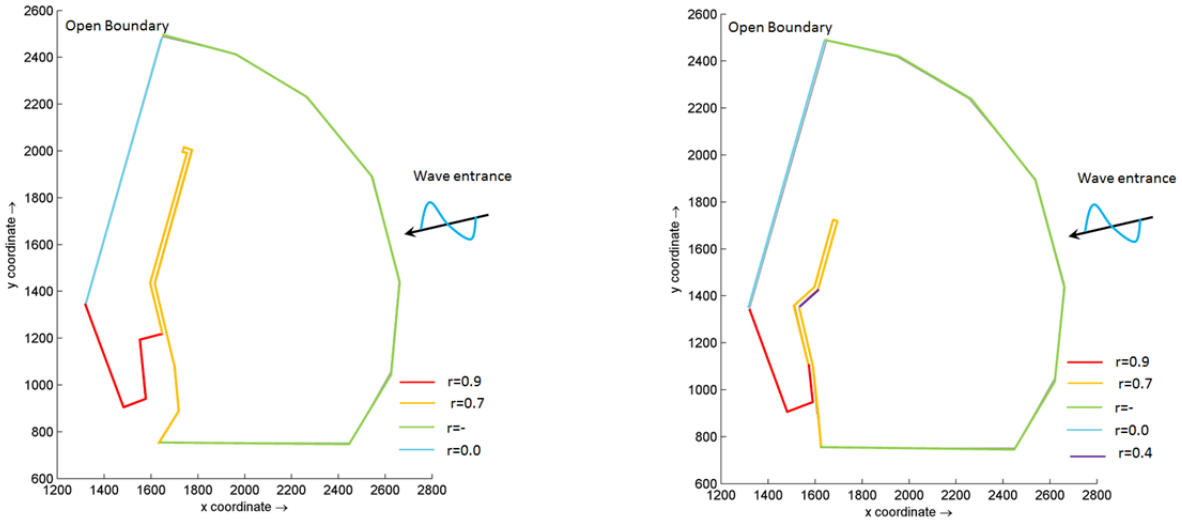


FIG. 4.16- COEFFICIENTI DI RIFLESSIONE CONSIDERATI NEL MODELLO MATEMATICO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE PHAROS PER LA CONFIGURAZIONE DI DIGA FORANEA DA P.R.P. (SINISTRA) E DI 1A FASE (DESTRA)

Le batimetrie riprodotte per entrambe le configurazioni della diga foranea sono presentati nelle Fig. 4.17.

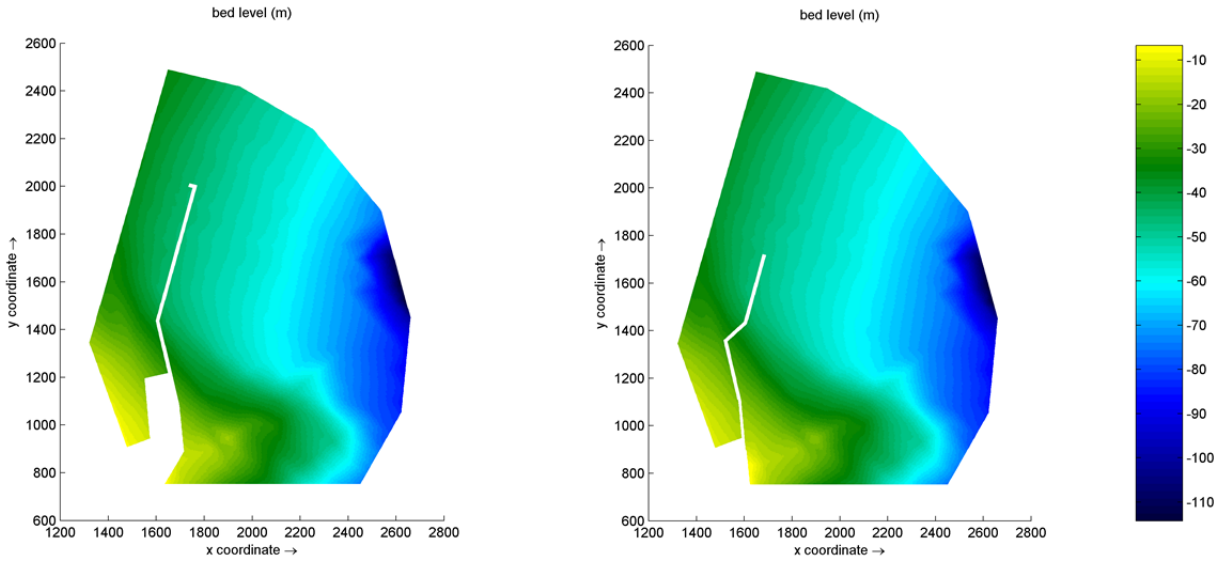


FIG. 4.17 - BATIMETRIE RIPRODOTTE SUL MODELLO: DIGA DA P.R.P. (SINISTRA), DIGA DI 1A FASE (DESTRA)

Nel seguente paragrafo vengono presentate le caratteristiche del moto ondoso associate agli eventi estremi e i risultati delle simulazioni in termini di distribuzione del moto ondoso in corrispondenza delle opere.

4.4.6.3 Diga foranea: simulazioni e risultati ottenuti con il modello matematico PHAROS

Le simulazioni effettuate con il modello matematico hanno riguardato eventi di moto ondoso provenienti dal 1° e 2° quadrante ed in particolare si è fatto riferimento alle direzioni d'onda di 90°, 105°, 125°, 150°, 165 e/o 170°N individuate come significative dall'analisi di propagazione dal largo alla diga effettuata con il modello matematico SWAN e presentata nel precedente capitolo.
Da Tab. 4.15 a Tab. 4.16 si riportano le caratteristiche del moto ondoso imposte al contorno del dominio PHAROS estrapolate dai risultati del modello SWAN per i tempi di ritorno di interesse per la progettazione delle opere della diga foranea, sia in configurazione da P.R.P (Tr=250 anni e Tr=1 anno) che in configurazione di 1A fase (Tr=50 anni e Tr=1 anno).

TAB. 4.14 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO CONSIDERATE PER LE SIMULAZIONI CON IL MODELLO PHAROS– TR=250 ANNI

TR=250 anni					
Al largo (Punto UKMO)			Al contorno del dominio PHAROS (risultanti dal modello SWAN)		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	4,1	9,8	90	3,75	9,8
100	5,7	11,6	105	6,45	11,6
130	5,7	11,6	125	6,75	11,6
160	5,9	11,8	150	5,85	11,8
190	7,1	13,0	165	4,75	13,0

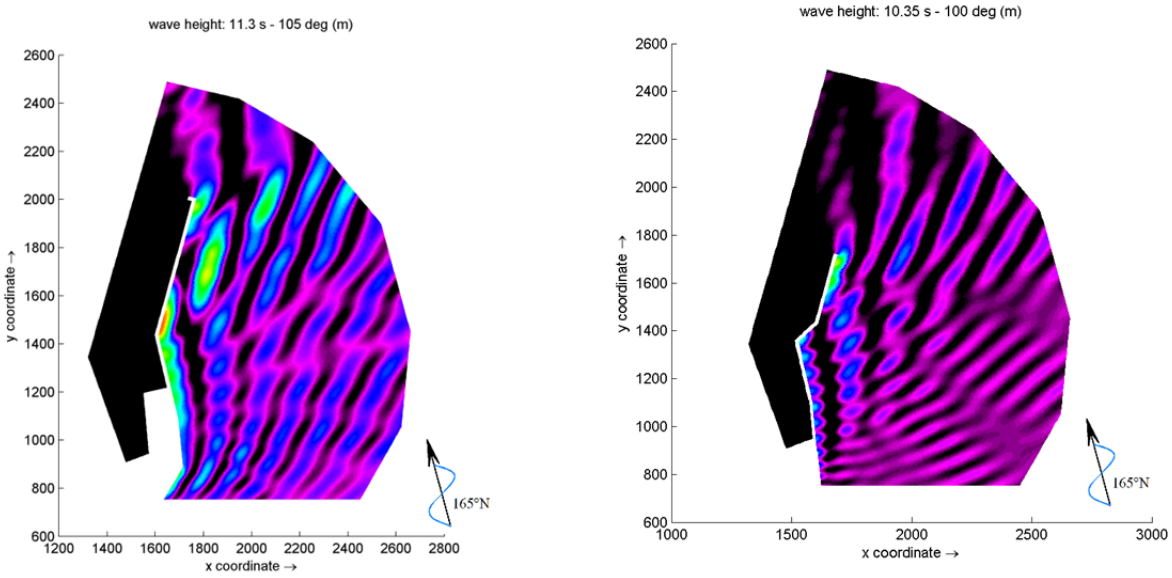
TAB. 4.15 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO CONSIDERATE PER LE SIMULAZIONI CON IL MODELLO PHAROS – TR=50 ANNI

TR=50 anni					
Al largo (Punto UKMO)			Al contorno del dominio PHAROS (risultanti dal modello SWAN)		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	3,3	8,8	90	2,90	8,8
100	4,6	10,4	105	4,90	10,4
130	4,6	10,4	125	5,30	10,4
160	4,7	10,6	150	4,85	10,6
190	6,0	11,9	165	4,00	11,9

TAB. 4.16 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO FREQUENTI CONSIDERATE PER LE SIMULAZIONI CON IL MODELLO PHAROS– TR=1 ANNO

TR=1anno					
Al largo (Punto UKMO)			Al contorno del dominio PHAROS (risultanti dal modello SWAN)		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	1,6	6,2	90	1,25	6,2
100	2,1	7,0	105	1,75	7,0
130	2,1	7,0	125	2,10	7,0
160	2,2	7,2	150	2,15	7,2
190	3,2	8,7	170	2,00	8,7

A titolo rappresentativo sono riportati di seguito nella Fig. 4.18 le distribuzioni dell'altezza d'onda con tempo di ritorno 250 anni per la configurazione di diga da PRP e con tempo di 50 anni per la configurazione di diga di 1° fase per la direzione di provenienza165°N che risulta essere la più gravosa ai fini del dimensionamento delle opere.



a) Tr=250 anni b) Tr=50 anni

FIG. 4.18 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA IN CORRISPONDENZA DELLA NUOVA DIGA FORANEA: DIGA DA P.R.P. (SINISTRA), DIGA 1A FASE (DESTRA)

4.4.6.4 Piattafoma: schematizzazione e batimetrie per il modello matematico PHAROS

Per lo studio della propagazione del moto ondoso in corrispondenza della piattaforma sono state considerate due diverse schematizzazioni (Fig. 4.19) del dominio di calcolo in funzione dello scopo progettuale come presentato in Tab. 4.17.

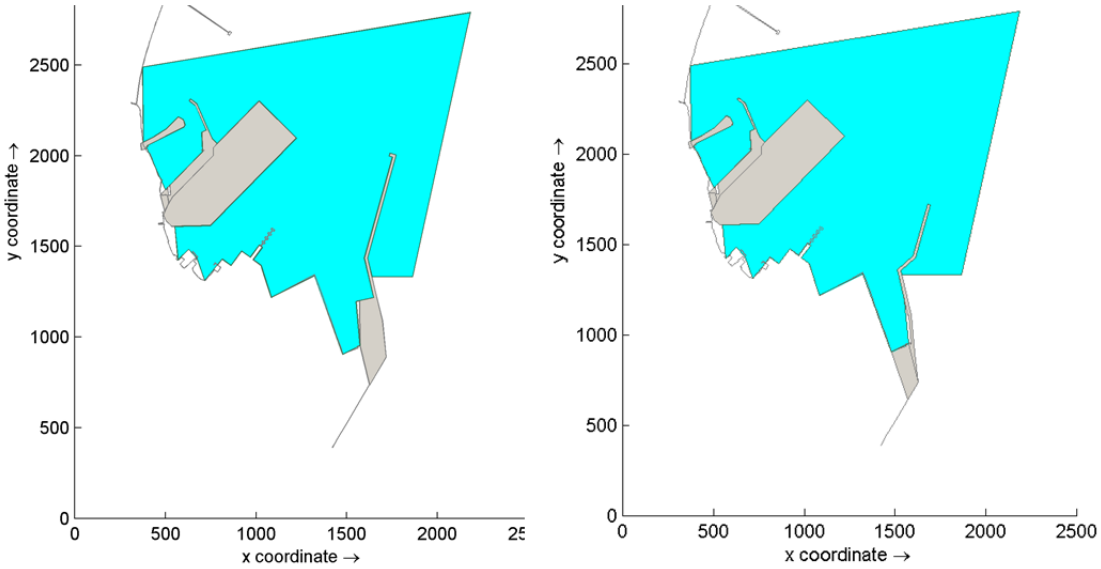


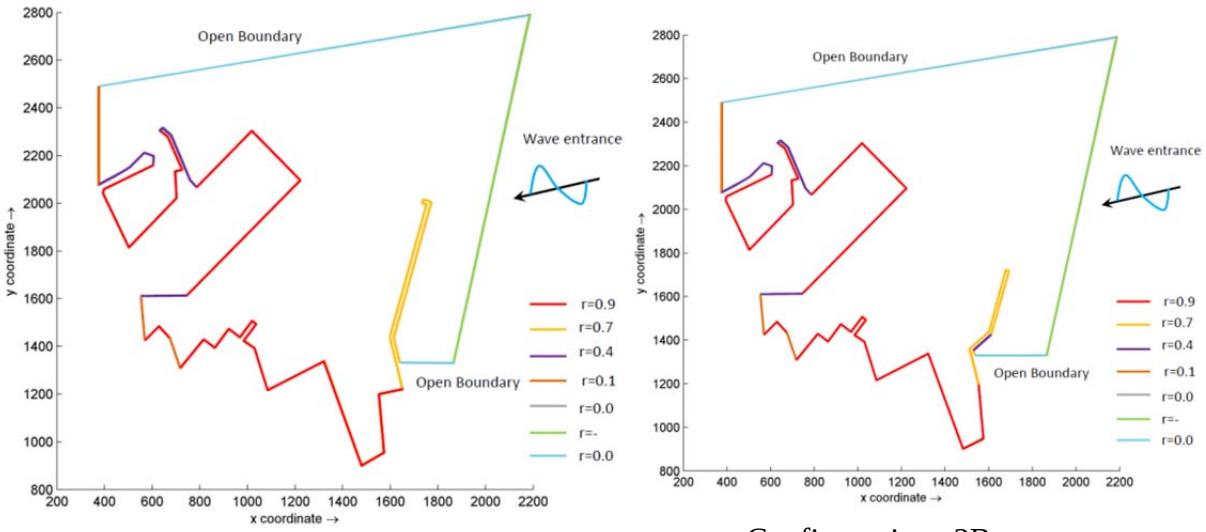
FIG. 4.19 - SCHEMATIZZAZIONE DELLA PIATTAFORMA IN ESERCIZIO CON DIGA DA P.R.P (CONFIG. 1, SINISTRA) E CON DIGA DI 1A FASE (CONFIG. 2, DESTRA)

In entrambe le schematizzazioni il dominio di calcolo del modello ha compreso un'area antistante la diga foranea di progetto sufficientemente ampia da evitare possibili effetti di bordo nelle simulazioni.

A seconda del fine progettuale si sono assegnati due di versi valori del coefficiente di riflessione in corrispondenza della piattaforma. Per il dimensionamento delle strutture si è associato alle banchine della piattaforma un coefficiente di riflessione nullo in modo da ottenere, in corrispondenza delle stesse, il valore dell'onda incidente (configurazioni 1A e 2A), mentre per lo studio dell'agitazione ondosa all'interno del bacino si è associato al contorno della piattaforma l'effettivo coefficiente di riflessione (configurazioni 1B e 2B).
Le diverse configurazioni del boundary del modello, con l'indicazione dei coefficienti di riflessione adottati, sono mostrate nella Fig. 4.22.

TAB. 4.17 - CONFIGURAZIONI SIMULATE CON IL MODELLO PHAROS – PIATTAFORMA

Config.	Scopo progettuale	Opera	Schematizzazione	T_R	Coeff. Riflessione opere piatta-forma
1A	Dimensionamento strutturale definizione dei carichi sulle opere in scogliera	- Scogliera alla radice della piattaforma	- diga foranea estesa come da P.R.P - piattaforma ultimata	100 anni	*a* = 0%
1A	Dimensionamento strutturale definizione dei carichi sulle opere definizione della tracimazione limite sui cassoni di banchina in condizioni estreme	- Cassoni - Protezione dei fondali lungo tutto il perimetro della piattaforma	- diga foranea estesa come da P.R.P - piattaforma ultimata	250 anni	*a* = 0%
1A	Dimensionamento idraulico Definizione della tracimazione limite in condizioni operative	- Cassoni	- diga foranea estesa come da P.R.P - piattaforma ultimata	1 anno	a=0%
1B	Valutazione dell'agitazione ondosa interna al bacino	-	- diga foranea estesa come da P.R.P - piattaforma ultimata	1 anno	a=90%
2A	Dimensionamento strutturale definizione dei carichi sulle opere definizione della tracimazione limite sui cassoni di banchina in condizioni estreme	- Cassoni - Protezione dei fondali lungo tutto il perimetro della piattaforma	- diga foranea di 1° fase - piattaforma ultimata	50 anni	*a* = 0%
2A	Dimensionamento idraulico Definizione della tracimazione limite sui cassoni di banchina in condizioni operative	- Cassoni	- diga foranea di 1° fase - piattaforma ultimata	1 anno	a=0%
2B	Valutazione dell'agitazione ondosa interna al bacino	-	- diga foranea di 1° fase - piattaforma ultimata	1 anno	a=90%



Configurazione 1B

Configurazione 2B

FIG. 4.20 - COEFFICIENTI DI RIFLESSIONE CONSIDERATI NEL MODELLO MATEMATICO DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE PHAROS

Le batimetrie riprodotte per entrambe le configurazioni della diga foranea sono presentati nella Fig. 4.21

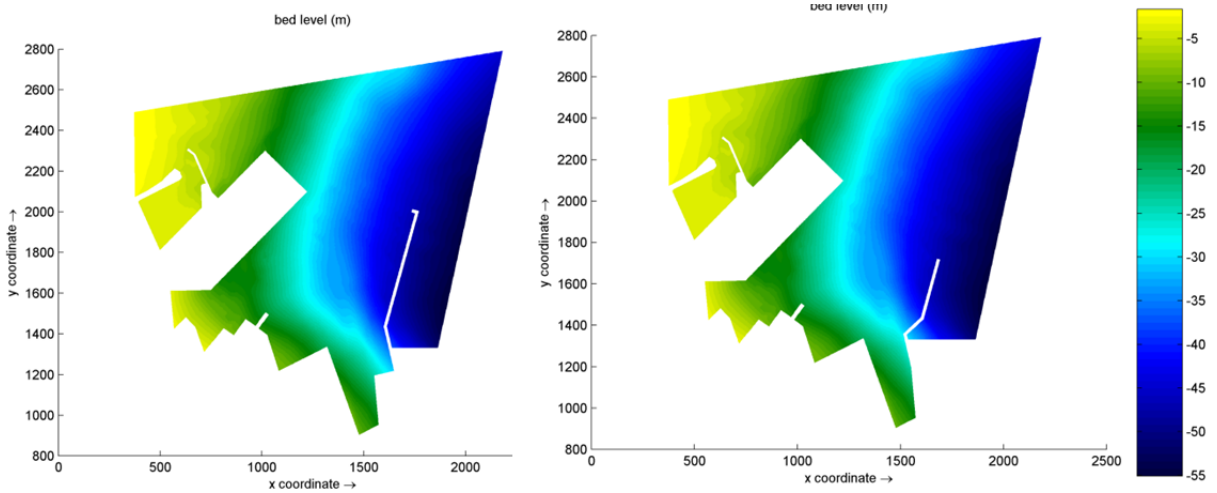


FIG. 4.21 - BATIMETRIE RIPRODOTTE SUL MODELLO: DIGA DA P.R.P. (CONFIGURAZIONE 1, SINISTRA), DIGA DI 1A FASE (CONFIGURAZIONE 2, DESTRA)

4.4.6.5 Piattaforma: simulazioni e risultati ottenuti con il modello matematico PHAROS

Le simulazioni effettuate con il modello matematico per l'analisi dell'agitazione ondosa all'interno del bacino riguardato eventi di moto ondoso caratterizzati da altezze d'onda significative relative al tempo di ritorno di 1 anno e 5 anni, provenienti dal 1° e 2° quadrante. Si è fatto riferimento in particolare alle direzioni d'onda di 90°, 105°, 125°, 150 e 170°N. Le caratteristiche delle condizioni ondose utilizzate come input nel modello sono riassunte nella seguente tabella.

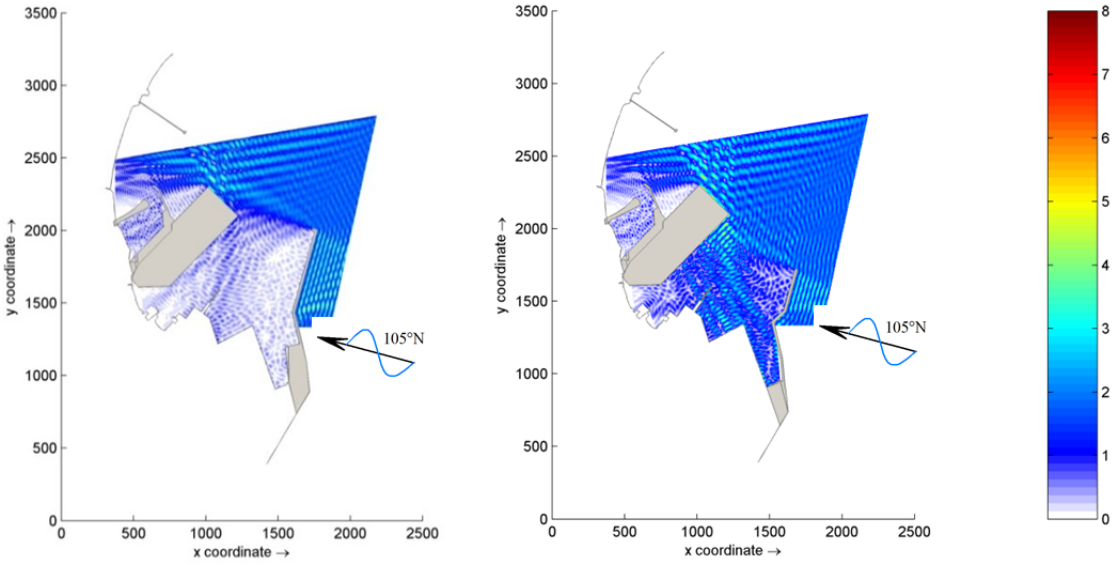
TAB. 4.18 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO CONSIDERATE COME INPUT PER LE SIMULAZIONI CON IL MODELLO PHAROS – TR=1 ANNO

TR=1 anno					
Al largo (Punto UKMO)			Al contorno del dominio PHAROS (risultanti dal modello SWAN)		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	1,6	6,2	90	1,20	6,2
100	2,1	7,0	105	1,75	7,0
130	2,1	7,0	125	2,10	7,0
160	2,2	7,2	150	2,10	7,2
190	3,2	8,7	170	2,00	8,7

TAB. 4.19 - CARATTERISTICHE DEL MOTO ONDOSO ESTREMO CONSIDERATE COME INPUT PER LE SIMULAZIONI CON IL MODELLO PHAROS – TR=5 ANNI

TR=5 anni					
Al largo (Punto UKMO)			Al contorno del dominio PHAROS (risultanti dal modello SWAN)		
Dir (°N)	*Hs (m)*	*Tp (s)*	*Dir (°N)*	*Hs (m)*	*Tp (s)*
70	2,3	7,3	90	1,85	7,3
100	3,1	8,6	105	2,85	8,6
130	3,1	8,6	125	3,10	8,6
160	3,2	8,7	150	2,95	8,7
190	4,3	10,1	165	2,50	10,1

A titolo esemplificativo riportiamo l'agitazione ondosa pe l'onda da 105°N e tempo di ritorno un anno per le due configurazioni di diga.



Tr=1 anno – config. 1B Tr=1 anno – config. 2B

FIG. 4.22 - PROPAGAZIONE DELL'ONDA CON TR=1 ANNO IN CORRISPONDENZA DELLA PIATTAFORMA: DIGA DA P.R.P. (SINISTRA), DIGA DI 1A FASE (DESTRA)

4.4.6.6 Onde di progetto per il dimensionamento delle opere

Nel presente capitolo si presentano le caratteristiche delle onde alle strutture di progetto risultanti dagli studi di propagazione delle onde presentati nei precedenti capitoli.

Le sezioni della diga foranea sono caratterizzate da vite tecniche diverse, questo porta ad avere tempi di ritorno diversi a seconda della sezione tipo. Di seguito si riportano in tabella le onde di progetto per ogni sezione per i tempi di ritorno di interesse.

TAB. 4.20 - ONDA DI PROGETTO IN CORRISPONDENZA DELLE SEZIONI TIPO A E DELLE SERRAGLIE DELLA DIGA FORANEA – TR=50 ANNI

	Config. Diga	Onda al largo		**Onda all'opera**		
		Tr (anni)	*Dir (°N)*	*Tp (s)*	*β (°)*	*Hs (m)*
Cassoni, scanno e massi guardiani Sezione tipo A e serraglie	**1° Fase**	**50**	**190**	**11,9**	**0**	**4,5**

TAB. 4.21 - ONDA DI PROGETTO IN CORRISPONDENZA DELLE SEZIONI TIPO B, C, D ED E DELLA DIGA FORANEA – TR= 50 E 250 ANNI

	Config. Diga	Onda al largo		**Onda all'opera**		
		Tr (anni)	*Dir (°N)*	*Tp (s)*	*β (°)*	*Hs (m)*
Cassoni, scanno e massi guardiani Sezione tipo B, C, D e E	1° Fase	50	190	11,9	0	4,5
	PRP	**250**	**190**	**13,00**	**0**	**5,90**

TAB. 4.22 - ONDA DI PROGETTO IN CORRISPONDENZA DELLE SEZIONI TIPO A, B, C, D ED E PER TR=1 ANNO

	Config. Diga	Onda al largo		**Onda all'opera**		
		Tr (anni)	*Dir (°N)*	*Tp (s)*	*β (°)*	*Hs (m)*
Stabilità piano sommitale ante posa cassoni **Verifica di tracimazione in condizioni operative**	**1° Fase**	**1**	**125**	**7,0**	**0**	**2,06**

4.5. Analisi idrodinamiche e dispersive

La presente relazione è stata redatta per analizzare gli impatti potenziali delle varianti progettuali proposte, in particolare dello spostamento della diga foranea attuale, sulla circolazione delle acque marino costiere e sulla dinamica del litorale tenendo conto dello stato di attuazione delle opere previste nell'Accordo di Programma e sulla base del documento attuativo relativo all'Accordo di programma.

Tale processo di analisi è stato effettuato esternamente allo SIA in quanto le modifiche nella tempistica di realizzazione delle opere non costituiscono una variante del Progetto approvato della piattaforma ed in quanto, ad oggi, il Collegio di Vigilanza dell'Accordo di Programma non ha emanato alcun documento ufficiale relativo a possibili variazioni di tempistica.

In tale contesto viene dunque a mancare il riferimento per poter apportare delle modifiche agli scenari di riferimento (configurazioni della rada portuale) adottati nello Studio di impatto ambientale del Progetto Esecutivo, approvato con DGR 254/2015, e di quello relativo alla Perizia di variante della piastra.

In particolare, le opere dell'Accordo di Programma cui ci si riferisce sono la nuova diga foranea ed il comparto D dello Schema di Assetto Urbanistico (SAU) del Comune di Vado Ligure, cioè la darsena turistica e gli interventi di riqualificazione costiera.

L'Autorità Portuale di Savona, con riferimento ai contenuti del Decreto 4604/2013, ha comunicato formalmente al soggetto promotore in data 31 Marzo 2014 sia la propria intenzione di mantenere e garantire i tempi di realizzazione della nuova diga foranea sia la plausibilità dell'ipotesi di sfasamento temporale nella realizzazione delle opere del comparto D, pur ribadendo che ad oggi il Collegio di Vigilanza non ha cambiato le previsioni di realizzazione delle opere dell'Accordo.

In considerazione di quanto sviluppato nella Perizia di variante della piattaforma e nel Progetto Esecutivo della Diga foranea e di quanto riportato nel documento attuativo dell'Accordo di Programma, è stata elaborata un'analisi aggiuntiva che ha come scenario di analisi uno stato di esercizio transitorio che tenesse conto del funzionamento della piattaforma in assenza del completamento delle opere dell'Accordo di Programma.

L'attenzione si sposta dunque all'analisi dei potenziali effetti sulle componenti ambientali di interesse in assenza del comparto D3 ("area cantieri") e considerando la configurazione di Progetto Esecutivo della nuova diga foranea. Permangono tuttavia le antici-

pazioni del comparto D3 (“area cantieri”) e del comparto D2 (“fronte mare di Vado”), ovvero la cassa di colmata e la banchina di servizio di fronte al cantiere navale dell’Eurocraft, necessarie per le fasi di realizzazione della piastra multifunzionale, oltre che la darsena turistica.
A valle del predetto processo di analisi, nella presente Relazione sono state individuate anche le misure di mitigazione che le Autorità e le Amministrazioni coinvolte dovrebbero mettere in atto per contrastare le criticità ambientali riscontrate e sono state individuate le attività di monitoraggio necessarie per controllare l’evoluzione dei parametri di interesse.
Nello scenario di valutazione si considera solo la fase di esercizio.

4.5.1. Scenario di analisi

Lo scenario di analisi adottato si sviluppa considerando le previsioni della bozza di documento attuativo dell’Accordo di Programma proposto dall’Autorità Portuale, ed è finalizzato allo studio degli impatti della piastra multifunzionale nella configurazione di Perizia di variante e della diga foranea nella configurazione di Progetto Esecutivo sull’ambiente idrodinamico. studiando una fase di esercizio transitorio finalizzato alla verifica della compatibilità delle operazioni, in attesa del completamento delle opere dell’Accordo di Programma per raggiungere la piena funzionalità a regime.

Lo scenario di analisi comprende quindi le seguenti opere:

- la piastra multifunzionale nella configurazione di Perizia di variante (realizzazione tutta a terrapieno);
- la I^{a} fase della nuova diga foranea nella configurazione del Progetto Esecutivo;
- il sovrappasso della Via Aurelia;
- la darsena turistica;

Sono inoltre compresi il nuovo varco doganale e la nuova viabilità portuale e retro portuale, benché per quest’ultimi esista solo uno sviluppo planimetrico e non ancora documenti progettuali o studi di fattibilità.
Rispetto alla configurazione della rada portuale e delle aree a terra portuali e retro portuali delineata nell’Accordo di Programma, sottoscritto in data 15 Settembre 2008 da Regione Liguria, Autorità Portuale di Savona, Provincia di Savona e Comune di Vado Ligure, avente l’obiettivo di definire l’assetto definitivo della piastra multifunzionale e

delle aree limitrofe, mancano, dunque, gli interventi di riqualificazione costiera di cui al comparto D dello Schema di Assetto Urbanistico del Comune di Vado Ligure. Sono assenti inoltre le opere complementari che non hanno interferenza con l'analisi idrodinamica.



FIG. 4.23 - CONFIGURAZIONE DI ANALISI DI ESERCIZIO PROVVISORIO.

4.5.2. Moto ondoso

Il clima ondoso al largo del paraggio di Vado Ligure è stato definito utilizzando i dati U.K.M.O., forniti dal centro meteorologico inglese "UK Meteorological Office". Il modello European Wave Model dell'U.K.M.O. ricostruisce lo stato del mare a partire dai dati meteorologici (carte bariche) e dal campo di moto.
I modelli U.K.M.O. Global Wave Model e European Wave Model sono modelli della seconda generazione per la parametrizzazione non lineare dello spettro del moto ondoso. I dati ottenibili, con cadenza di 30 minuti, sono relativi ad ogni nodo della maglia.
Con riferimento al paraggio di Vado Ligure, è stato considerato il punto di coordinate geografiche (44.0°N, 8.73°E), situato nel Mar Ligure tra Imperia e Genova su un fondale di oltre 1000 m.

I dati dell'UKMO si riferiscono al periodo di osservazione che va dal 1 gennaio 1987 al 31 dicembre 2008 e sono costituiti da registrazioni triorarie che sono state elaborate in modo da 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 (vedi Tab. 4.23).

TAB. 4.23 - CARATTERISTICHE DELLE ONDE "AL LARGO" (PUNTO U.K.M.O.)

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	
5	0.694	1.614	1.092	0.345	0.065	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.832
15	0.415	1.495	0.860	0.223	0.039	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.036
25	0.424	1.843	0.836	0.193	0.033	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.331
35	0.328	1.479	0.704	0.154	0.019	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.686
45	0.303	1.319	0.506	0.100	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.271
55	0.252	0.866	0.289	0.068	0.019	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.500
65	0.251	0.729	0.282	0.098	0.037	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.398
75	0.228	0.568	0.163	0.084	0.018	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.065
85	0.226	0.522	0.121	0.046	0.019	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.939
95	0.235	0.482	0.109	0.042	0.019	0.011	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.899
105	0.196	0.417	0.112	0.033	0.007	0.002	0.002	0.002	0.004	0.000	0.000	0.774
115	0.224	0.445	0.131	0.039	0.028	0.004	0.002	0.004	0.000	0.000	0.000	0.876
125	0.240	0.559	0.159	0.056	0.026	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	1.044
135	0.336	1.463	0.505	0.161	0.046	0.016	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	2.530
145	0.401	1.861	0.818	0.289	0.138	0.030	0.016	0.004	0.000	0.000	0.000	3.557
155	0.776	2.681	0.661	0.168	0.058	0.014	0.009	0.007	0.000	0.000	0.000	4.373
165	0.440	1.510	0.501	0.166	0.040	0.019	0.019	0.002	0.002	0.000	0.000	2.700
175	0.489	1.526	0.503	0.154	0.044	0.030	0.007	0.002	0.000	0.000	0.000	2.754
185	0.606	1.959	0.887	0.370	0.105	0.063	0.018	0.011	0.002	0.000	0.000	4.019
195	0.878	3.736	2.376	1.263	0.494	0.159	0.054	0.012	0.011	0.007	0.002	8.992
205	0.890	5.770	2.945	1.344	0.552	0.175	0.067	0.025	0.011	0.005	0.000	11.783
215	0.836	5.158	2.541	0.986	0.310	0.077	0.035	0.014	0.002	0.000	0.000	9.959
225	1.458	6.464	2.358	0.499	0.063	0.014	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	10.858
235	0.647	3.163	0.866	0.112	0.026	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	4.817
245	0.566	1.207	0.098	0.012	0.007	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.894
255	0.217	0.119	0.014	0.009	0.002	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.364
265	0.170	0.100	0.016	0.007	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.294
275	0.165	0.077	0.016	0.005	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.266
285	0.144	0.070	0.011	0.002	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.231
295	0.156	0.065	0.012	0.012	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.249
305	0.126	0.063	0.026	0.004	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.224
315	0.121	0.109	0.023	0.014	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.273
325	0.186	0.233	0.060	0.011	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.491
335	0.223	0.760	0.189	0.047	0.018	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.240
345	0.258	0.711	0.454	0.109	0.044	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.582
355	0.315	1.276	0.957	0.272	0.061	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.896
Tot.	14.418	52.416	22.199	7.497	2.400	0.706	0.231	0.086	0.032	0.012	0.002	100.00

A partire dal clima ondoso al largo così ricostruito è stato possibile ricavare le rose delle registrazioni, delle energie e la rosa delle altezze massime.

Si può notare che gli eventi con percentuale di apparizione più elevata corrispondono a mareggiate provenienti da Libeccio (205°N), caratterizzate da altezze massime superiori

ai 4 m. In termini di energia del moto ondoso, si evidenzia ancora un picco di energia in corrispondenza della medesima direzione (Libeccio 205°N).

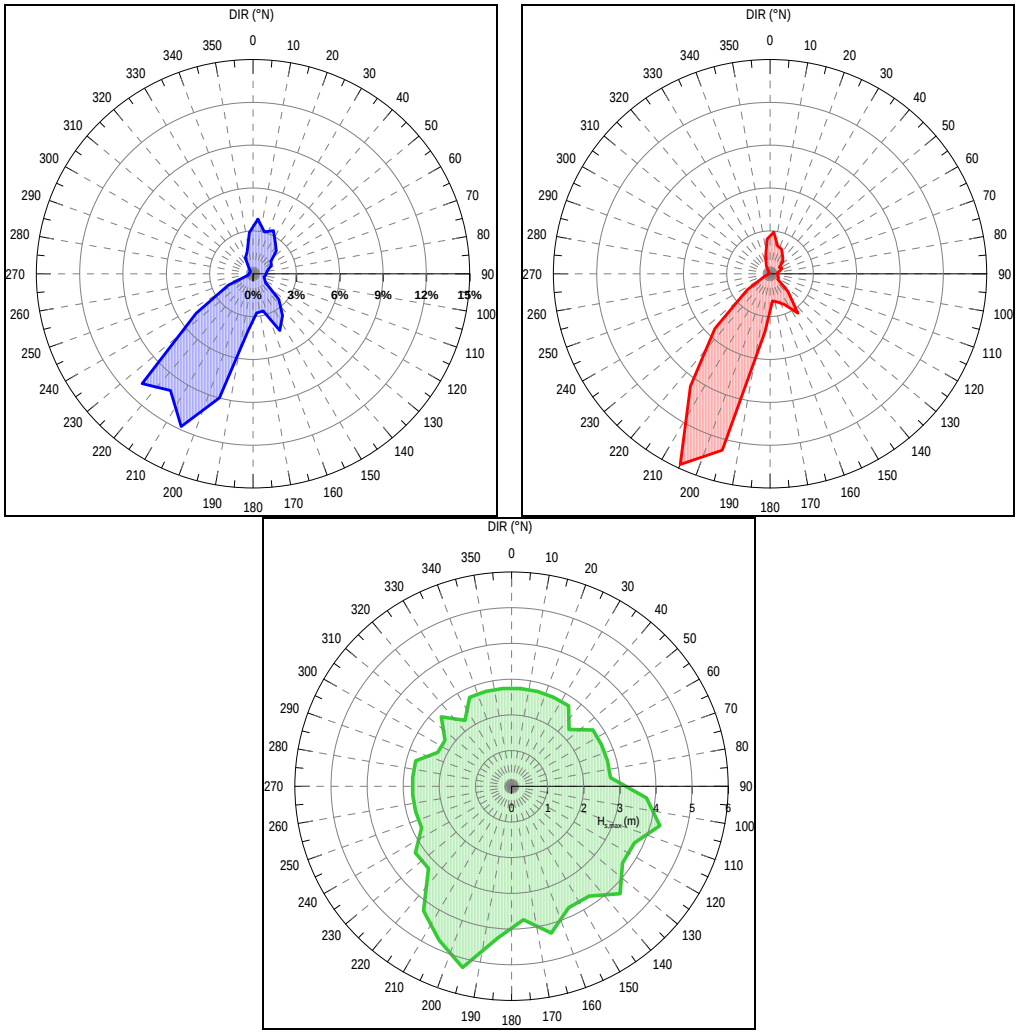


FIG. 4.24 - ROSE DELLE REGISTRAZIONI (A SINISTRA), DELLE ENERGIE (A DESTRA) E DELLE ALTEZZE MASSIME (SOTTO) RELATIVE AL PUNTO U.K.M.O.

Il clima ondoso al largo è stato propagato in corrispondenza di un punto locale posto di fronte al paraggio oggetto di studio, il punto "P", posto in mare aperto all'esterno della diga foranea su un fondale di circa 100 m, (vedi Fig. 4.25).
Il moto ondoso in questo punto, più vicino a riva, è stato successivamente utilizzato per definire i dati di input per lo studio della propagazione locale, della circolazione idrodi-

namica e del trasporto litoraneo, con riferimento ad alcune mareggiate ritenute significative, nonché per lo studio dell'evoluzione morfologica del litorale.
La propagazione locale del clima ondoso è stata condotta per mezzo del codice di calcolo STWAVE che simula la rifrazione e lo shoaling indotti dalla profondità e dalle correnti, il frangimento, la diffrazione, l'interazione tra onde e il fenomeno di whitecapping. Per una descrizione dettagliata del codice di calcolo si rimanda al paragrafo 1.2.1 dell'Appendice.

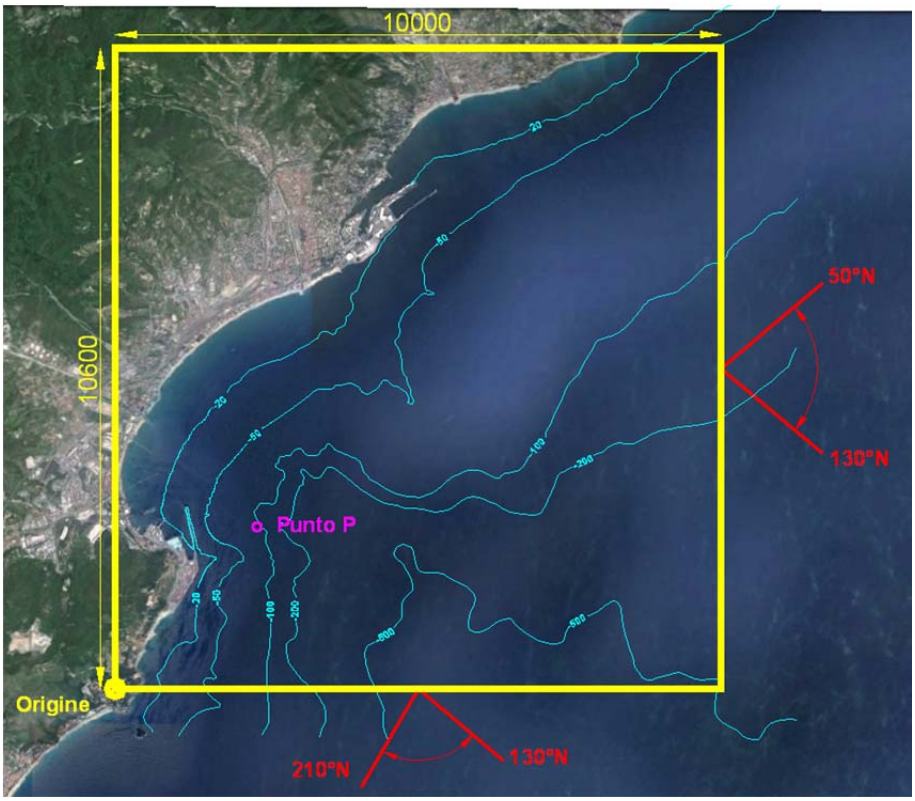


FIG. 4.25 - UBICAZIONE DEL PUNTO "P" DI RIFERIMENTO PER LE CONDIZIONI METEOMARINE.

Sulla base dell'analisi del moto ondoso al largo e sulla base della conformazione geografica e dell'ubicazione dell'area oggetto di studio, è stato possibile individuare il settore di traversia caratteristico del paraggio, che risulta compreso tra 50° e 210°N. Di conseguenza, con riferimento al clima ondoso relativo al punto UKMO al largo, sono stati propagati nel dominio di calcolo tutti gli eventi provenienti dal settore 50°÷210°N.

Sulla base delle caratteristiche del clima ondoso al largo, sono stati individuati tre differenti settori (50°÷90°N, 90°÷180°N e 180°÷210°N), per ciascuno dei quali è stata ricavata una curva di interpolazione tra altezza d'onda significativa e periodo (HS – Tz). Utilizzando le correlazioni ricavate dall'interpolazione dei dati di base (ricadenti nel periodo di osservazione gennaio 1987 – dicembre 2008), è stato possibile associare a ciascun evento ondoso il corrispondente periodo Tz in funzione dell'altezza significativa per i tre settori considerati.

I risultati delle propagazioni dal largo verso riva hanno permesso di ricostruire il clima ondoso locale, per classi di altezza significativa e di direzione locale dell'onda. Utilizzando le corrispondenze tra i risultati delle simulazioni (clima locale) e la tabella delle registrazioni relative al clima nel punto al largo (Tab. 4.23Tab. 4.23 - Caratteristiche delle onde "al largo" (punto U.K.M.O.)), è stato possibile associare a ciascun evento nel punto P una percentuale di apparizione e, quindi, ricostruire le rose delle registrazioni e delle energie sottocosta (Fig. 4.26) e la rosa delle altezze massime (Fig. 4.27).

Dall'analisi della rosa delle registrazioni e di quella delle energie, si osserva che nella propagazione verso costa il clima ondoso subisce una sensibile rotazione, per effetto della conformazione locale del paraggio, rientrando nel settore di traversia locale 60°÷190°N.

Si osserva che l'energia è concentrata nel settore di Mezzogiorno (con picco a 185°N) con un picco secondario nel settore di Scirocco (a 145°N); per il settore di Grecale si osserva infine un picco caratterizzato da energia piuttosto contenuta in corrispondenza della direzione 75°N.

Le mareggiate con i valori massimi di altezza significativa (compresi tra 3.5 e 4 m) provengono dai settori di Levante-Scirocco e Mezzogiorno; mentre per il settore di Grecale si presentano mareggiate con altezza significativa inferiore a 2.5 m.

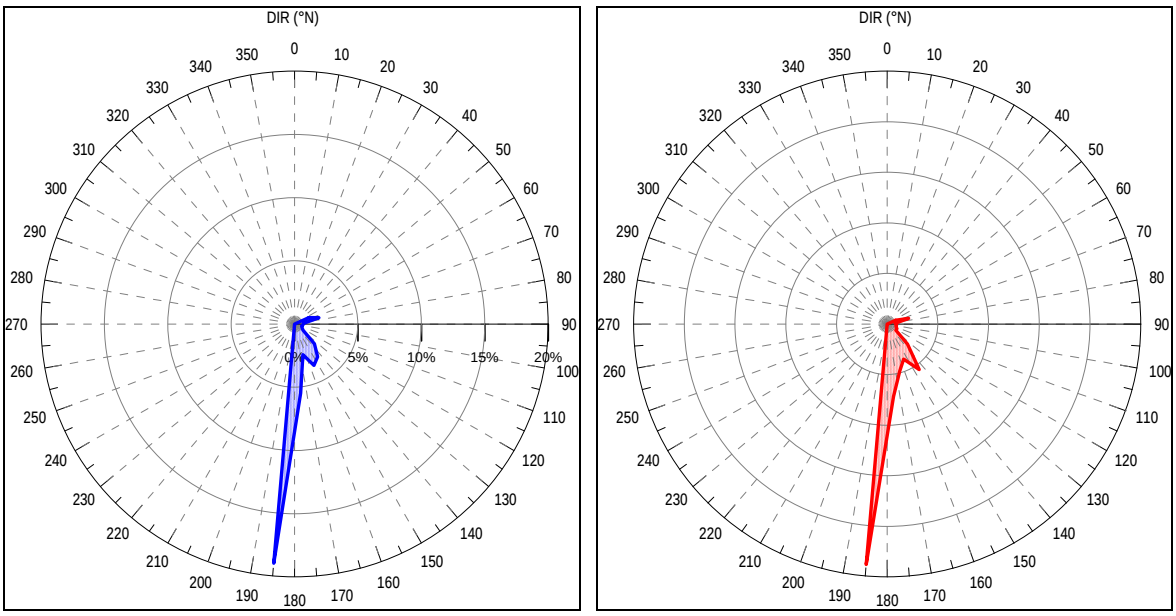


FIG. 4.26 - ROSE DELLE REGISTRAZIONI (A SINISTRA) E DELLE ENERGIE (A DESTRA) RELATIVE AL PUNTO P.

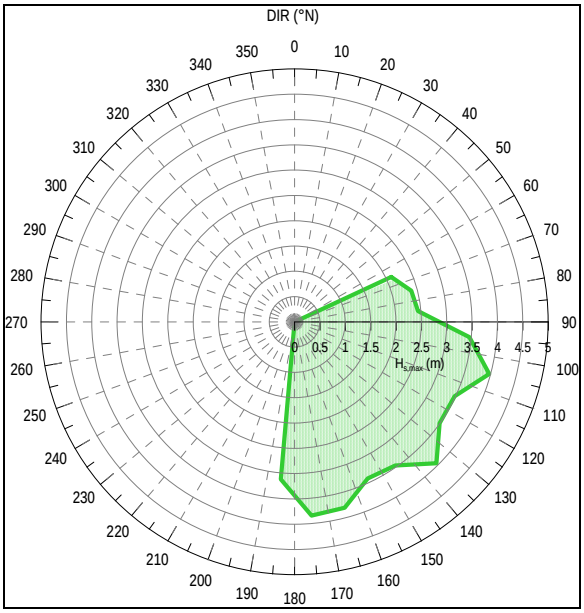


FIG. 4.27 - ROSA DELLE ALTEZZE MASSIME RELATIVA AL PUNTO P

4.5.3. Gli effetti indotti dalle opere previste sull'idrodinamica e sulla dispersione della baia di Vado.

La valutazione degli effetti indotti dagli interventi previsti sugli aspetti idrodinamici e dispersivi del sistema costiero di Vado Ligure è stata condotta con l'ausilio di modelli numerici in grado di determinare le caratteristiche idrodinamiche e la capacità di ricambio idrico dell'area in esame, importante parametro nella valutazione degli effetti di opere marittime lungo il litorale.
Analogamente al moto ondoso, la definizione delle caratteristiche idrodinamiche è stata condotta considerando l'intera baia di Vado Ligure (da Capo Vado sino al promontorio di Savona).
Il dominio di calcolo è stato inoltre ampliato fino ad includere il tratto di costa che da Capo Vado si estende sino all'isola di Bergeggi, e, a mare, è stata considerata come limite la batimetrica -700 m s.l.m.m. al fine di non risentire delle condizioni al contorno nell'area di interesse.
È stato utilizzato un modello matematico a maglia curvilinea con una risoluzione planimetrica adeguata ai fenomeni oggetto di studio (idrodinamica locale e dispersione di traccianti conservativi). Il modello adottato, Delft3D-FLOW, è stato sviluppato dal laboratorio idraulico olandese Deltares ed è stato testato e continuamente aggiornato per rispondere alle diverse richieste.
In questo paragrafo vengono riportati i risultati relativi alle analisi di dettaglio che hanno consentito di analizzare il comportamento idrodinamico che si verrà ad instaurare in seguito alla realizzazione delle opere previste nella Perizia di Variante della piattaforma e nel Progetto Esecutivo della diga foranea in considerazione del documento attuativo dell'Accordo di Programma, in cui la diga foranea sarà nella configurazione di 1° stralcio, considerando diverse condizioni di marea e meteorologiche.
Nella Fig. 4.28 viene riportata la griglia a maglia curvilinea definita per schematizzare la zona del porto di Vado Ligure mentre la batimetria della schematizzazione della configurazione analizzata viene presentata nella Fig. 4.29.

Le forzanti meteo-marine applicate per le simulazioni sono state:

- Marea sinusoidale con periodo di 12 ore ed escursione di 20 cm (+/- 10 cm l.m.m.), applicata al limite esterno del dominio di calcolo

- Corrente litoranea parallela alla linea di costa e rivolta in direzione SO con intensità variabile fino a 10 cm/s nella zona più esterna del dominio di calcolo
- Vento: quando richiesto per i diversi scenari, applicato uniforme sul dominio di calcolo e costante nel tempo sia in direzione che in intensità.

Sono stati considerati i seguenti venti:

- Vento da Nord-Est: intensità di 7 m/s
- Vento da Sud-Est: intensità di 7 m/s
- Vento da Nord-Ovest: intensità di 10 m/s

Per una dettagliata descrizione delle modalità di definizione della schematizzazione utilizzata per le simulazioni idrodinamiche e delle condizioni al contorno assegnate al modello si rimanda al Appendice di questo documento.

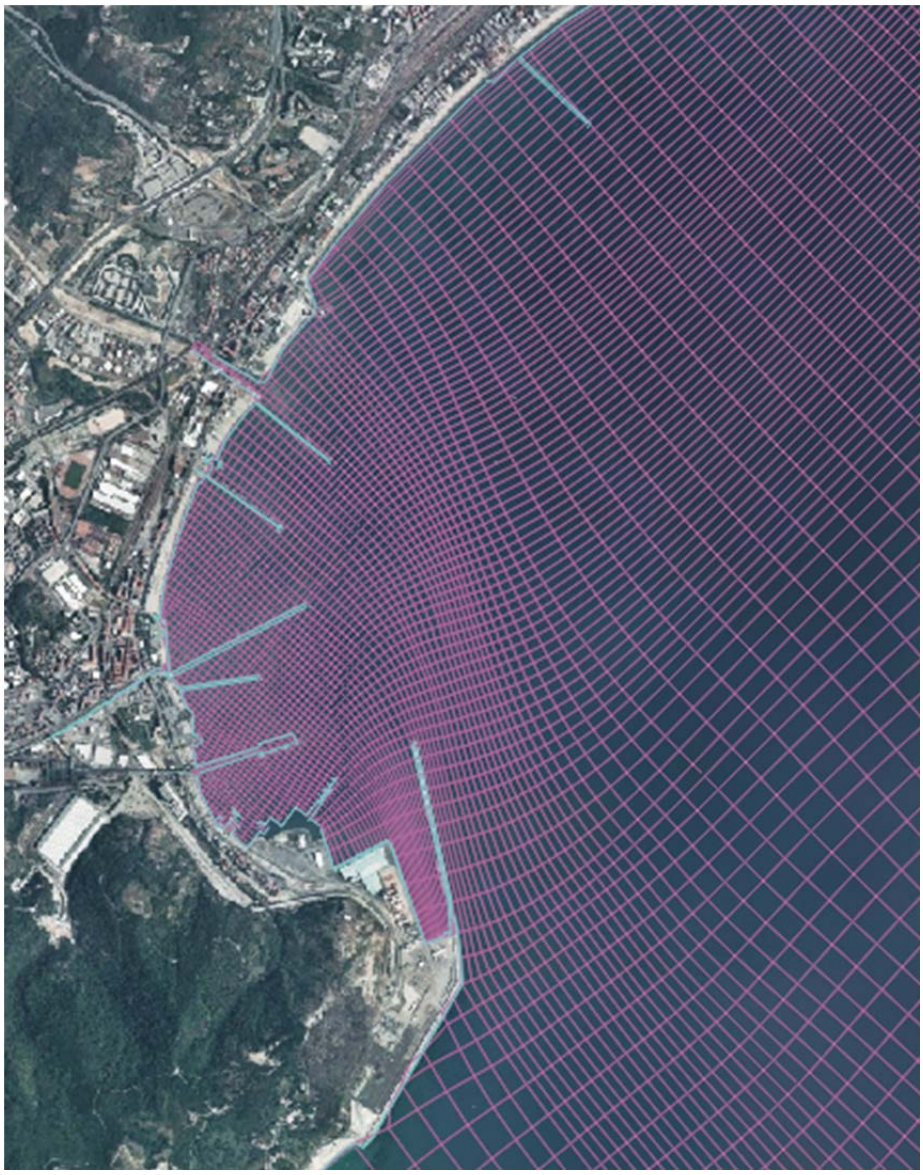


FIG. 4.28 - DETTAGLIO DELLA MAGLIA DI CALCOLO NELLA ZONA DEL PORTO DI VADO LIGURE.

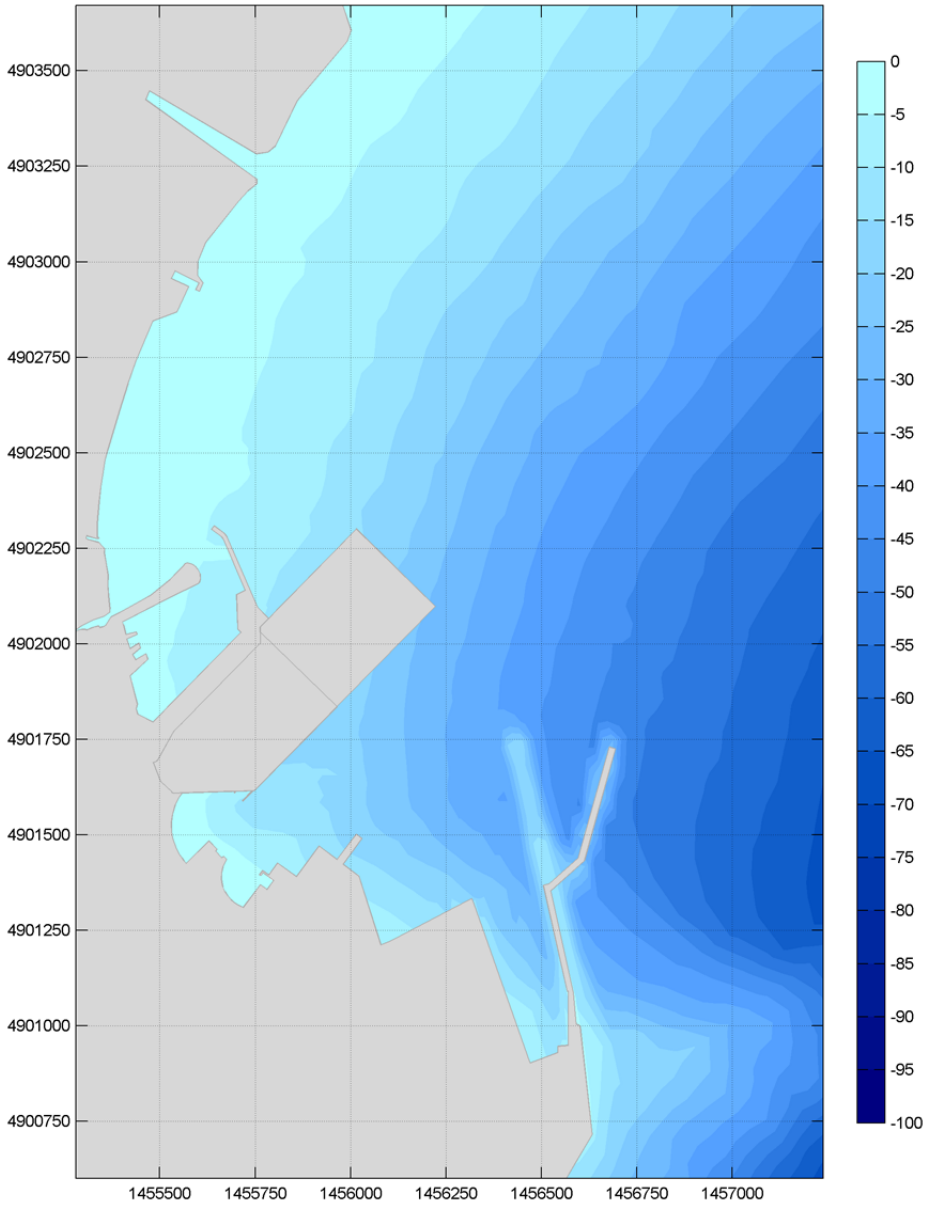


FIG. 4.29 - BATIMETRIA (M S.M.M.) DELLA SCHEMATIZZAZIONE CON LE OPERE A MARE PREVISTE NELLA CONFIGURAZIONE DI ANALISI.

Nella Tab. 4.24 si riportano le caratteristiche delle simulazioni effettuate.

TAB. 4.24 - FORZANTI METEOMARINE CONSIDERATE PER LE SIMULAZIONI IDRODINAMICHE

						VENTO	
Run	**Marea (cm)**	**Corrente (cm/s)**	**T.Segno (m^3/s)**	**T.Letimbro (m^3/s)**	**T.Quiliano (m^3/s)**	**Velocità (m/s)**	**Dir (°N)**
1	±10	2 – 10	10	14	15	-	-
2	±10	2 – 10	10	14	15	7	45
3	±10	2 – 10	10	14	15	7	135
4	±10	2 – 10	10	14	15	10	315

4.5.3.1 Caratteristiche idrodinamiche

Condizioni di calma di vento

La marea che si è considerata (± 10 cm rispetto al medio mare) determina dei campi di velocità estremamente contenuti. In Fig. 4.30 sono riportati i campi di moto in condizione di massimo flusso (a sinistra) e in condizioni di massimo riflusso (a destra)

Come si può notare, escludendo le foci dei fiumi dove le velocità sono determina-te dall'acqua dolce in fase di scarico, le velocità in tutta la zona si mantengono al di sotto dei 2 cm/s, quindi, molto basse.

Questo fatto avrà una notevole influenza sulla dispersione in quanto la componente avvettiva della stessa è da ritenere sostanzialmente non influente e la dispersione avviene principalmente in funzione dei gradienti di concentrazione.

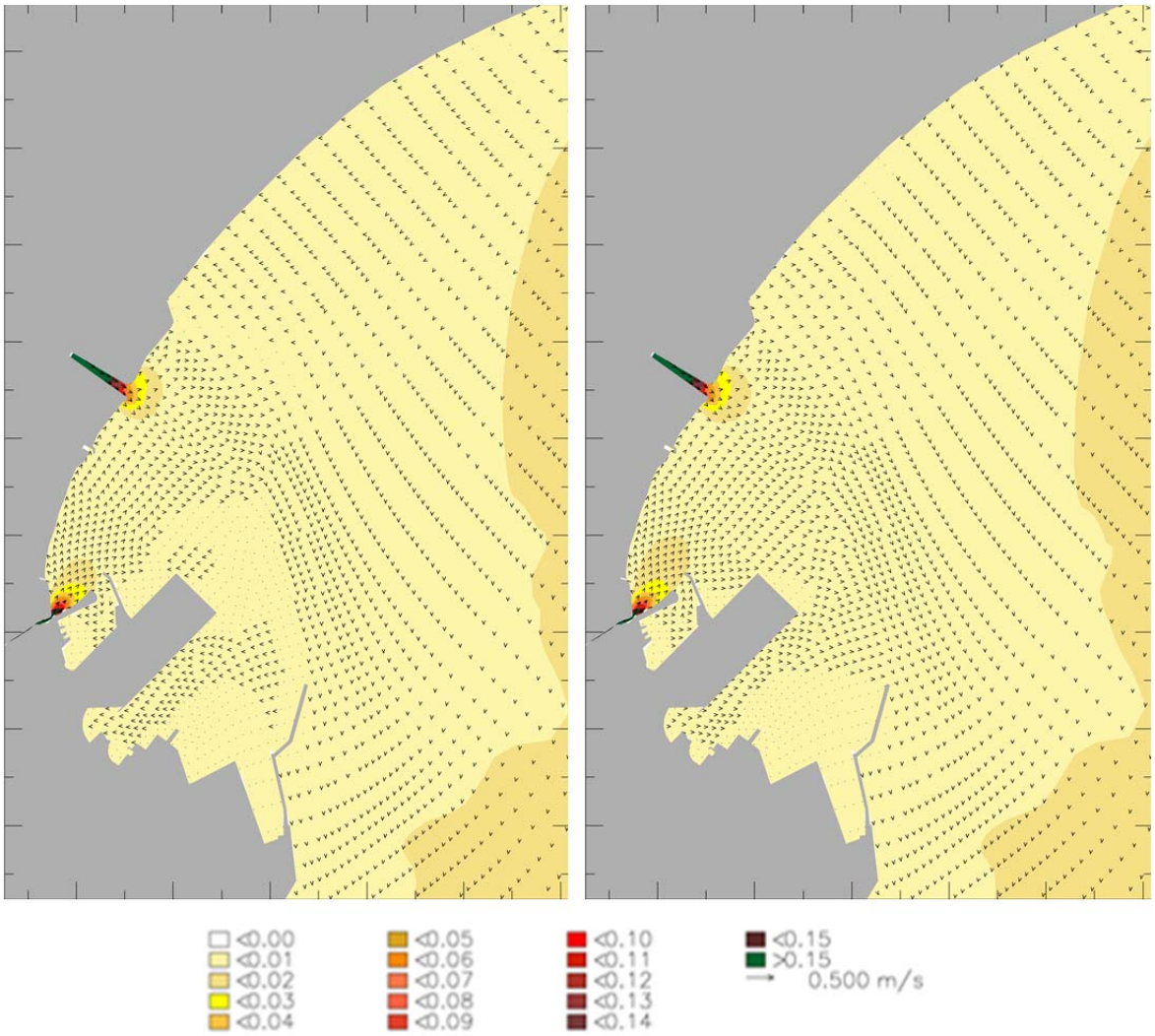


FIG. 4.30 - DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITÀ MEDIE (M/S) SULLA PROFONDITÀ IN ASSENZA DI VENTO - CONDIZIONE DI MASSIMO FLUSSO (SX) E MASSIMO RIFLUSSO (DX).

Condizione di vento da Nord Est

In questo caso è stato considerato come forzante aggiuntiva rispetto a quelle utilizzate nello scenario precedente, un vento da Nord-Est con intensità costante di 7 m/s, uniformemente distribuito su tutto il dominio di calcolo e costante per l'intera durata della simulazione.

La presenza di questo campo di vento non induce significative alterazioni al regime idrodinamico costiero generale; le velocità medie ed il sistema circolatorio costiero mantengono sostanzialmente lo stesso andamento caratteristico dello scenario senza vento.

Questo fatto non sorprende ed è coerente con tutte le considerazioni precedenti sul modello e sul sito in esame: la circolazione idrodinamica in questa regione, infatti, è regolata dalle forzanti marine ed in particolar modo dalla presenza di un sistema di correnti anticicloniche aderenti alla costa, mentre gli effetti delle correnti di trascinamento dovute al vento sono apprezzabili solo in presenza di fondali poco profondi ed in zone particolarmente esposte al vento considerato.

Dall'analisi dei campi di moto, riportati in Fig. 4.31, è possibile osservare la formazione di una corrente di superficie che si sviluppa lungo la linea di costa in direzione Sud-Ovest e che raggiunge una velocità massima di 5-6 cm/s. Questa corrente, tuttavia, non interessa l'area portuale in nessuna delle due configurazioni in esame essendo questa ben protetta e delimitata dai moli e dalle nuove strutture portuali. All'interno del bacino, quindi, le velocità sono del tutto trascurabili.

Questo effetto tende ad annullarsi negli strati immediatamente più profondi dove la marea e le correnti litoranee diventano preponderanti per la determinazione del campo di velocità.

Il vento, infatti, ha un effetto molto modesto se si considera la distribuzione delle velocità mediate sulla profondità come dimostrato nella Fig. 4.32 sia in fase di massimo flusso che in fase di riflusso.

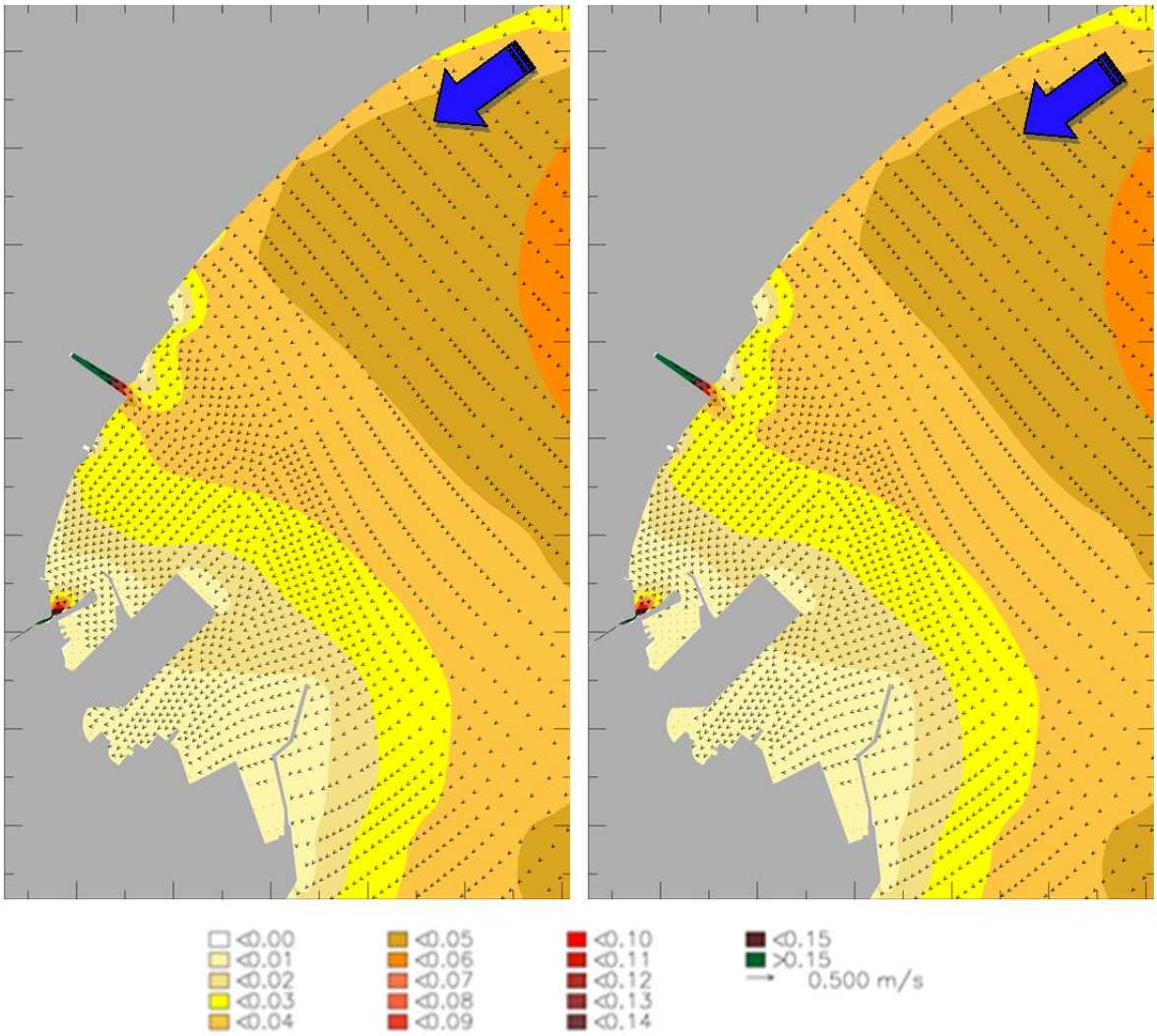


FIG. 4.31 - DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITÀ (M/S) NELLO STRATO SUPERFICIALE IN PRESENZA DI VENTO DA NORD EST - CONDIZIONE DI MASSIMO FLUSSO (SX) E MASSIMO RIFLUSSO (DX).

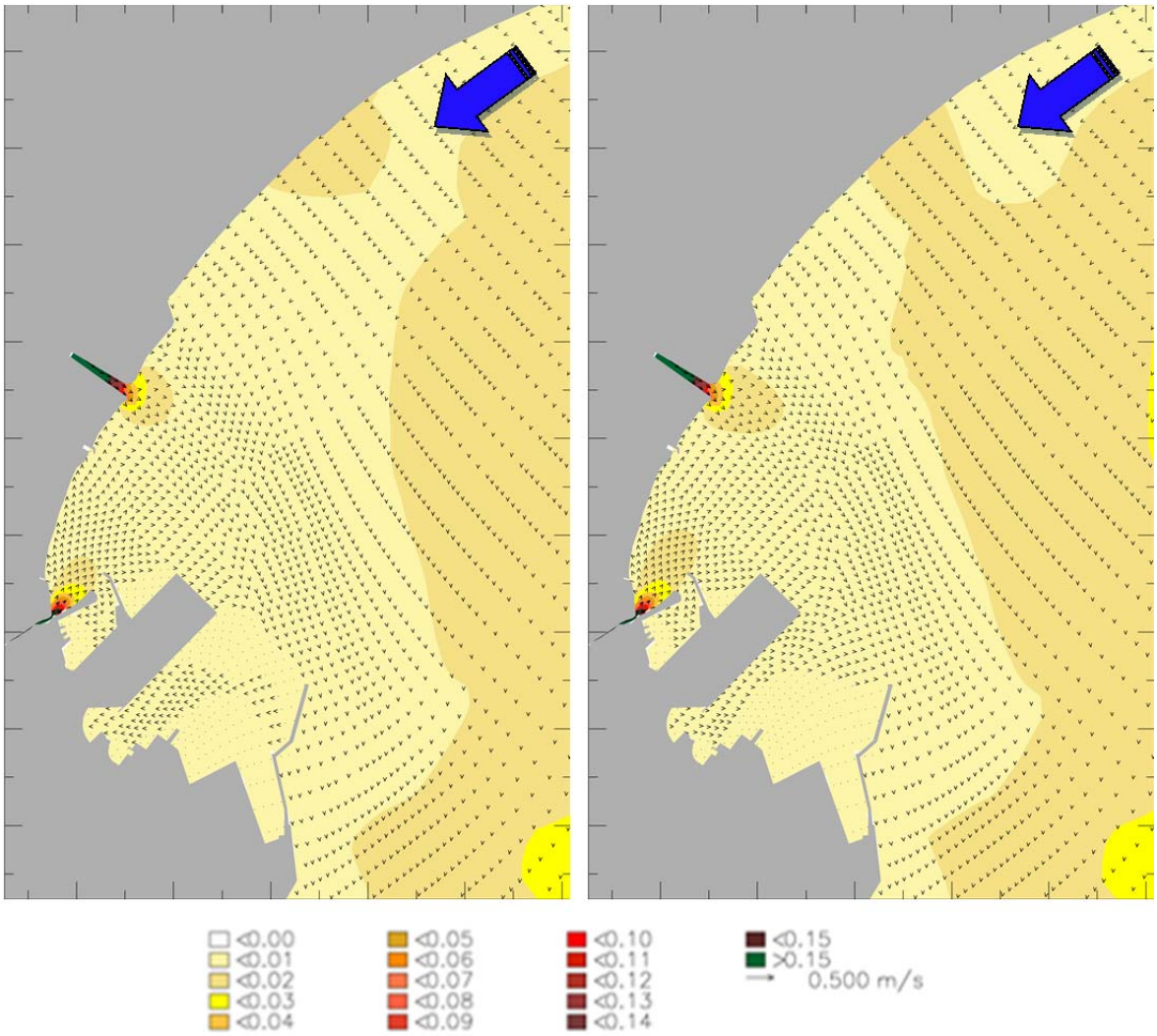


FIG. 4.32 - DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITÀ MEDIE (M/S) SULLA PROFONDITÀ IN PRESENZA DI VENTO DA NORD EST - CONDIZIONE DI MASSIMO FLUSSO (SX) E MASSIMO RIFLUSSO (DX).

Condizione di vento da Sud Est

In questo scenario è stato considerato, oltre alla marea e alle correnti litoranee, an-che un vento da Sud-Est con intensità costante di 7 m/s uniformemente distribuito su tutto il dominio di calcolo e costante per l'intera durata della simulazione.
Anche per questo caso valgono le stesse considerazioni esposte per il caso precedente.
La presenza di questo campo di vento non induce significative alterazioni al regime idrodinamico costiero generale; le velocità medie ed il sistema circolatorio costiero permangono molto simili a quelli osservati nei casi precedenti.
In Fig. 4.33 è possibile osservare la presenza di correnti più intense negli strati superficiali che raggiungono le velocità di circa 4 cm/s e risulta abbastanza evidente l'effetto schermante del nuovo molo nella situazione finale, che tende ad deviare le correnti superficiali provenienti da Sud-Est e a proteggere il bacino del porto mantenendo le velocità all'interno estremamente basse.
Come già detto precedentemente, questo effetto tende ad annullarsi negli strati immediatamente più profondi e scompare quasi del tutto se si considera la distribuzione delle velocità mediate sulla profondità (vedi Fig. 4.34)

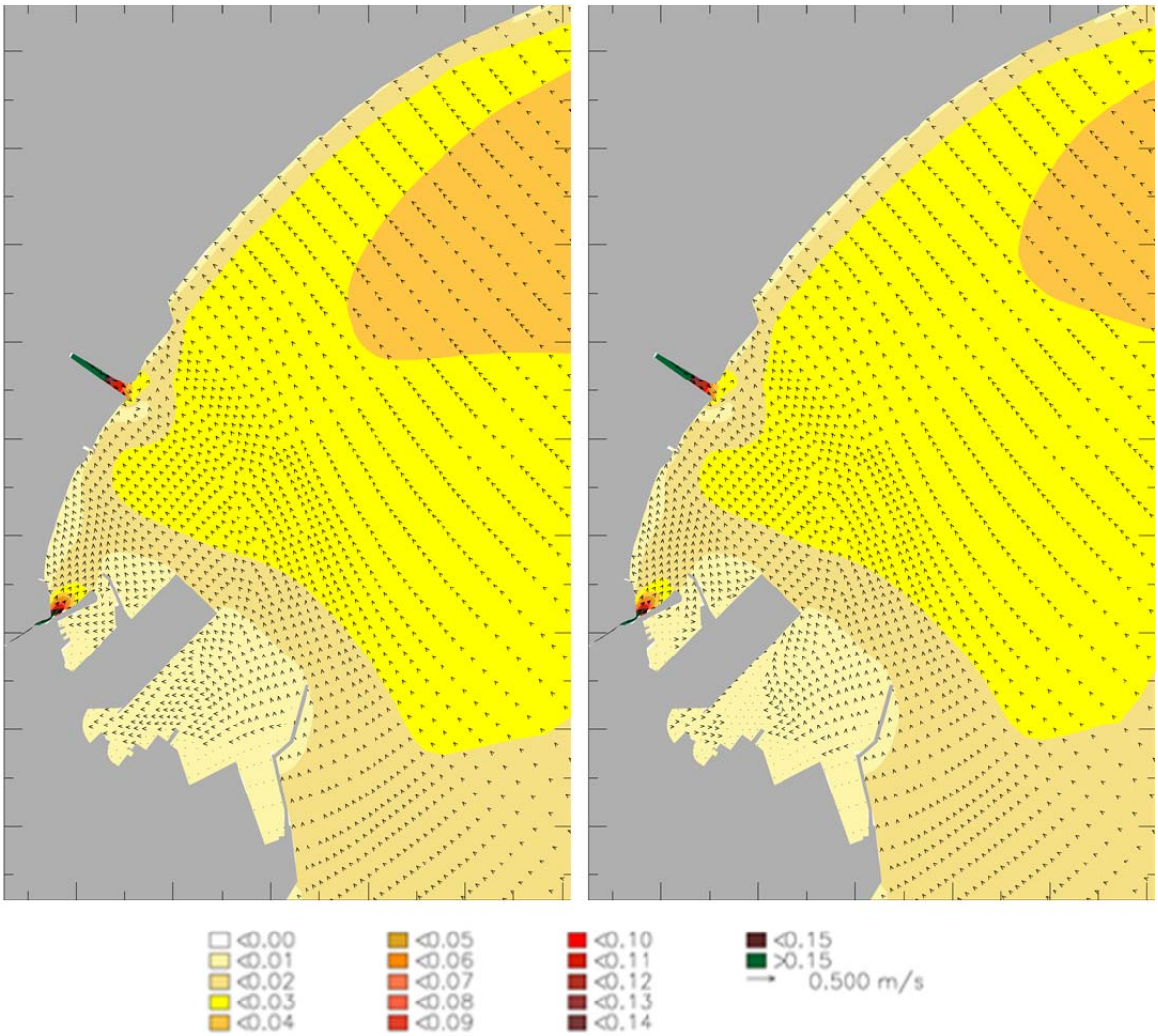


FIG. 4.33 - DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITÀ (M/S) NELLO STRATO SUPERFICIALE IN PRESENZA DI VENTO DA SUD EST - CONDIZIONE DI MASSIMO FLUSSO (SX) E MASSIMO RIFLUSSO (DX).

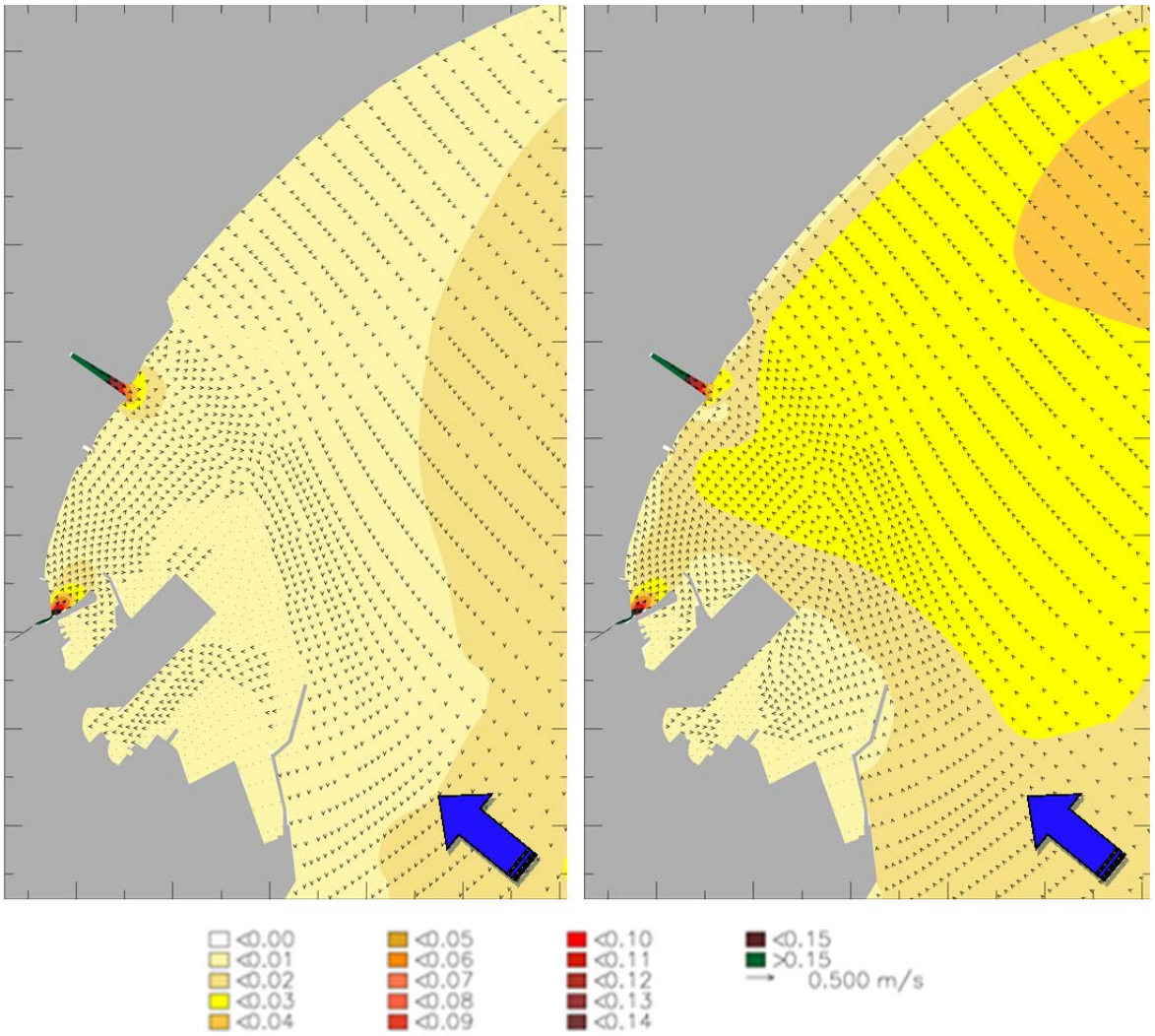


FIG. 4.34 - DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITÀ MEDIE (M/S) SULLA PROFONDITÀ IN PRESENZA DI VENTO DA SUD EST - CONDIZIONE DI MASSIMO FLUSSO (SX) E MASSIMO RIFLUSSO (DX).

Condizione di vento da Nord Ovest

In questo scenario è stato considerato, oltre alla marea e alle correnti litoranee, anche un vento da Nord-Ovest con intensità costante di 10 m/s uniformemente distribuito su tutto il dominio di calcolo e costante per l'intera durata della simula-zione.
In Fig. 4.35, è possibile osservare come la presenza di questo campo di vento più intenso e rivolto verso il mare aperto induca una corrente superficiale abbastanza omogenea, con velocità dell'ordine di 5-10 cm/s su tutta l'area costiera, ad eccezione, della zona portuale dove la circolazione è limitata per la presenza dei moli.
A tal proposito, è altresì evidente l'effetto della nuova diga foranea che, anche nella configurazione di 1° fase, tende a deviare le correnti superficiali ed a mantenere le velocità basse all'interno del bacino portuale.
Questo effetto è meno visibile negli strati immediatamente più profondi dove la marea e le correnti litoranee diventano preponderanti per la determinazione del campo di velocità. Il vento, infatti, ha un effetto molto modesto se si considera la distribuzione delle velocità mediate sulla profondità come dimostrato nella Fig. 4.36.
Da un punto di vista più generale anche questo vento non influenza in modo significativo il regime idrodinamico costiero che rimane molto simile a quello osservato nello scenario in condizione di calma di vento.

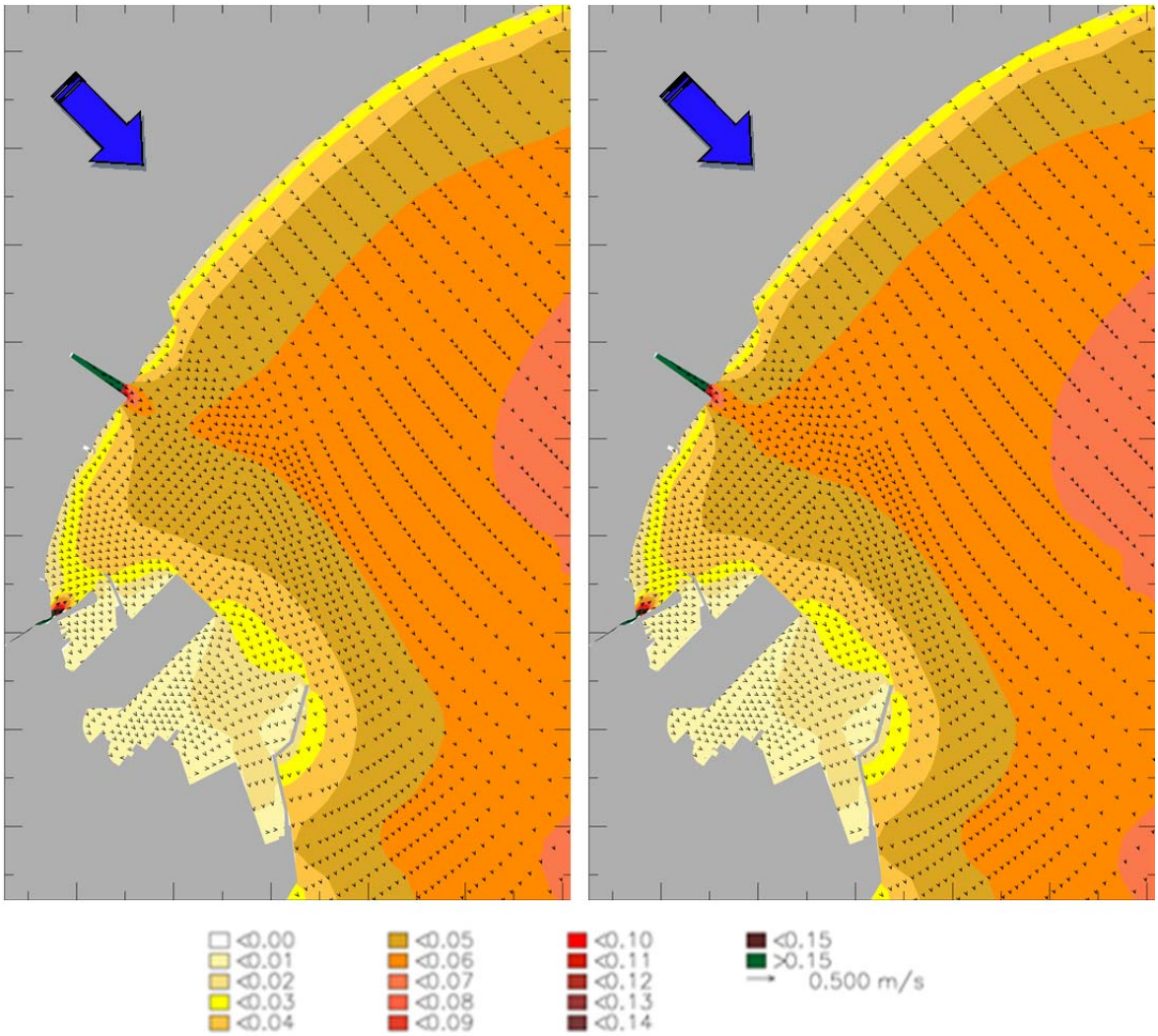


FIG. 4.35 - DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITÀ (M/S) NELLO STRATO SUPERFICIALE IN PRESENZA DI VENTO DA NORD OVEST - CONDIZIONE DI MASSIMO FLUSSO (SX) E MASSIMO RIFLUSSO (DX).

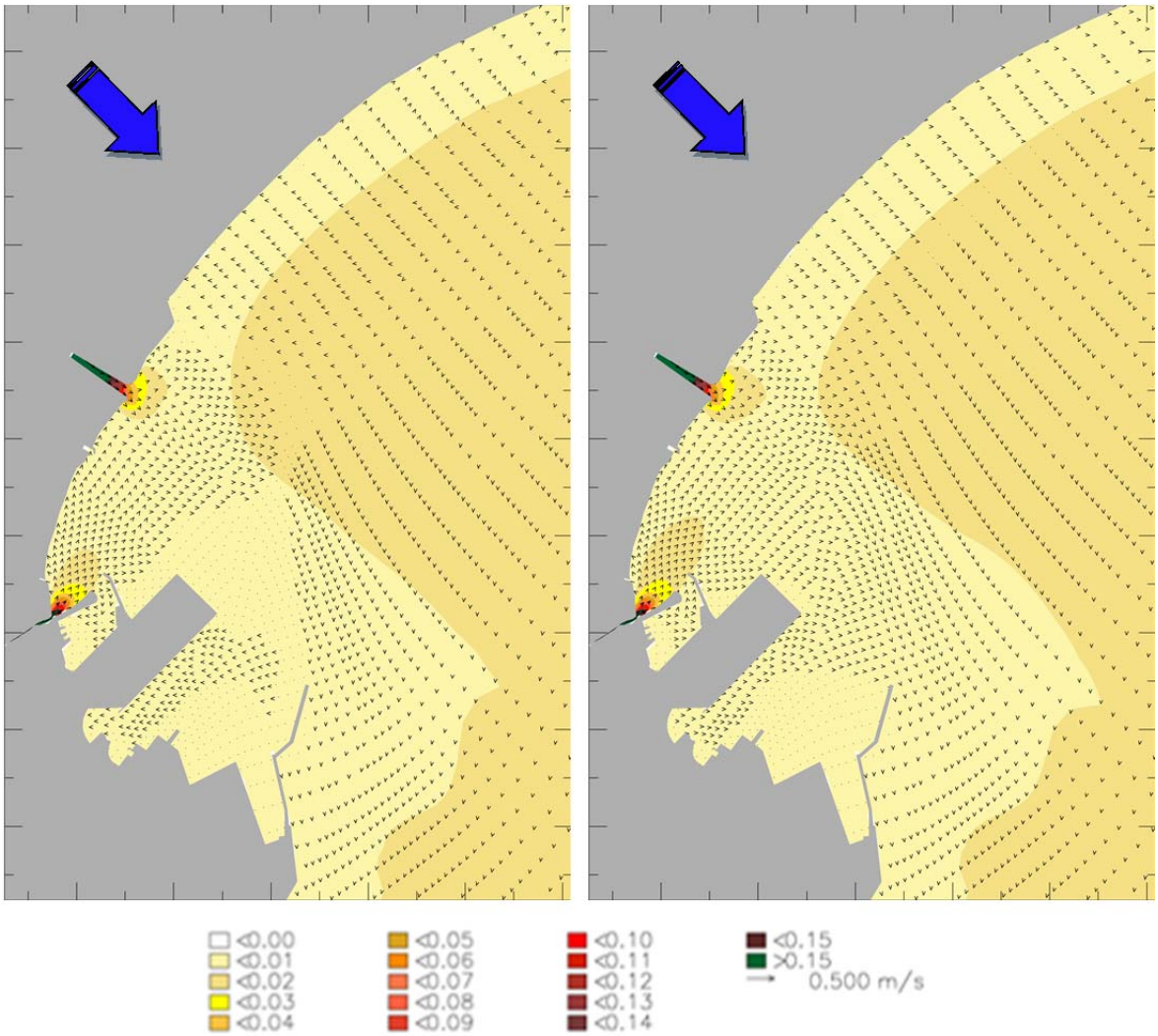


FIG. 4.36 - DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITÀ MEDIE (M/S) SULLA PROFONDITÀ IN PRESENZA DI VENTO DA NORD OVEST - CONDIZIONE DI MASSIMO FLUSSO (SX) E MASSIMO RIFLUSSO (DX).

4.5.3.2 Caratteristiche dispersive

Gli indicatori utilizzati per analizzare le caratteristiche dispersive nel tratto litoraneo compreso tra la rada di Vado e la foce del torrente Letimbro nella configurazione di variante di progetto esecutivo senza la realizzazione del porto turistico, sono basati sulle analisi modellistiche della dispersione di un tracciante di origine torrentizia in grado di immettere nel sistema sostanze potenzialmente inquinanti e, quindi, nocive per le aree litoranee di maggiore pregio e ed interesse turistico.

Al fine di ottenere una valutazione di tipo parametrico sulla dispersione delle acque dei torrenti che sfociano nella baia di Vado Ligure, è stato assunto che ogni torrente recapitasse in mare acqua caratterizzata dalla medesima concentrazione di un tracciante passivo, ovvero di una sostanza perfettamente solubile in acqua che non subisce trasformazioni né chimiche né fisiche mentre si disperde nella zona.

Nelle simulazioni sono stati considerati tre traccianti diversi, per ciascuno dei tre torrenti con le medesime caratteristiche e con una concentrazione allo scarico pari a 1 g/m^3. In questo modo, avendo assunto uno scarico unitario alla sorgente, la concentrazione risultante C(x,t) in un determinato punto dello spazio all'istante temporale t rappresenta anche il rapporto di diluizione tra la concentrazione C(x,t) la concentrazione C0 al rilascio ed indica quindi l'abbattimento rispetto al carico iniziale immesso nel sistema.

Gli scenari idrodinamici e di deflusso adottati nelle simulazioni, sono quelli già considerati per la definizione delle caratteristiche idrodinamiche.

<u>Condizioni di calma di vento</u>

Per questo scenario l'idrodinamica dell'area di studio è determinata esclusivamente dall'oscillazione periodica della marea e dalla presenza della corrente litoranea.

In Fig. 4.37 si riporta la distribuzione della concentrazione del tracciante considerato, analizzando il contributo per ogni singolo corso d'acqua e per tutti tre i corsi d'acqua contemporaneamente.

Lo scarico del Torrente Letimbro interessa un'area di litorale attorno alla sua foce dove si disperde in modo sostanzialmente simmetrico. A maggiori distanze, invece, si può osservare come la presenza di una corrente litoranea, seppure molto debole, tenda a deformare il "plume" nella direzione Sud-Ovest. E' inoltre da rilevare come il tracciante rilasciato dal Torrente Letimbro non vada ad interessare in modo significativo la zona portuale.

Il Torrente Quiliano, ha un comportamento simile a quello del Torrente Letimbro: il "plume" di dispersione si manifesta in modo abbastanza simmetrico nell'intorno del punto di immissione. Le concentrazioni del tracciante tendono rapidamente a decrescere sotto la soglia di 0.05 g/m³ rispetto alla concentrazione iniziale nel raggio di alcune centinaia di metri dal punto di rilascio. In prossimità della foce del Segno, nell'area dove è prevista la realizzazione del nuovo porto turistico, le concentrazioni del tracciante sono nell'ordine di qualche percentuale mentre all'interno della rada assumono valori inferiori, nell'ordine di 0.01 g/m³.

Il Torrente Segno, data la morfologia della zona in cui sfocia e la vicinanza alla zona portuale è quello che manifesta maggiori livelli di concentrazione nella area portuale e, in particolare, nell'area litoranea a nord della foce.

Dai risultati delle analisi è possibile osservare che il "plume" del tracciante rimane tendenzialmente confinato in prossimità della foce e tende a diffondersi maggiormente verso nord mentre verso sud il trasporto è ostacolato dalla presenza della radice della piattaforma. In questa zona le concentrazioni variano nell'intervallo 0.2–0.3 g/m³. Il tracciante tende comunque a disperdersi rapidamente e a scendere nel raggio di qualche centinaio di metri sotto il livello del 0.05 g/m³. Nella rada di vado, infine, le concentrazioni osservate sono nell'ordine di 0.01 - 0.02 g/m³.

Per quanto riguarda la distribuzione della concentrazione del tracciante conservativo considerato analizzando il contributo di tutti tre i corsi d'acqua contemporaneamente, si può notare come l'area di influenza di ogni singolo torrente si sovrapponga con quella degli altri, determinando sotto costa un'area con valori di concentrazione variabili; le massime concentrazioni rimangono comunque in corrispondenza delle tre foci e nelle aree limitrofi.

Mentre il Torrente Letimbro si conferma il corso d'acqua con minore influenza, il Torrente Quiliano e il Torrente Segno tendono a sovrapporsi in termini di effetto e quindi ad incrementare le concentrazioni nell'area litoranea che assumono valori compresi nell'intervallo 0.2–0.4 g/m³ in funzione della vicinanza alle foci dei torrenti. Il tracciante tende rapidamente a diminuire spostandosi verso marea aperto ; nella rada di Vado la concentrazione totale è nell'ordine di 0.04 g/m³.

In termini generali è possibile osservare che la componente avvettiva del trasporto (cioè quella legata alle correnti) è molto bassa dati i bassi valori di velocità, mentre è preponderante la componente dispersiva.

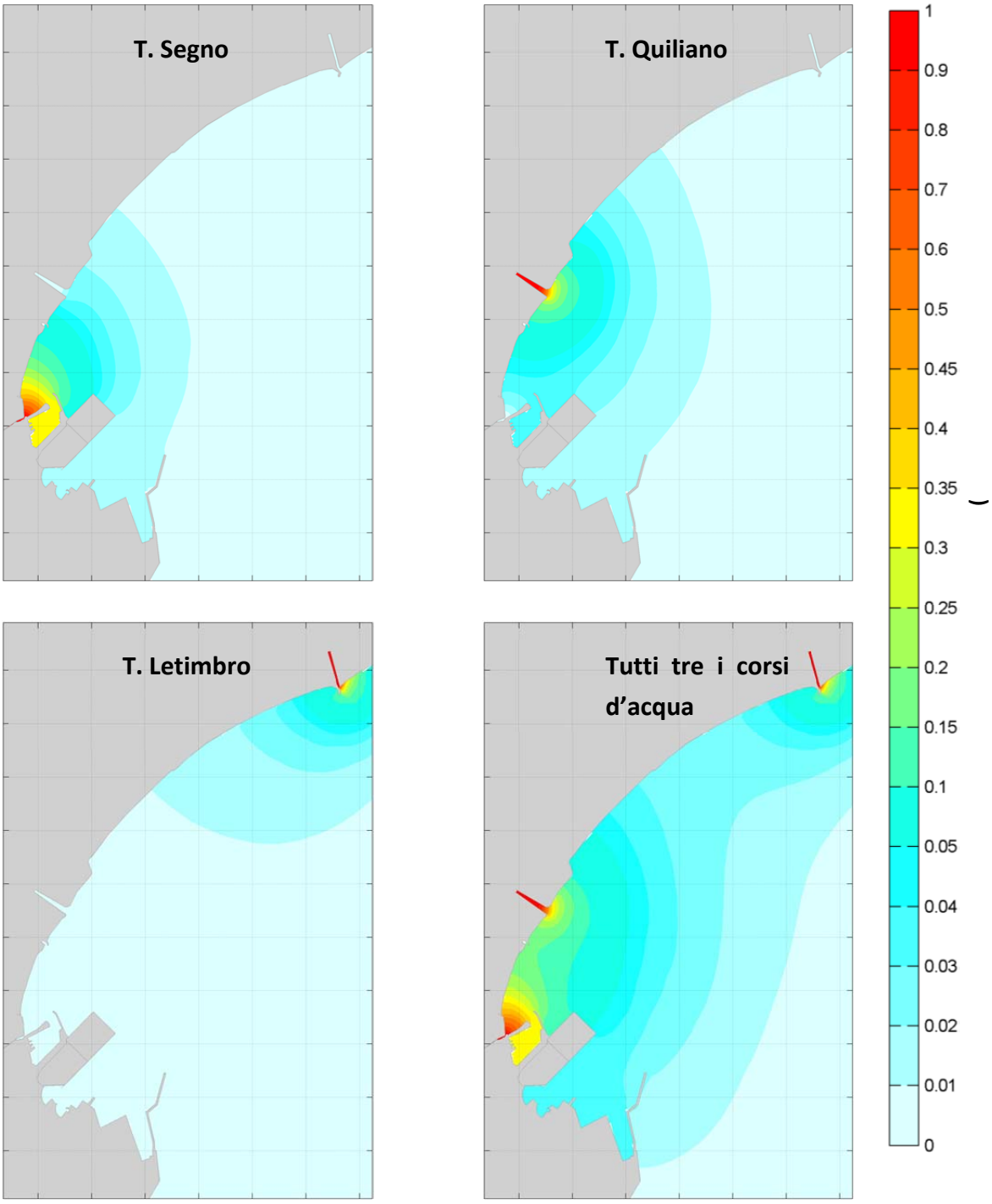


FIG. 4.37 - ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE DEI TRACCIANTI RILASCIATI DAI TORRENTI IN ASSENZA DI VENTO.

Condizione di vento da Nord Est

In questo scenario idrodinamico è stato considerato che un vento da Nord-Est con intensità costante di 7 m/s fosse uniformemente distribuito e presente ininterrottamente per tutta la durata della simulazione.

In Fig. 4.38 si riporta la distribuzione della concentrazione del tracciante considerato, analizzando il contributo per ogni singolo corso d'acqua e per tutti tre i corsi d'acqua contemporaneamente.

Come già osservato nei paragrafi precedenti, l'applicazione di una campo di vento non è in grado di alterare in modo evidente la circolazione idrodinamica nell'area. Gli effetti sono visibili solo sullo strato superficiale dove si instaura una corrente concorde al vento mentre le velocità medie sulla verticale rimangono molto simili a quelle del caso senza vento e sono, quindi, generalmente molto basse.

Anche la dispersione dei traccianti conservativi, di conseguenza, presenta un pattern di diffusione molto simile a quello osservato per il caso senza vento, dal momento che la componente avvettiva del trasporto continua ad avere un peso di secondo ordine rispetto alla componente dispersiva.

Per quanto riguarda il tracciante T. Letimbro, rispetto al caso precedente si può notare un lieve spostamento del "plume" in direzione sud-ovest. In riferimento al T. Quiliano e al T. Segno si osserva che la corrente litoranea superficiale indotta dal vento contrasta la dispersione del "plume" verso Nord e, quindi, l'area litoranea interessata dalla dispersione risulta leggermente minore.

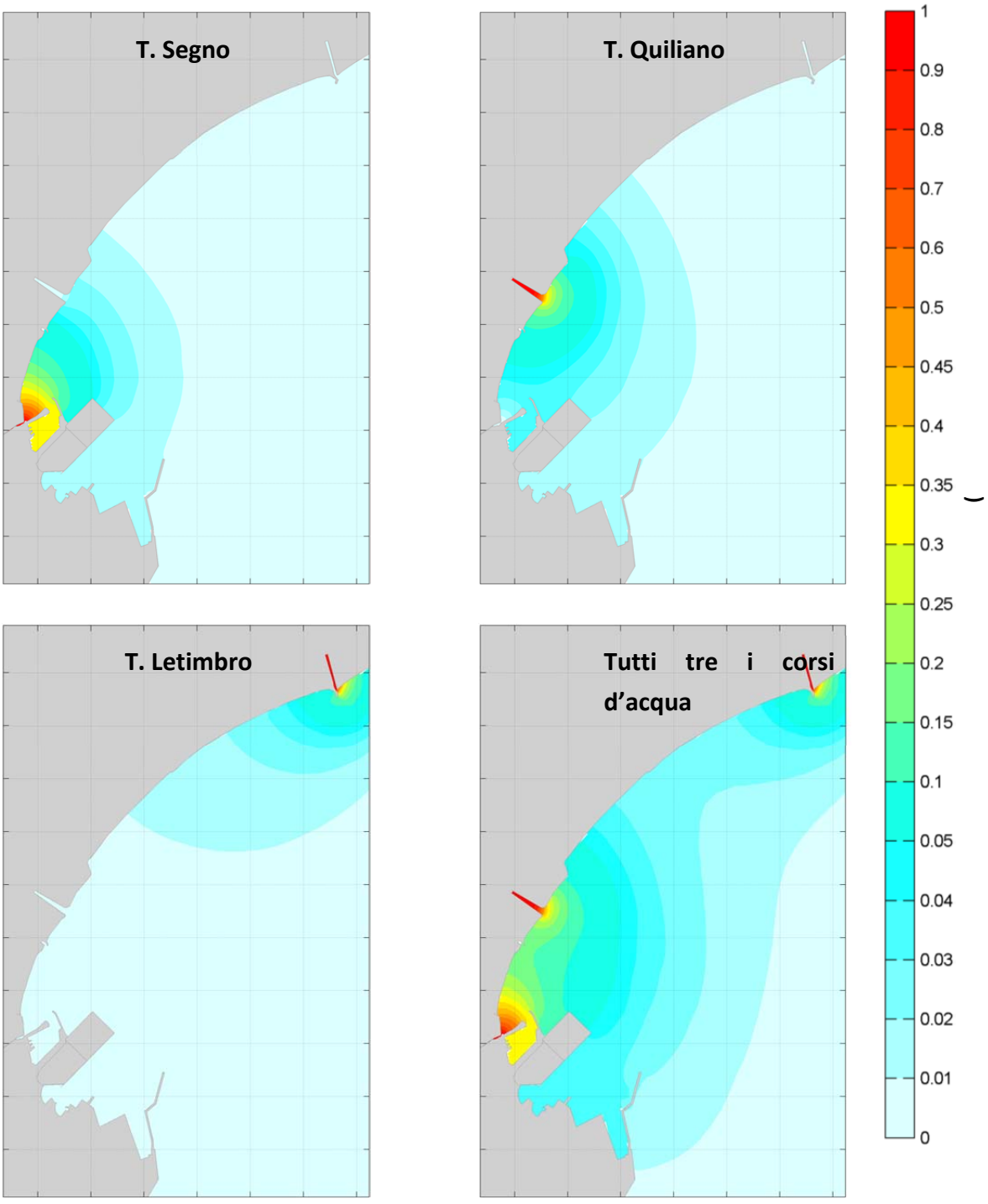


FIG. 4.38 - ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE DEI TRACCIANTI RILASCIATI DAI TORRENTI IN CONDIZIONE DI VENTO DA NORD EST.

Condizione di vento da Sud Est

In questo scenario è stato considerato che un vento da Sud-Est con intensità costante di 7 m/s fosse uniformemente distribuito e presente ininterrottamente per tutta la durata della simulazione.

In Fig. 4.39 si riporta la distribuzione della concentrazione del tracciante considerato, analizzando il contributo per ogni singolo corso d'acqua e per tutti tre i corsi d'acqua contemporaneamente.

Anche per questo scenario valgono le stesse considerazioni svolte per il caso precedente. L'applicazione di una campo di vento non è in grado di alterare in modo sensibile la circolazione idrodinamica e, di conseguenza nemmeno i processi di trasporto del tracciante.

Il pattern di diffusione dei traccianti rimane pertanto molto simile a quello dei casi precedenti e gli effetti sono visibili solo sullo strato superficiale dove si instaura una corrente concorde al vento mentre le velocità medie sulla verticale rimangono molto simili a quelle del caso senza vento e sono, quindi, generalmente molto basse.

Per quanto riguarda il tracciante T. Letimbro, rispetto al caso senza vento, si può notare un leggero schiacciamento del "plume" dovuto alla corrente indotta dal vento che contrasta la dispersione verso Sud-Est mentre per quel che riguarda il tracciante T. Quiliano e per il T. Segno questo effetto è meno evidente.

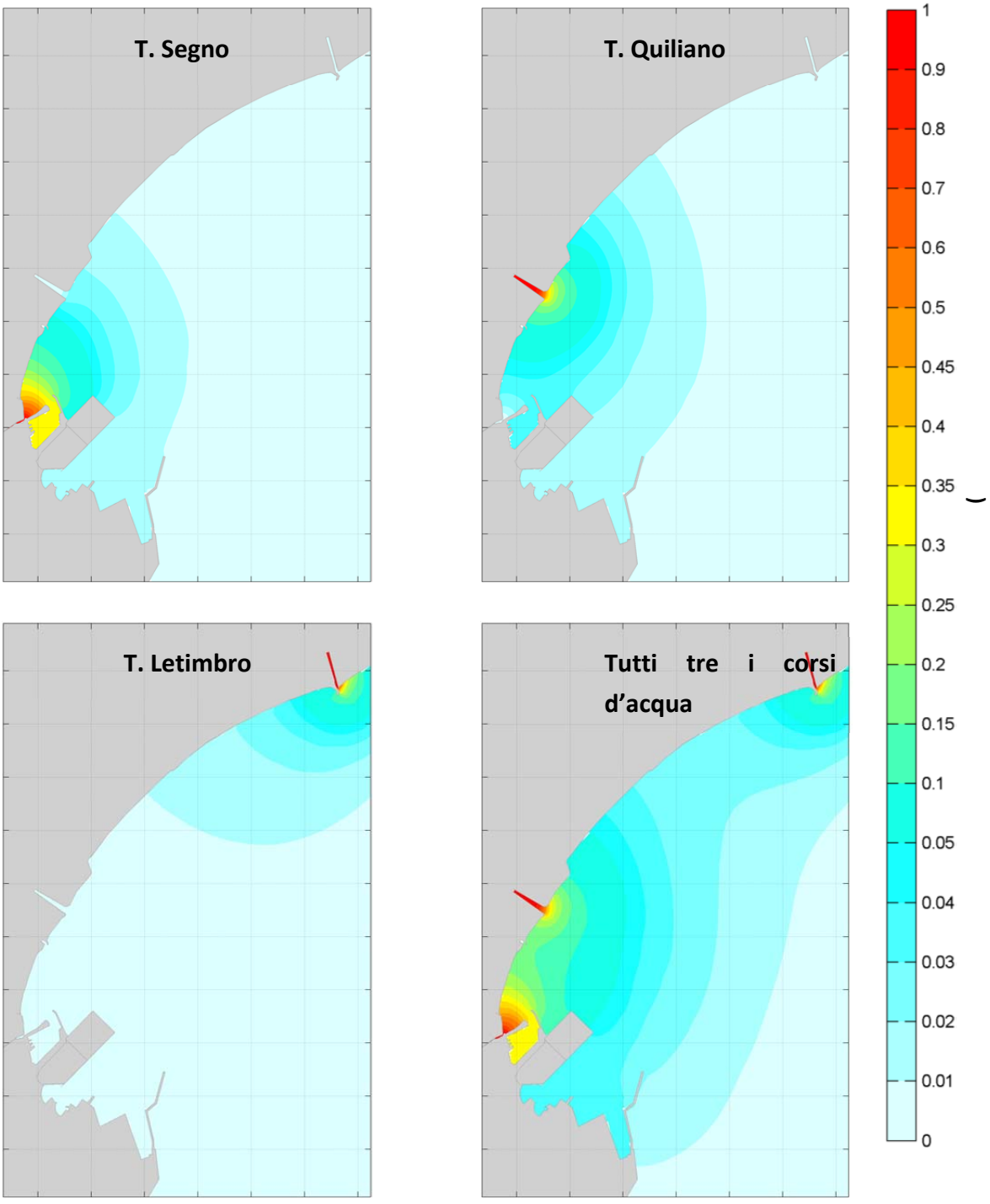


FIG. 4.39 - ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE DEI TRACCIANTI RILASCIATI DAI TORRENTI IN CONDIZIONE DI VENTO DA SUD EST.

Condizione di vento da Nord Ovest

In questo scenario è stato considerato che un vento da Nord-Ovest con intensità costante di 10 m/s fosse uniformemente distribuito e presente ininterrottamente per tutta la durata della simulazione.

In Fig. 4.40 si riporta la distribuzione della concentrazione del tracciante considerato, analizzando il contributo per ogni singolo corso d'acqua e per tutti tre i corsi d'acqua contemporaneamente.

Anche per questo scenario valgono le stesse considerazioni svolte per il caso precedente. L'applicazione di una campo di vento non è in grado di alterare in modo sensibile la circolazione idrodinamica e, di conseguenza nemmeno i processi di trasporto del tracciante.

Il pattern di diffusione dei traccianti rimane pertanto molto simile a quello dei casi precedenti con una leggero incremento della dispersione verso largo per lo sviluppo di una corrente superficiale concorde al vento.

Il pattern di diffusione dei traccianti rimane pertanto molto simile a quello dei casi precedenti e gli effetti sono visibili solo sullo strato superficiale dove si instaura una corrente concorde al vento mentre le velocità medie sulla verticale rimangono molto simili a quelle del caso senza vento e sono, quindi, generalmente molto basse.

Per quanto riguarda il tracciante T. Quiliano e T. Segno, rispetto al caso senza vento, si può notare un leggero incremento della dispersione nella direzione Sud-Est dovuto alla corrente indotta dal vento mentre per quel che riguarda il tracciante T. Letimbro questo effetto è meno evidente.

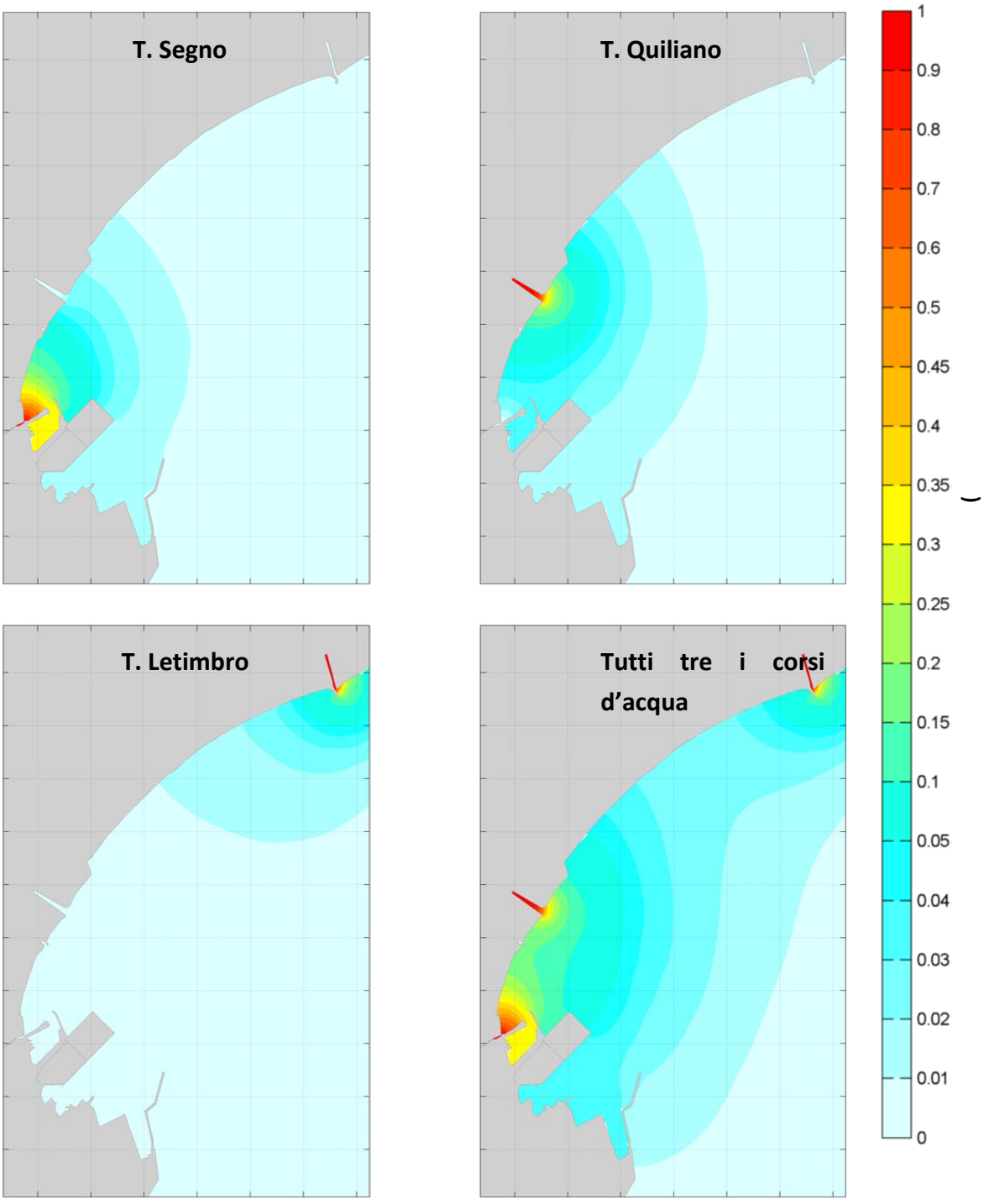


FIG. 4.40 - ANDAMENTO DELLA CONCENTRAZIONE DEI TRACCIANTI RILASCIATI DAI TORRENTI IN CONDIZIONE DI VENTO DA NORD OVEST.

4.5.4. Analisi della capacità di ricambio

Un altro fenomeno di notevole importanza per la valutazione degli effetti delle opere previste il litorale è la capacità di ricambio del sistema. Al tal fine sono state eseguite delle specifiche analisi ancora considerando la dispersione di traccianti passivi.

In particolare sono state effettuate due specifiche analisi modellistiche:

- "*fraction analysis*" - che consente di individuare la provenienza dell'acqua presente nella colonna d'acqua e, quindi, la capacità di ricambio di una determinata zona e con l'acqua di quale provenienza (fiumi, scarichi, mare, ecc.);
- "*tempo di ricambio*" - che consente di valutare il tempo necessario perché la concentrazione di una sostanza conservativa, inizialmente uniformemente distribuita nell'area di interesse, si riduca di circa il 63%.

La simulazione idrodinamica utilizzata per queste analisi è stata eseguita considerando le seguenti condizioni:

- Marea media, come precedentemente definita;
- Assenza di vento;
- Portate dei fiumi sfocianti in mare come precedentemente definita;

Per l'analisi della capacità di ricambio nella baia di Vado Ligure è stata considerata due configurazione di riferimento da Progetto Esecutivo approvato.

4.5.4.1 Fraction analysis

Questo tipo di analisi identifica l'andamento della circolazione in una zona ed il contributo delle diverse sorgenti alla massa totale d'acqua ivi presente.

L'analisi è stata effettuata considerando 4 diverse sorgenti di traccianti passivi:
- "acqua iniziale" della rada, cioè l'acqua contenuta nel bacino portuale all'inizio della simulazione;
- acqua del Torrente Segno;
- acqua del Torrente Quiliano;
- acqua del mare che entra attraverso il contorno aperto del modello.

L'acqua iniziale, contenuta nella zona di interesse all'inizio della simulazione, per effetto dell'oscillazione di marea e della dispersione, viene sostituita da acqua proveniente dalle altre sorgenti. La simulazione fornisce come risultato la diversa percentuale dell'acqua proveniente dalle sorgenti considerate con cui è stata sostituita l'acqua iniziale.

Nello specifico, per la rada di Vado Ligure si è identificata come "zona di interesse" l'area evidenziata in blu nella planimetria di Fig. 4.41 dove sono indicati i punti per cui questa analisi è stata svolta. I risultati della "*Fraction analysis*" sono riportati in Fig. 4.42.

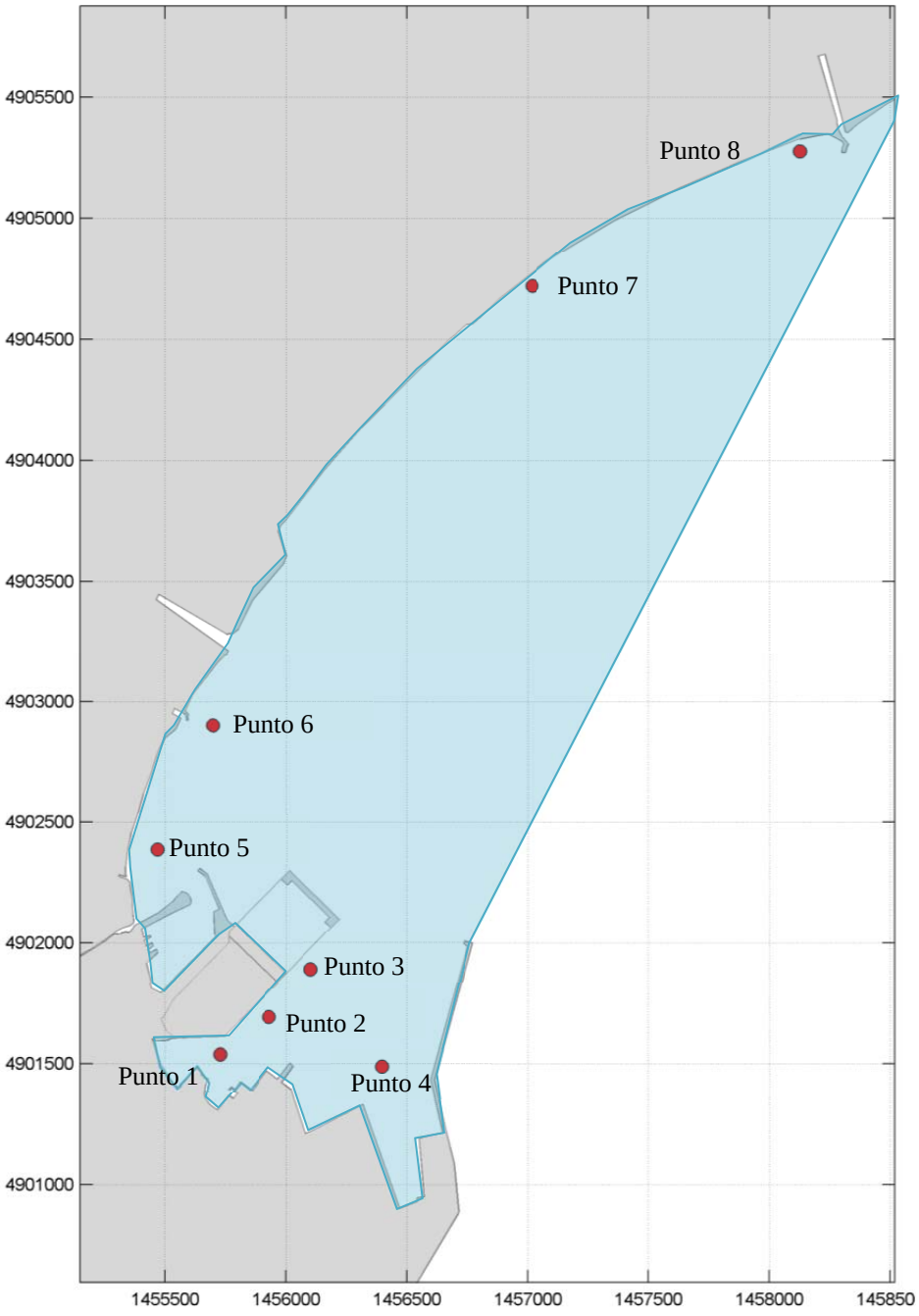


FIG. 4.41 - DISTRIBUZIONE INIZIALE DEL TRACCIANTE UTILIZZATO PER LA "FRACTION ANALYSIS" E POSIZIONE DEI PUNTI DI CONTROLLO.

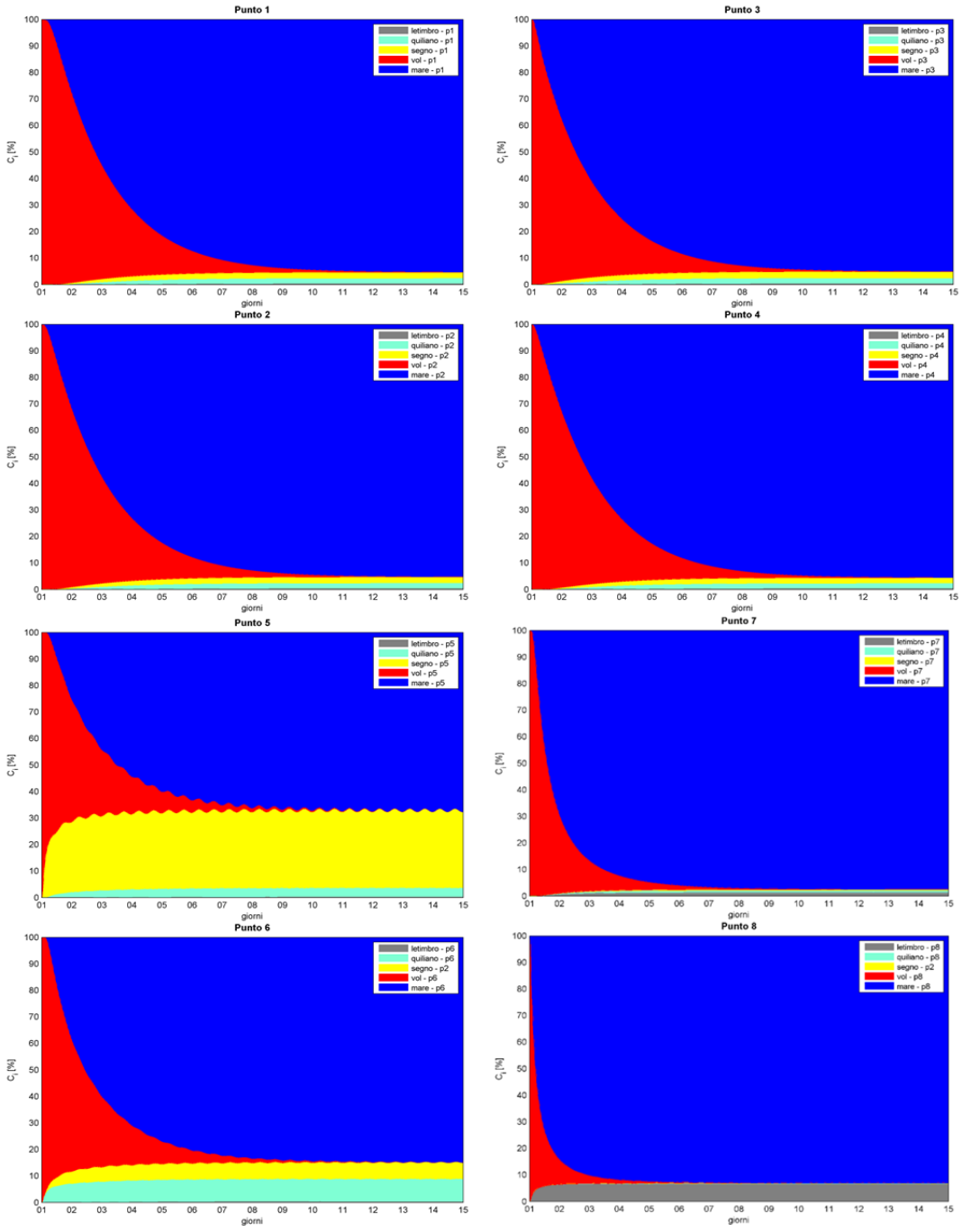


FIG. 4.42 - RISULTATI DELLA "FRACTION ANALYSIS".

Dai questi risultati è possibile osservare che:

a) Alla fine della simulazione rimangono soltanto gli apporti esterni, come è corretto che sia, che sono costituiti dall'acqua del mare e dall'acqua dei fiumi;
b) Il tempo necessario per la completa sostituzione dell'acqua iniziale è funzione della posizione del punto rispetto ai punti di immissione degli apporti;
c) La percentuale finale dei diversi apporti è anch'essa funzione della localizzazione dei punti considerati.

All'interno della rada di Vado il contributo dei traccianti di origine fluviale, una volta raggiunta la situazione di equilibrio, rimane sempre nell'ordine di qualche percentuale e le acque di origine marina rappresentano la frazione maggiore (oltre il 95%).

Nei punti più lontani, invece, il contributo delle acque di origine torrentizia è tendenzialmente maggiore in funzione della distanza tra il punto di controllo e la foce del torrente considerata.

4.5.4.2 Tempo di ricambio

Il "tempo di ricambio" viene definito in letteratura come quello necessario affinché il flusso di marea, supposto composto da acqua "pulita", riduca, in un punto, la concentrazione di una sostanza conservativa, inizialmente uniformemente distribuita nell'area (cioè con una concentrazione iniziale uguale in ogni punto della laguna), di circa il 64% rispetto al valore iniziale.
In termini analitici, si può scrivere che:

$$C(t) = C_0 e^{-t/\tau}$$

Pertanto viene definito come tempo di ricambio, il tempo τ che è necessario per far diminuire la concentrazione, in quel punto, dalla concentrazione C_0 iniziale alla concentrazione $\frac{C_0}{e}$.

Il volume iniziale occupato dal tracciante è riportato in Fig. 4.43.

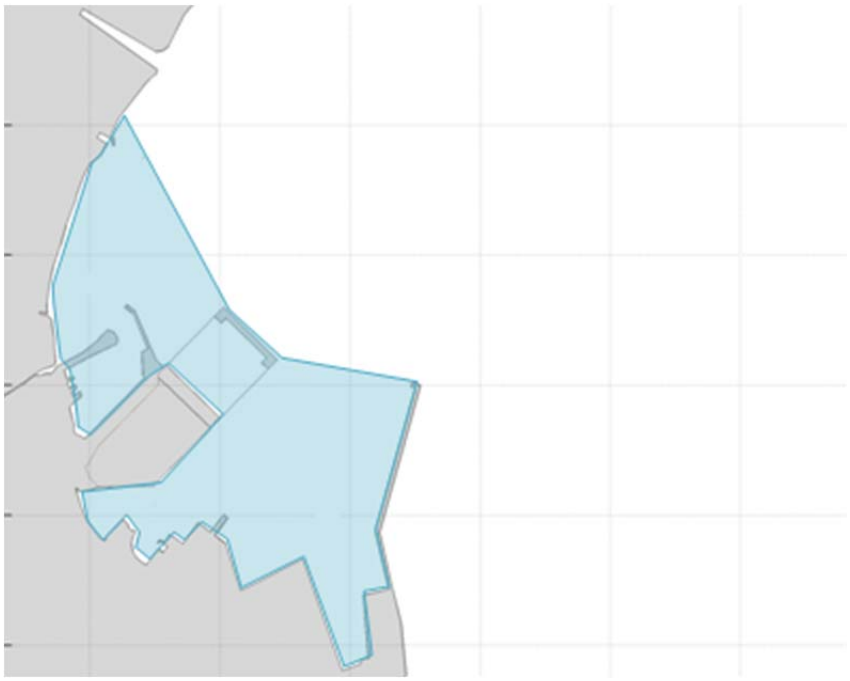


FIG. 4.43 - DISTRIBUZIONE INIZIALE DEL TRACCIANTE UTILIZZATO PER IL TEMPO DI RICAMBIO

In Fig. 4.44 è riportata la mappa con la distribuzione della durata dei tempi di ricambio (espressi in ore) per la configurazione di riferimento.

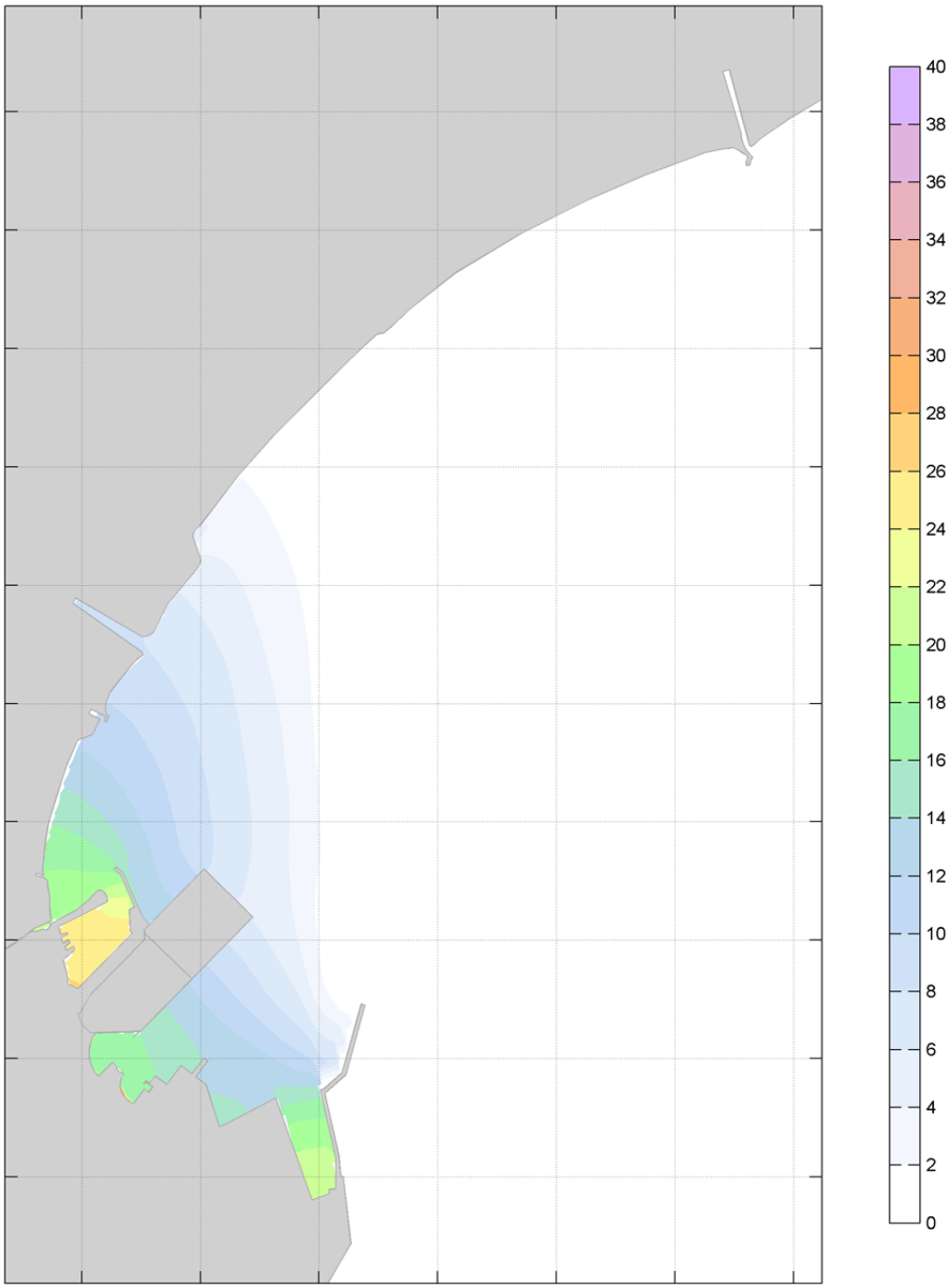


FIG. 4.44 - DISTRIBUZIONE DEL TEMPO DI RICAMBIO (IN ORE).

Dalla Fig. 4.44 si nota che il tempo di ricambio varia da poche ore nelle aree più esterne e vicine alla superficie di scambio con il mare aperto fino ad un massimo di circa 20-22 ore nelle aree più interne della rada di Vado situate in posizione più distante rispetto alla sezione di scambio.
I valori osservati nelle spiagge a sud della radice della piattaforma sono nell'ordine delle 14–16 ore; i valori del tempo di ricambio cadono nell'intervallo 18-20 nell'area litoranea compresa tra la foce del Segno e la radice della piattaforma e diminuiscono rapidamente fino ad annullarsi allontanandosi verso nord. All'interno del porto turistico si osservano valori attorno alle 22-24 ore.
In generale, si può notare che la configurazione di analisi con la diga di 1° fase e con il perimetro della piattaforma completamente chiuso, comporta una tendenza alla diminuzione del tempo di ricambio sia nella rada portuale, a sud-est della piattaforma, così come nel bacino del porto turistico.

4.5.5. Tendenze evolutiva del litorale

Nella relazione in questione si riportano inoltre i risultati della simulazione di evoluzione morfologica a 10 anni relativa alla configurazione della Perizia di variante del Progetto Esecutivo della piattaforma e alla configurazione dello spostamento della diga foranea di prima fase, considerando lo stato di attuazione delle opere di cui ai precedenti paragrafi.
La simulazione è stata condotta considerando la principale variazione alle opere introdotte con la perizia di variante della piattaforma (la chiusura totale della piastra multifunzionale, che viene quindi ad essere interamente costituita da un'area in rilevato conterminata da cassoni) e la Ia fase della diga foranea, consistente nella ricollocazione di una parte dei cassoni della diga foranea esistente e realizzazione di due cassoni ex novo.
Le opere, nella configurazione prevista, sono state rappresentate nel dominio di calcolo DELFT3D-WAVE assieme al porto turistico. Con riferimento a questa configurazione è stata quindi ripetuta la fase di propagazione del moto ondoso sottocosta.

<u>Propagazione del moto ondoso sottocosta</u>

La fase iniziale del modello di evoluzione morfologica consiste nel trasferimento sottocosta, al limite esterno della fascia attiva, delle caratteristiche del clima ondoso note in un punto al largo (punto U.K.M.O.).
La propagazione del moto ondoso sottocosta è stata eseguita mediante il modello DELFT3D-WAVE. Il clima ondoso è stato ricostruito in una serie di stazioni (in pratica una serie di boe virtuali) poste lungo la costa in corrispondenza della batimetrica –4,5 m s.m.m., ritenute significative per rappresentare le differenti condizioni di moto ondoso lungo il litorale.
Le dimensioni della griglia di calcolo DELFT3D-WAVE sono state mantenute invariate rispetto alla simulazione di taratura (riportata in Appendice).

Parametri utilizzati nel modello

La simulazione di previsione dell'evoluzione della linea di costa a 10 anni (2014-2024) è stata eseguita mediante il modello matematico UNIBEST-CL+.

Il dominio di calcolo, le condizioni al contorno del modello e le caratteristiche granulometriche dei sedimenti che costituiscono la spiaggia attiva sono state mantenute invariate rispetto a quelle della simulazione di taratura. La simulazione è stata condotta considerando l'apporto solido del torrente Quiliano, mentre quello del Torrente Segno è stato considerato trascurabile ai fini dello studio in oggetto, sulla base dei risultati della simulazione di taratura.

Si evidenzia che nel modello UNIBEST la piastra multifunzionale e il molo di sopraflutto del porto turistico non sono stati schematizzati, in quanto l'effetto di schermatura dal moto ondoso da essi determinato viene già considerato nelle simulazioni di propagazione del moto ondoso sottocosta eseguite mediante il modello DELFT3D-WAVE . Il molo di sottoflutto del porto turistico è stato invece schematizzato anche nella griglia di calcolo UNIBEST, in quanto interferisce con l'evoluzione della linea di costa nel tratto meridionale del litorale oggetto di analisi. Tale molo è stato rappresentato nel modello con una barriera completamente impermeabile ai sedimenti, radicata a terra.

La linea di riva iniziale inserita nel modello è quella desunta dall'immagine satellitare di Google Earth, datata giugno 2014. A riguardo si evidenzia che tale linea di riva, che

rappresenta la più recente disponibile, è stata utilizzata in sostituzione della linea di riva del 2010, al fine di studiare l'evoluzione del litorale a partire da una sua configurazione che si avvicini il più possibile a quella attuale.

Di seguito, in Fig. 4.45, si riporta la schematizzazione adottata per la linea di riva del 2014 e le opere presenti lungo il litorale, in relazione alla configurazione di variante.

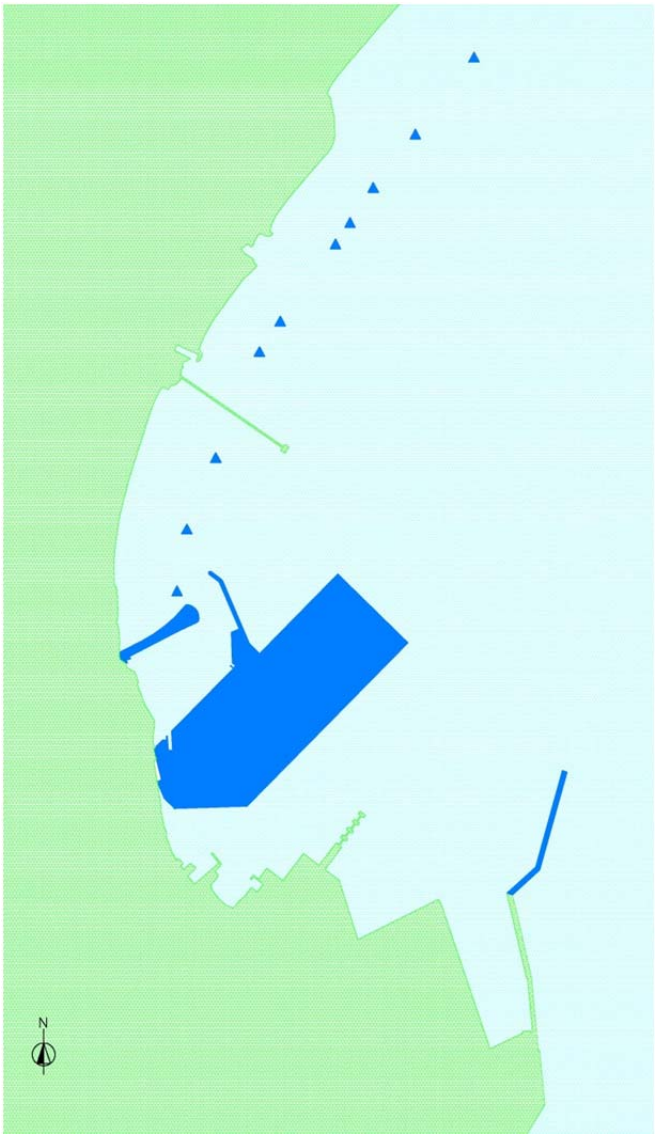


FIG. 4.45 - CONFIGURAZIONE DI ANALISI – UBICAZIONE DELLE BOE VIRTUALI (STAZIONI) POSTE ALLA PROFONDITÀ DI –4,5 M S.M.M.

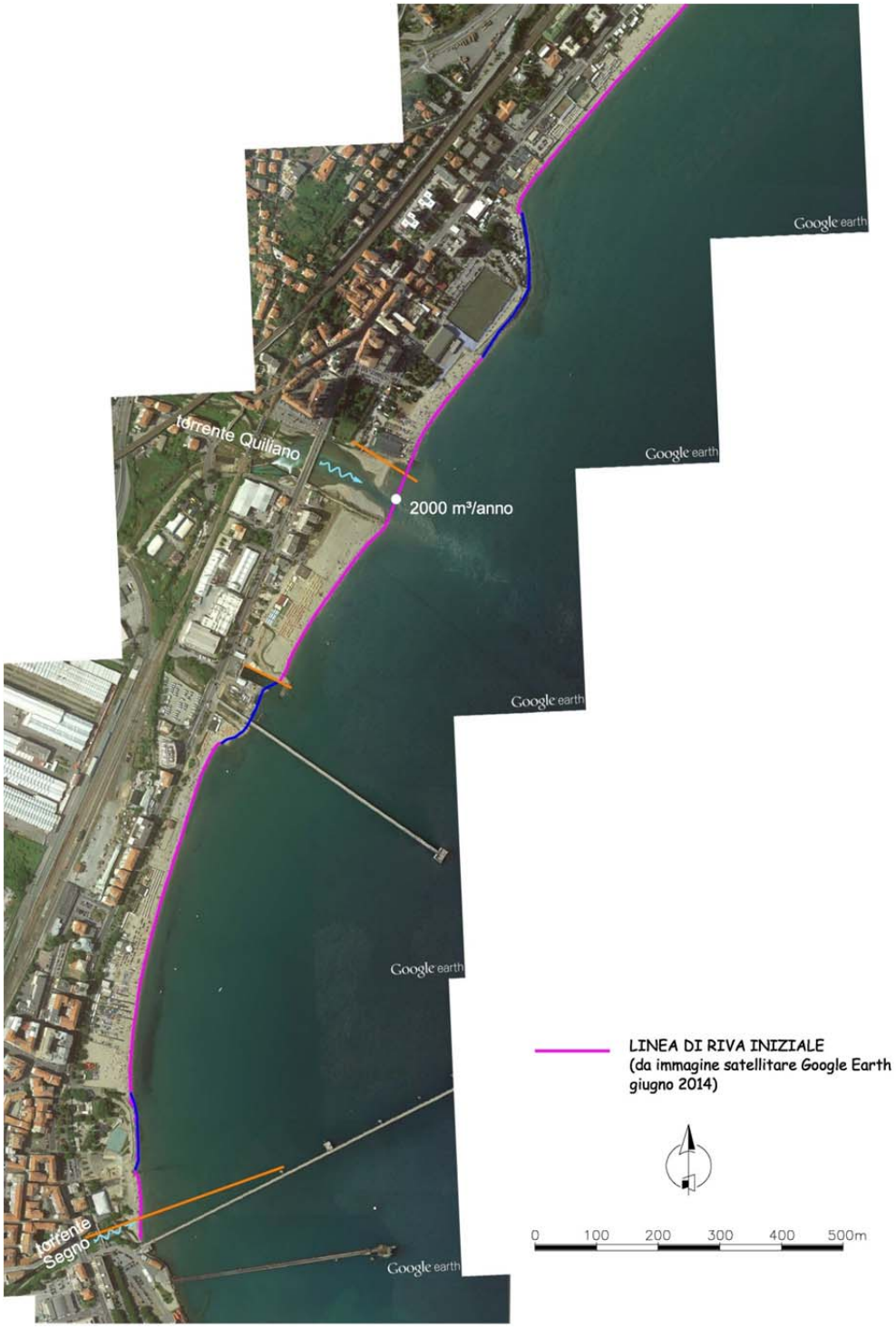


FIG. 4.46 - CONFIGURAZIONE DI ANALISI – SCHEMATIZZAZIONE LINEA DI RIVA E OPERE

Risultati dell'evoluzione morfologica

I risultati sono rappresentati nella successiva Fig. 4.47, in termini di trasporto solido e in Fig. 4.48 in termini di evoluzione della linea di riva, con riferimento all'intera griglia di calcolo.

Nel tratto di litorale a Nord del campo da calcio (spiaggia di Zinola), il trasporto solido oscilla attorno al valore nullo, indice che la linea di riva è sostanzialmente stabile. In corrispondenza della foce del Torrente Quiliano si osserva un'inversione del trasporto solido (punto di divergenza); da questo punto in poi, il trasporto risulta sempre diretto verso Sud, verso il porto di Vado e si annulla in prossimità della scogliera radente presente poco più a Nord della foce del torrente Segno.

In termini di evoluzione della linea di costa, la linea di riva risulta sostanzialmente stabile nella spiaggia di Zinola, a Nord del terrapieno del campo da calcio.
Per quanto riguarda il tratto di litorale compreso tra il terrapieno del campo da calcio e la foce del Quiliano, si registra una lieve rotazione antioraria della linea di riva, con un arretramento della stessa in prossimità della scogliera radente a protezione del terrapieno ed un avanzamento in corrispondenza della foce del Quiliano.

Dalla foce del Quiliano, procedendo verso Sud, fino al cantiere nautico alla radice del pontile Tirreno Power, la linea di riva subisce una rotazione antioraria con arretramento a ridosso dell'armatura di foce del Quiliano e avanzamento a Sud (in corrispondenza del terrapieno del cantiere).

Nel tratto più a Sud, nella spiaggia compresa tra il cantiere navale e la foce del Segno, si evidenzia una modesta tendenza erosiva della spiaggia antistante l'area camper ed una contestuale tendenza all'accrescimento della spiaggia adiacente al terrapieno del campo da basket. Il trasporto, che rimane sempre orientato verso Sud (verso il porto di Vado), si riduce sensibilmente, fino ad annullarsi in prossimità della scogliera radente a Sud.

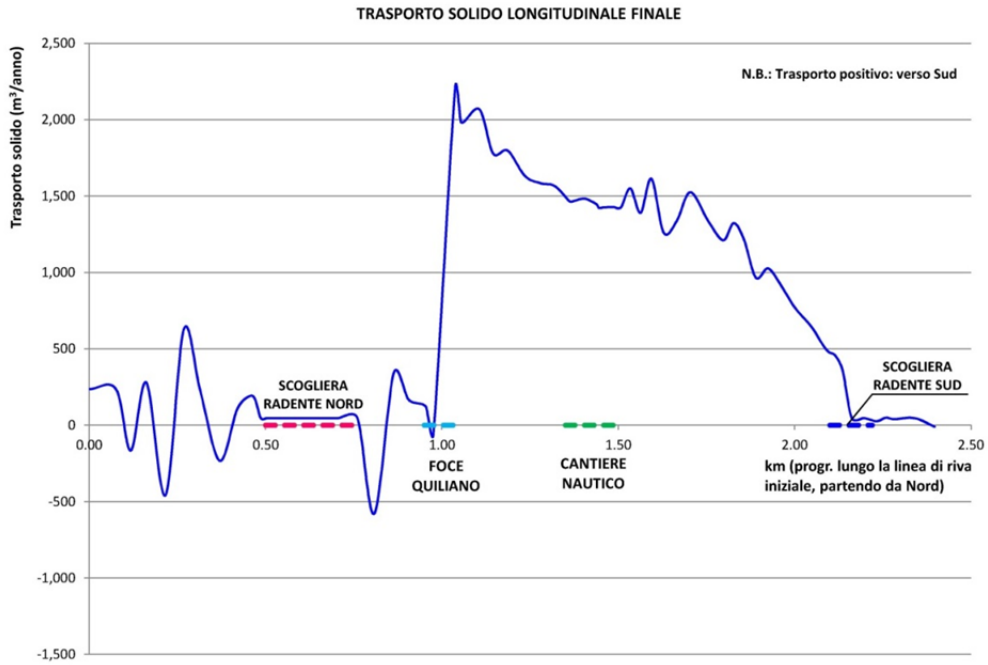


FIG. 4.47 - CONFIGURAZIONE DI ANALISI – ANDAMENTO TRASPORTO SOLIDO

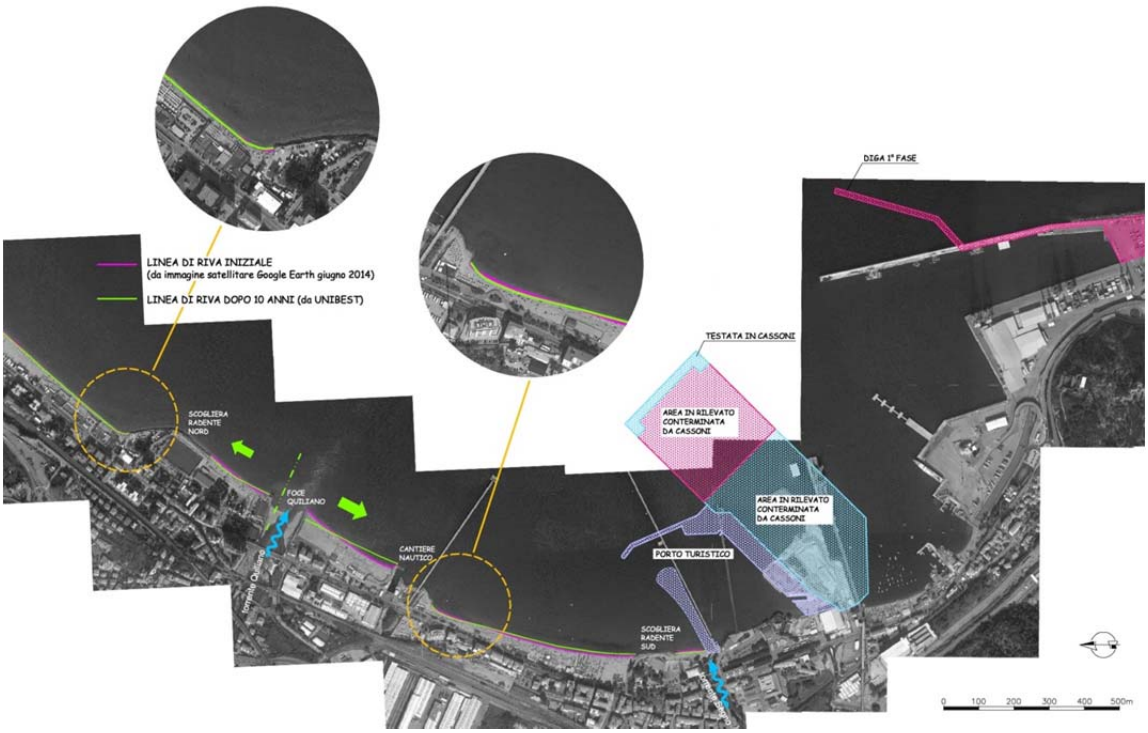


FIG. 4.48 - CONFIGURAZIONE DI ANALISI – EVOLUZIONE DELLA LINEA DI RIVA

4.6. Valutazione di incidenza del progetto

La valutazione di incidenza della realizzazione ed esercizio della diga foranea del porto di Vado Ligure – 1° fase, è da considerare di particolare rilevanza, come detto, per l'interazione che sia le attività di costruzione che quelle di esercizio possono avere sugli ecosistemi di pregio e, in particolare sulla zona SIC IT 1323271.

Come già riportato, il sito è caratterizzato da una costa rocciosa e coralligena (habitat proposto dalla Regione Liguria come prioritario) e da praterie a Posidonia, habitat di interesse prioritario ai sensi della direttiva 92/43 CEE. Lungo la costa di Noli e Spotorno la prateria di Posidonia presenta formazioni molto superficiali.

In Liguria la valutazione di incidenza sui SIC marini viene realizzata sulla base dei seguenti criteri tecnici ufficiali:

- Deliberazione della Giunta regionale n.1533 del 2 dicembre 2005: L.R. n. 18/99 art. 2, c.1 lett. g) e L.R. n. 38/98 art. 16 c.1 – Approvazione "Criteri diretti a salvaguardare l'habitat naturale prioritario prateria di Posidonia oceanica"
- Deliberazione della Giunta regionale n.773 del 16 luglio 2003: Criteri per la valutazione degli impatti diretti ed indiretti sugli habitat naturali marini - art.16 l.r. n.38/98

In particolare, per quanto riguarda la diga foranea in questione, tali criteri indicano i seguenti elementi da valutare adeguatamente:

Possibili impatti (PI):

1. seppellimento del fondale direttamente interessato dalle opere.
2. modifica sostanziale del regime idrodinamico e sedimentologico dei fondali a monte delle opere, quando esse confinino uno specchio acqueo.
3. induzione di *rip-currents* (correnti di risacca) e innesco di possibili fenomeni erosivi sui fondali prospicienti nuove opere di notevole estensione longitudinale
4. Infangamento dei fondali e torbidità persistente delle acque nell'intorno dell'area di intervento dovuto alla dispersione dei materiali pelitici utilizzati per

la costruzione di eventuali piste di cantiere, nuclei e imbasamenti o provenienti dai dragaggi.

5. fenomeni di squilibrio sedimentario quando le opere foranee interagiscano con il trasporto costiero dei sedimenti:
    a. sopraflutto il deposito può provocare il seppellimento della prateria
    b. sottoflutto l'erosione può provocare scalzamento della prateria
6. Introduzione di lavorazioni che abbiano una ripercussione sulla propagazione del rumore nell'area di interesse.

Di seguito vengono riportate le considerazioni e le analisi in merito ad ognuno degli impatti sopra indicati.

4.6.1. Interazione diretta con le opere

4.6.1.1 Seppellimento dei fondali

La nuova diga foranea – 1° fase, del Porto di vado Ligure si sviluppa quasi parallelamente all'attuale diga foranea.

Nella Fig. 4-49 viene riportata, in verde, l'impronta della nuova diga. Nella stessa figura è riportato, in giallo, l'area del sito SIC IT 1323271. Come si può notare l'opera non interferisce con il sito SIC e, pertanto, non andrà ad occupare nessuna area di particolare interesse naturalistico.

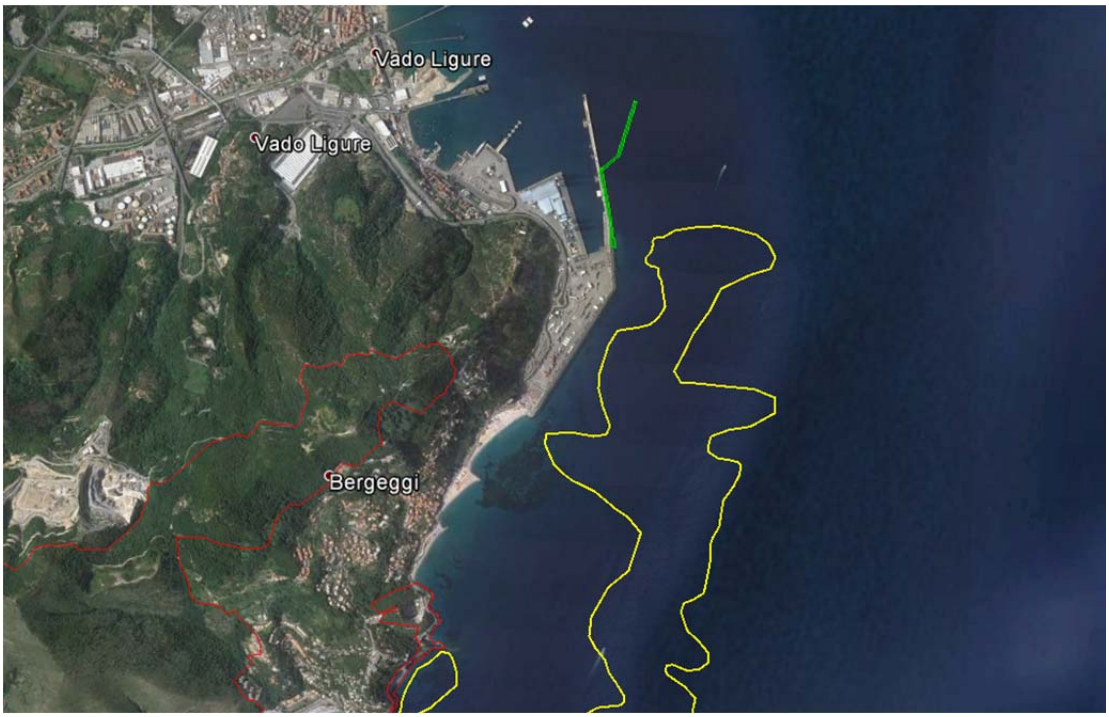


FIG. 4-49 - IL SITO SIC IT-1323271 "FONDALI DI NOLI-BERGEGGI" (GIALLO) E LA DIGA FORANEA 1° FASE (VERDE).

Sulla base delle precedenti considerazioni, quindi, si può affermare che, rispetto a quanto indicato al punto PI-1, la diga foranea 1° fase non produca alcun impatto.

4.6.2. Interazione indiretta con le opere

4.6.2.1 Modifica del regime idrodinamico e sedimentologico dei fondali

Il regime idrodinamico e del trasporto solido in corrispondenza del sito SIC è stato studiato approfonditamente sia in fase di progettazione che di Studio di Impatto Ambientale. E' stato rilevato come la nuova opera non modifica il campo idrodinamico in corrispondenza del sito, sia per quanto riguarda le correnti, peraltro estremamente contenute, sia per quanto riguarda le onde.

Per quest'ultimo aspetto, inoltre è da rilevare che, data la profondità a cui il sito si trova, nella zona più prossima alla nuova opera (circa 30 m di profondità) non si prevede la

formazione di *rip-currents* (PI-3) che possano innescare fenomeni erosivi né in prossimità dell'opera, né in prossimità del sito SIC di interesse.
Anche per quanto riguarda il regime generale del trasporto litoraneo a valle della nuova diga foranea – 1° fase, anch'esso studiato nel dettaglio nel corso dello Studio di Impatto Ambientale, non sono state evidenziate variazioni di rilievo rispetto alla situazione attuale e, pertanto, si ritiene che, anche per questa componente (PI-2) non siano da prevedere impatti sul sito SIC.

4.6.2.2 Infangamento dei fondali e torbidità persistente

Per la conservazione di questo sito, il fenomeno che risulta maggiormente critico per gli ecosistemi considerati è lo sversamento di materiale sciolto che, come indicato nei paragrafi precedenti, può contenere una percentuale, per quanto limitata di materiale fine che, trasportato dalle correnti, può potenzialmente raggiungere i siti di interesse.

Su questi siti possono essere previsti effetti potenziali di 2 tipi:

- Effetti di breve periodo, dovuti alle lavorazioni giornaliere di posa in opera del materiale che andrà a costituire lo scanno della diga foranea 1° fase, sostanzialmente dovuti alla torbidità generata dalle attività di cantiere. Si tratta quindi di verificare che i potenziali *plume* che si generano nelle diverse condizioni di corrente e di vento (che influenza la corrente, almeno in prossimità della superficie del mare) non vadano ad interessare in modo significativo i siti di interesse riducendo l'energia solare che è in grado di raggiungere i fondali dove gli ecosistemi si sono sviluppati
- Effetti sul medio (settimane) e lungo (mesi) periodo, dovuti ai potenziali fenomeni di accumulo del particellato fine sui fondali, con conseguente potenziale adesione alla parte vitale dei coralli, costituendone quindi un pericolo per il buono stato di sviluppo.

Per studiare, anche da un punto di vista quantitativo, gli effetti indotti da tali fenomeni, è stato utilizzato il modello matematico della Baia di Vado Ligure sviluppato nell'ambito dello SIA della piattaforma multifunzionale.

Per l'individuazione dei valori di soglia della torbidità e della deposizione di sedimenti nei confronti delle biocenosi bentoniche, è stato adottato il valore valutato sulla base della letteratura internazionale, come indicato in appendice A al presente rapporto.

Il modello utilizzato

La valutazione degli effetti indotti dagli interventi previsti sugli aspetti idrodinamici e dispersivi del sistema costiero di Vado Ligure è stata condotta con l'ausilio di modelli numerici in grado di determinare le caratteristiche idrodinamiche e la capacità di ricambio idrico dell'area in esame, importante parametro nella valutazione degli effetti di opere marittime lungo il litorale.

Analogamente al moto ondoso, la definizione delle caratteristiche idrodinamiche è stata condotta considerando l'intera baia di Vado Ligure (da Capo Vado sino al promontorio di Savona).

Il dominio di calcolo è stato inoltre ampliato fino ad includere il tratto di costa che da Capo Vado si estende sino all'isola di Bergeggi, e, a mare, è stata considerata come limite la batimetrica -700 m s.l.m.m. al fine di non risentire delle condizioni al contorno nell'area di interesse.
È stato utilizzato un modello matematico a maglia curvilinea con una risoluzione planimetrica adeguata ai fenomeni oggetto di studio (idrodinamica locale e dispersione di traccianti conservativi). Il modello adottato, Delft3D-FLOW, è stato sviluppato dal laboratorio idraulico olandese Deltares ed è stato testato e continuamente aggiornato per rispondere alle diverse richieste.

Nella Fig. 4-50 viene riportata la griglia a maglia curvilinea del modello generale definito per l'analisi degli effetti indotti dalla costruzione delle nuove opere, mentre in Fig. 4-51 viene riportato il dettaglio della schematizzazione per la zona del porto.

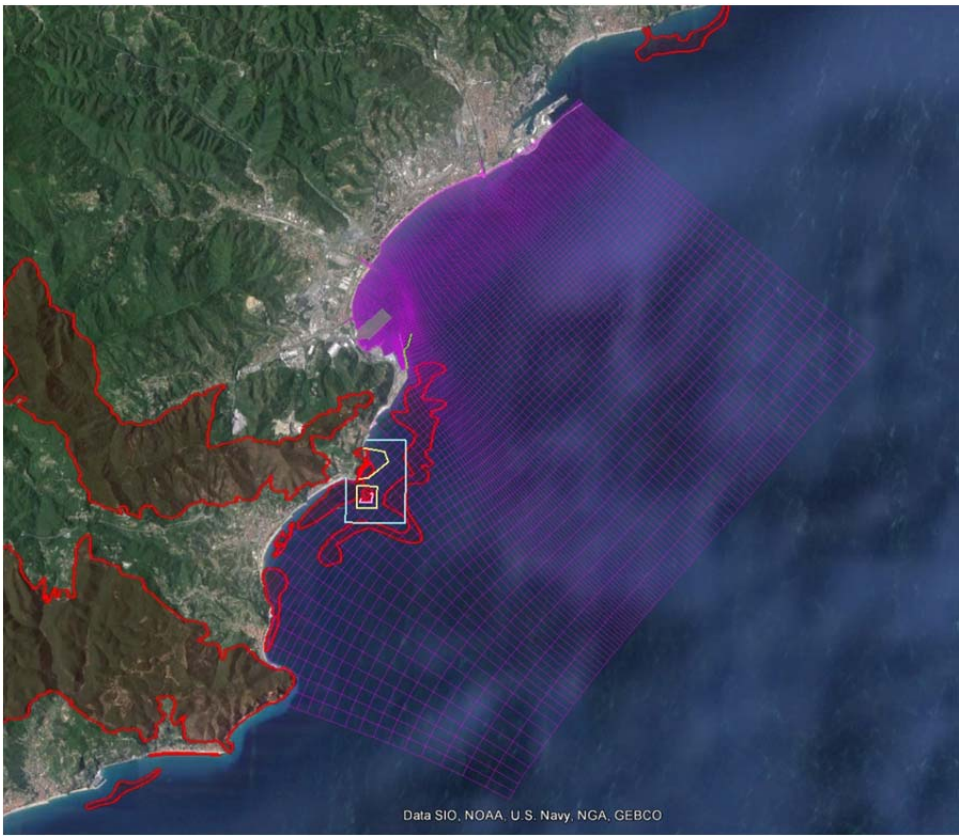


FIG. 4-50 - LA MAGLIA DEL MODELLO UTILIZZATO CON RIFERIMENTO ALL'AREA MARINA PROTETTA DI BERGEGGI E AL SITO SIC IT-1323271 "FONDALI DI NOLI-BERGEGGI".

Le forzanti meteo-marine applicate per le simulazioni sono state:

- Marea sinusoidale con periodo di 12 ore ed escursione di 20 cm (+/- 10 cm l.m.m.), applicata al limite esterno del dominio di calcolo
- Corrente litoranea parallela alla linea di costa e rivolta in direzione SO con intensità variabile fino a 10 cm/s nella zona più esterna del dominio di calcolo
- Vento: quando richiesto per i diversi scenari, applicato uniforme sul dominio di calcolo e costante nel tempo sia in direzione che in intensità.

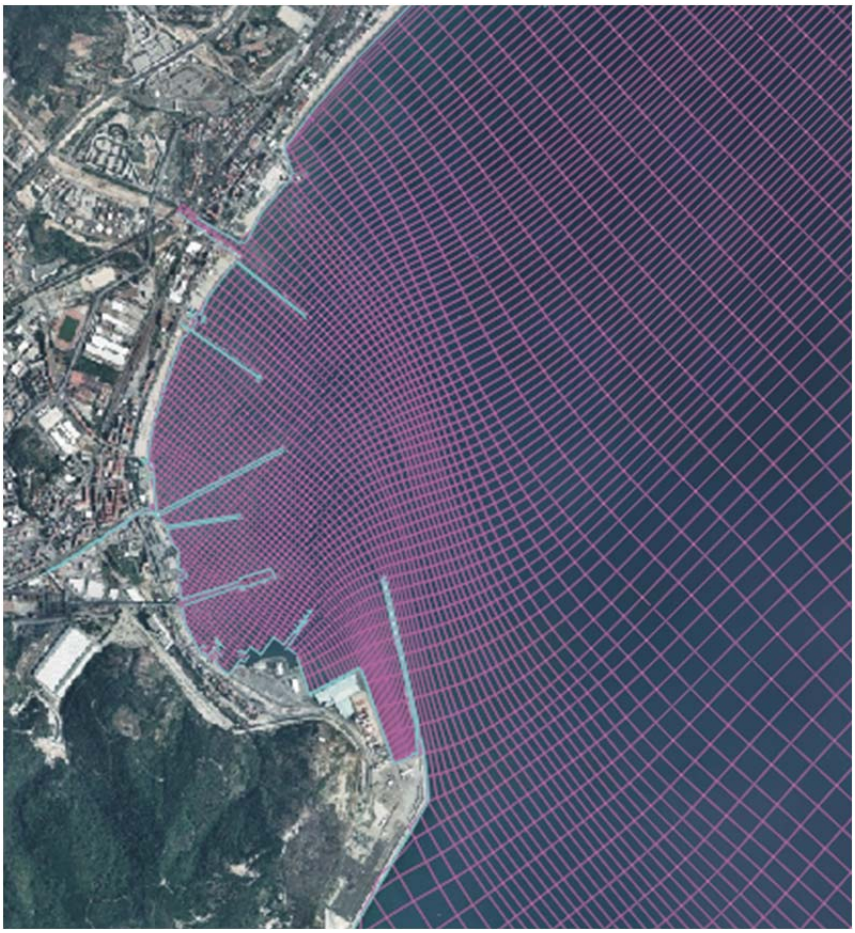


FIG. 4-51 - DETTAGLIO DELLA MAGLIA DI CALCOLO NELLA ZONA DEL PORTO DI VADO LIGURE.

I parametri di simulazione

I parametri adottati per le simulazioni con il modello matematico sono stati scelti in modo che fossero significativi per il fenomeno da riprodurre.

In particolare:

1) Il modello doveva essere in grado di simulare i possibili effetti di stratificazione.
2) Le condizioni meteo marine dovevano essere caratteristiche dell'area in esame.
3) I sedimenti di cui si intendeva studiare la dispersione dovevano avere le medesime caratteristiche di quelli previsti nel progetto della diga foranea, 1ª fase.
4) Il metodo di rilascio dei sedimenti nel modello doveva riprodurre la tecnica e la tempistica prevista per lo sversamento del materiale granulare durante la realizzazione delle opere.

Per consentire di simulare i possibili effetti di stratificazione, è stato realizzato un modello 3D a 5 strati continui (σ layers), ognuno, dalla superficie al fondo, rappresentativo del 5% (il più superficiale), 10%, 20%, 30%, 35% (il più profondo) della colonna d'acqua. Il modello idrodinamico e dispersivo è stato calibrato utilizzando le misure di corrente e di torbidità precedentemente ricordate.

Per lo scenario di riferimento relativo alle fasi costruttive della 1a fase della diga foranea, è stata considerata la presenza della piattaforma come da configurazione di Progetto Esecutivo.

Per rappresentare le condizioni meteo marine caratteristiche dell'area in esame, e considerando le condizioni operative limite dei mezzi che effettuano lo sversamento, sono state considerate le seguenti condizioni di vento:

a) Calma di vento
b) Vento di Nord-Ovest, 10 m/s
c) Vento di Nord-Est, 8 m/s
d) Vento di Sud-Est, 8 m/s
e) Vento di Sud-Ovest, 8 m/s

L'insieme di questi casi ricopre, in sostanza, la quasi totalità del clima di vento del paraggio ed è quindi in grado di riprodurre, seppur in modo parametrico (vento di intensità costante) la capacità dispersiva della corrente.

Le condizioni di vento considerate presentano una distribuzione di frequenza riportata nella tabella seguente.

TAB. 4.25 – FREQUENZA DELLE CONDIZIONI DI VENTO CONSIDERATE NEL PRESENTE STUDIO.

Condizione di vento	Frequenza di accadimento
Calma di vento	1.5 %
Vento da SE	16.5 %
Vento da NE	26.5 %
Vento da NO	47.5 %
Vento da SO	8.0 %

La pezzatura del materiale che comporrà lo scanno è pari a 0-500 kg e può comprendere anche materiale di apporto spontaneo, con una frazione fine massima di circa lo 0.6 %, mentre il resto del materiale lapideo e che riguarda la mantellata, sarà costituito da scogli di II categoria, non critici riguardo alla torbidità.

Le analisi modellistiche si sono concentrate, quindi, sulla porzione dei sedimenti con granulometria inferiore ai 100 μm essendo questa quella che, con le intensità di corrente caratteristiche della zona, ha la più alta probabilità di essere trasportata lontana dal cantiere. Quindi, è stato ipotizzato che la frazione fine dei sedimenti messi in opera possano essere schematizzati considerando una combinazione di due materiali mono-granulari, denominati IM1 e IM2, di diametro rispettivamente di 30 e 15 μm.

Il metodo di rilascio dei sedimenti nel modello riproduce la tecnica e la tempistica prevista per lo sversamento del materiale granulare durante la realizzazione delle opere considerando l'utilizzo di un pontone, che potrà recapitare il materiale fino alla profondità di circa 25 m, mentre per profondità superiori è previsto lo scarico diretto con uno *split-*

barge. Cautelativamente, si è, quindi, previsto un rilascio negli strati intermedi della colonna d'acqua.

Si è supposto, inoltre, un orario di operazione di 10 ore continuative (dalle 7 alle 17) su 5 giorni alla settimana.

Lo schema di versamento giornaliero è riportato nella seguente Fig. 4-52 dove si può vedere che sono stati ipotizzati 10 versamenti giornalieri da chiatta, che equivalgono ad un rilascio concentrato della durata di 5 minuti ogni ora (tenendo conto del tempo impiegato da ogni chiatta per andare al punto di carico, essere caricata, tornare al punto di messa in opera e scaricare). Questo schema è stato riprodotto nel modello come input di sedimenti.

Al fine di fornire un quadro rappresentativo della distribuzione più gravosa della dispersione dei sedimenti nel corso della realizzazione dell'opera, è stata simulata la Fase 6 della costruzione della diga in cui vengono, in cui sono movimentati giornalmente circa 5000 m^3 per un peso di circa 8500 t, con una frazione pelitica valutabile in circa il 0.6%.

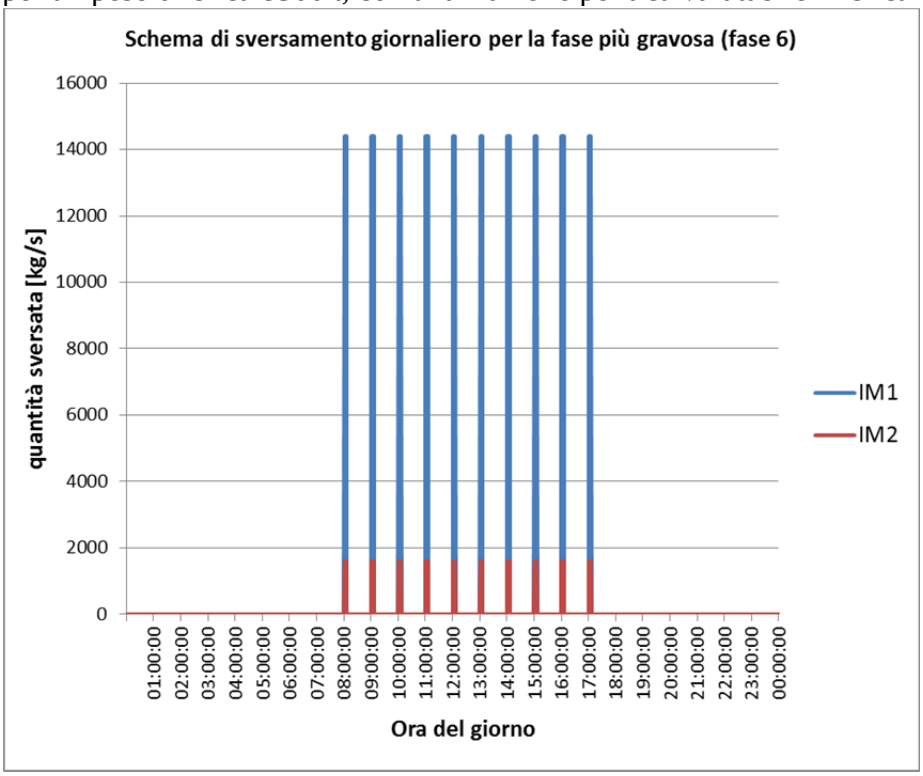


FIG. 4-52 - SCHEMA DEGLI SVERSAMENTI PER UN GIORNO TIPO NELLA FASE 6 (SITUAZIONE PIÙ GRAVOSA).

I parametri di simulazione sono riportati nella seguente Tab. 4.26.

TAB. 4.26 - PARAMETRI ADOTTATI PER LE SIMULAZIONI.

Caso	Cantiere	Vento	Materiale
a	Fase 6 1ª fase diga	Calma di Vento	90% IM1 10% IM2
b		Sud-Est	
c		Nord-Ovest	
d		Nord-Est	
e		Sud-Ovest	

I risultati ottenuti

I risultati della analisi svolte come indicato nei paragrafi precedenti, sono riportati da Fig. 4-53 a Fig. 4-58.

Di particolare interesse sono i risultati riportati in Fig. 4-53 e in Fig. 4-54 dove è riportata la distribuzione spaziale dell'andamento delle concentrazioni indotte dalle attività di sversamento di materiali fini, in un giorno lavorativo della fase di costruzione più gravosa (fase 6).

Facendo riferimento allo schema temporale degli sversamenti indicati nella precedente Fig. 4-52, con sversamento che iniziano alle 8 di mattina e terminano alle 17 circa, si nota l'incremento della concentrazione di sedimenti fini nell'arco della giornata, arrivando a concentrazioni massime superiori ai 50 mg/l di sedimenti in prossimità dello scarico.

Una volta terminate le operazioni, il materiale tende a sedimentare, con un *plume* estremamente limitato in estensione, e le concentrazioni nella colonna d'acqua tendono ad annullarsi prima che le operazioni lavorative inizino il giorno successivo.

E’ da notare inoltre che, anche una volta terminate le attività lavorative, le concentrazioni non si propagano verso il sito SIC di interesse (indicato con una linea rossa nelle figure), indicando come, anche nella fase di maggiore attività, non si riscontra un aumento delle concentrazioni di solidi sospesi nell’area da proteggere.

Per rispondere in modo compiuto alle esigenze della valutazioni degli impatti, è stata valutata, sempre facendo cautelativamente riferimento alla fase di maggiore attività lavorativa, alla densità di sedimentazione dei sedimenti sottili, con particolare riguardo alla zona SIC IT-1323271 “Fondali di Noli-Bergeggi”.

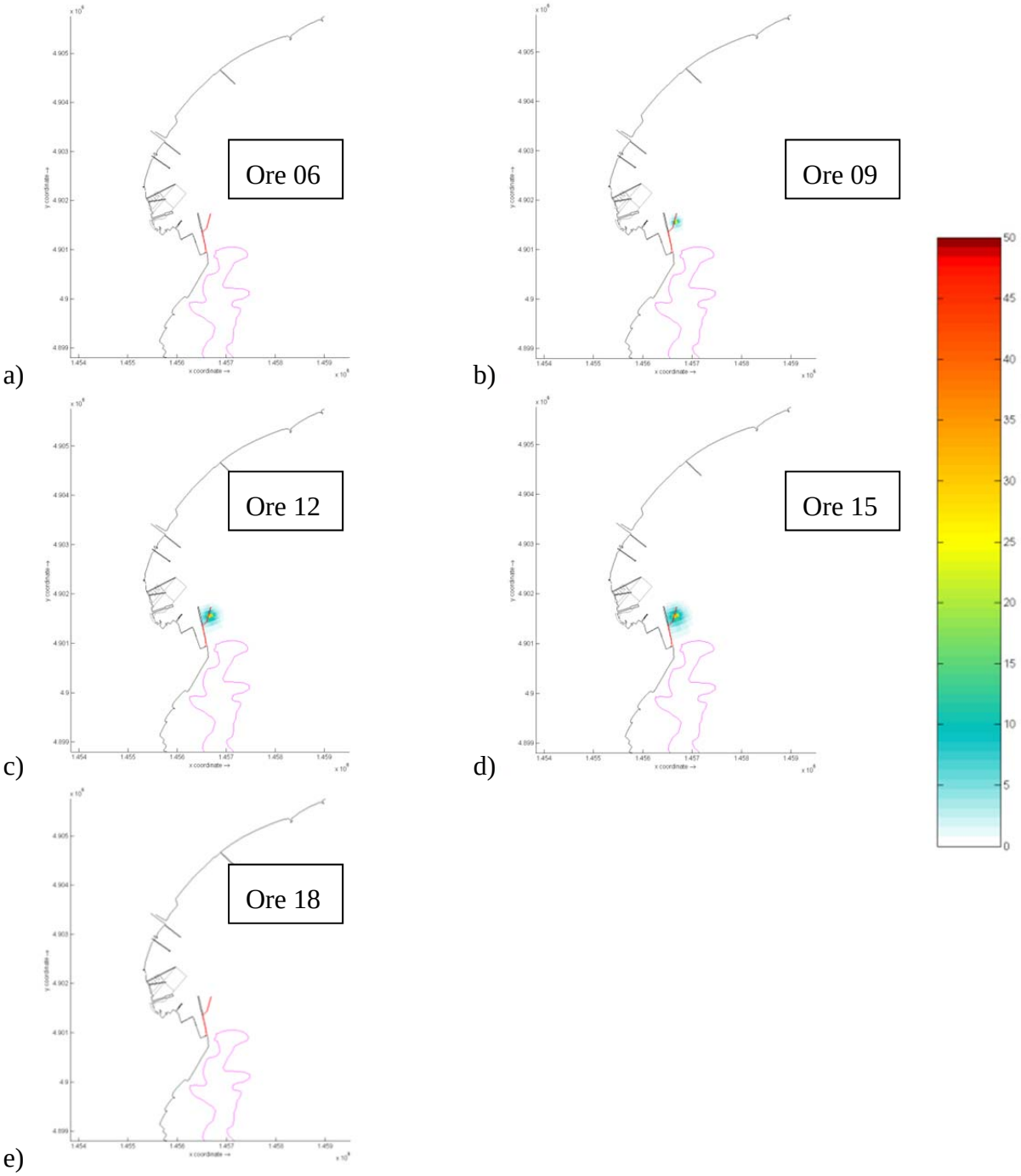


FIG. 4-53 - GIORNO TIPO - CONCENTRAZIONI [MG/L] ALLE ORE 6, 9, 12, 15 E 18 (FINE ATTIVITÀ).

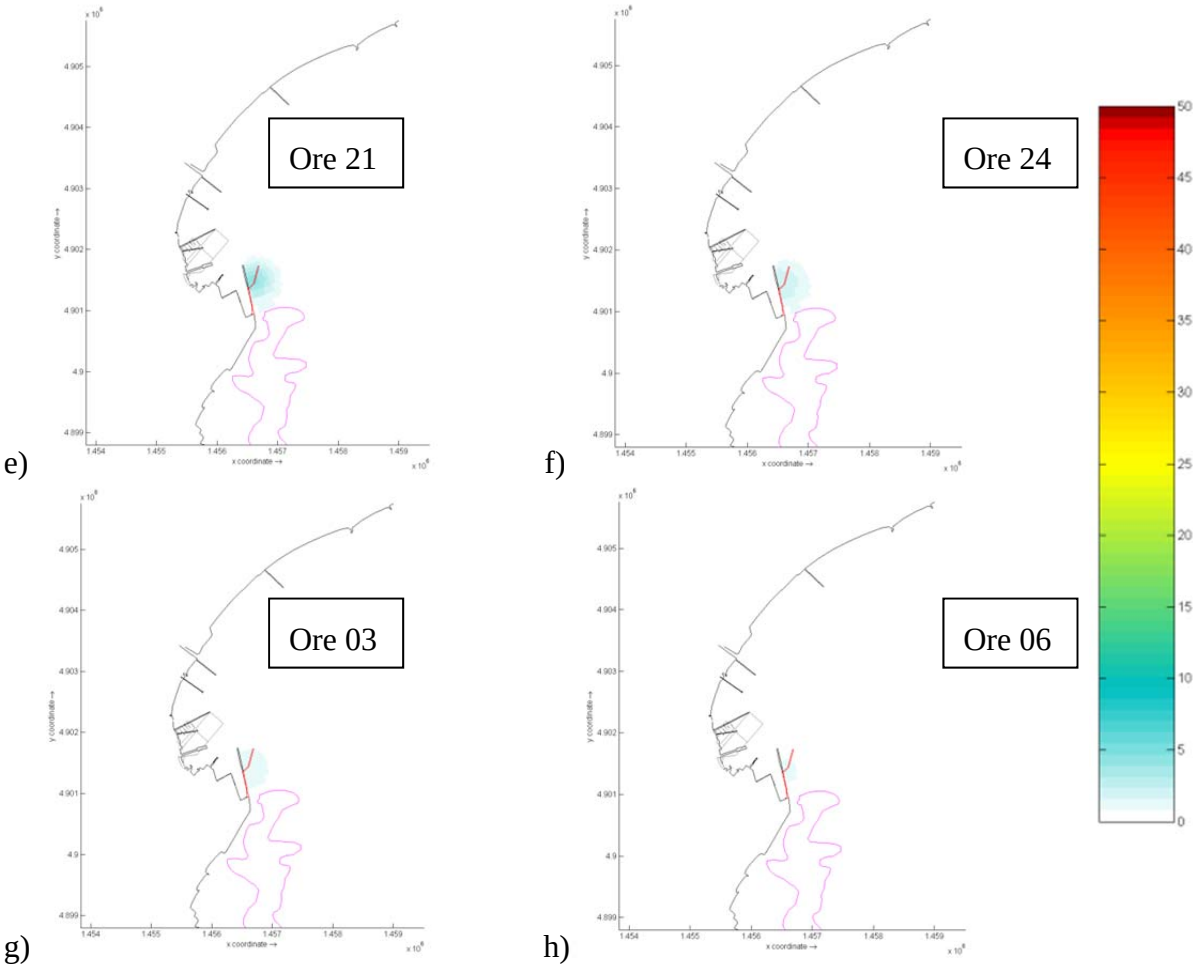


FIG. 4-54 - GIORNO TIPO - CONCENTRAZIONI [MG/L] ALLE ORE 21, 24, 03 E 06.

Considerato che, in condizioni meteoclimatiche medie, il *plume* di sedimenti non raggiunge il sito di interesse, per la valutazione della deposizione di sedimenti sul fondo si sono considerate le condizioni climatiche più sfavorevoli: quella con vento da Nord-Est e quella con vento da Nord-Ovest. Entrambe queste condizioni di vento determinano una leggera deformazione del *plume* verso sud, nella direzione, quindi del sito SIC.

In Fig. 4-55 viene riportata la densità di sedimentazione (g/m^2/giorno) da cui si può evincere come l'area SIC non venga interessata da sedimentazioni di rilievo.

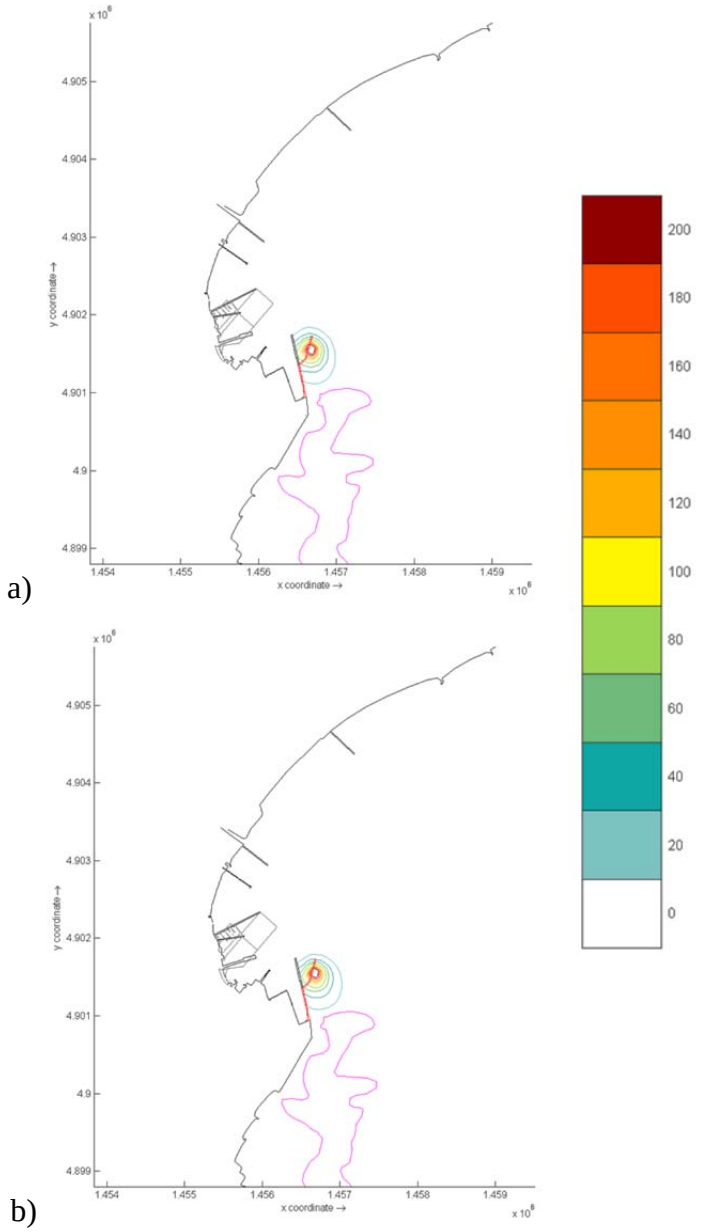


FIG. 4-55 - GIORNO TIPO CON VENTO DA NORD-EST (SOPRA) E VENTO DA NORD-OVEST (SOTTO). DENSITÀ DI SEDIMENTAZIONE [G/M^2/GIORNO].

In Fig. 4-56 viene riportata, invece, la densità di sedimentazione che si otterrebbe in un giorno tipo, valutato come media pesata delle densità di sedimentazione nelle diverse condizioni meteomarine, applicando come peso le frequenze di accadimento delle singole condizioni di vento.

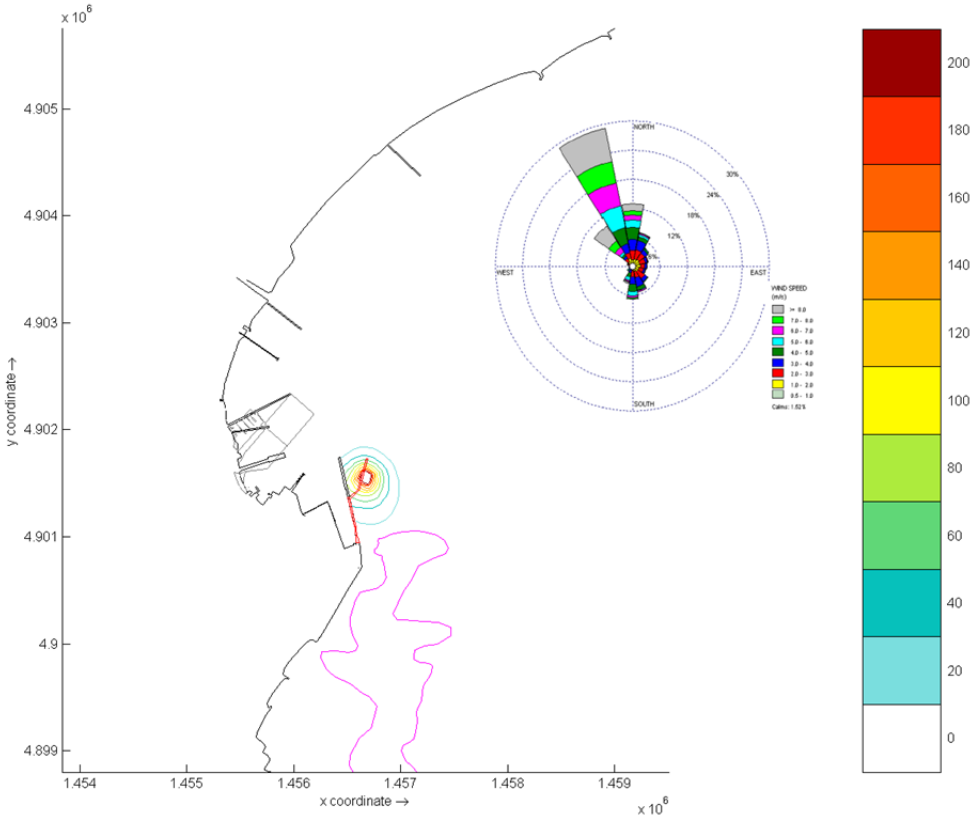


FIG. 4-56 - DENSITÀ DI SEDIMENTAZIONE MEDIA SUL LUNGO PERIODO [G/M^2/GIORNO] APPLICANDO LA FREQUENZA DI ACCADIMENTO DEI VENTI (TAB. 4.25).

Anche in questo caso si può notare che l'area del sito SIC rimane protetta rispetto al fenomeno del possibile "infangamento"

Oltre a quanto sopra riportato, al fine di verificare l'insorgere, nella deposizione, di eventuali fenomeni di accumulo, è stato studiato l'andamento, durante 2 settimane lavorative durante la fase più gravosa, delle concentrazioni di solidi sospesi pelitici (frazione inferiore ai 63 μm) in corrispondenza di 4 punti di specifico interesse per il sito SIC-IT1323271 "Fondali Noli-Bergeggi".

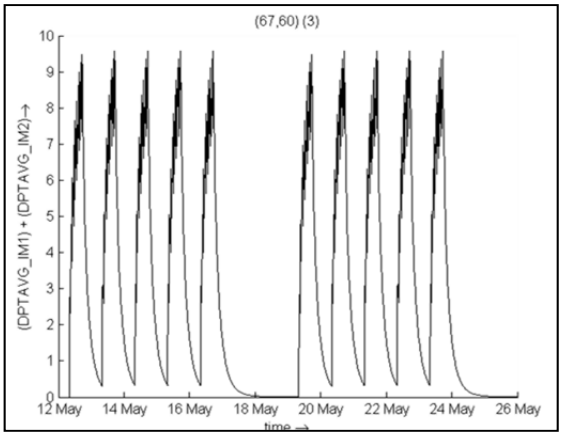
In Fig. 4-57 viene riportato Il punto **"a"**, in prossimità del punto di scarico dei sedimenti, si può notare come in una settimana lavorativa, le concentrazioni medie sulla colonna d'acqua salgono durante il giorno, al susseguirsi degli scarichi di materiale, ma, non appena le attività terminano per l'interruzione notturna, le concentrazioni diminuiscono rapidamente fino a valori prossimi allo zero prima del primo scarico del giorno successivo.

Alla fine di una settimana, il tempo che intercorre tra l'ultimo scarico settimanale ed il primo della settimana successiva è ben più che sufficiente per consentire l'annullamento delle concentrazioni medie nella colonna d'acqua, fatto che consente di riprendere i lavori in condizioni fenomenologicamente "scollegate" dalla settimana precedente.

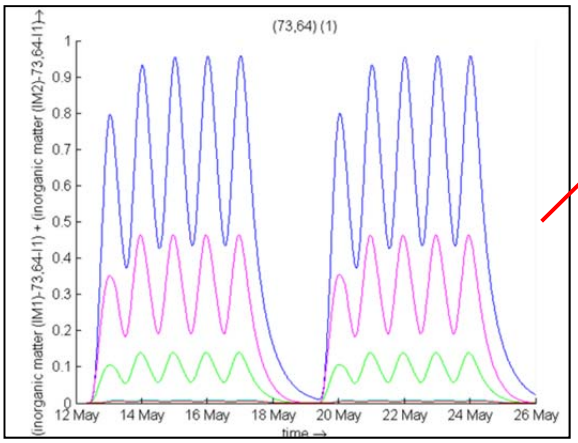
Per il punto **"b"**, posizionato sul confine più settentrionale del sito SIC e più vicino al punto di scarico (secondo grafico della Fig. 4-57), viene riportato invece l'andamento delle concentrazioni (in mg/l)nel tempo per ogni singolo "layer" verticale (totali 5 σ layers sulla colonna d'acqua).

Si può notare che per gli strati superficiali, non apprezzabili nel grafico, le concentrazioni si mantengono sempre prossime allo zero. In quelli più profondi (verde lo strato intermedio, viola il penultimo e blu quello più profondo) si può apprezzare un'oscillazione di concentrazione, ma con valori estremamente bassi, inferiori, anche nel caso più sfavorevole nello strato più profondo, di circa 10 volte rispetto a quello che si genera in prossimità dello scarico (da notare la variazione di fondo scala tra il grafico del punto "a" , 10 mg/l, e quello del punto "b", 1 mg/l)

a)



b)



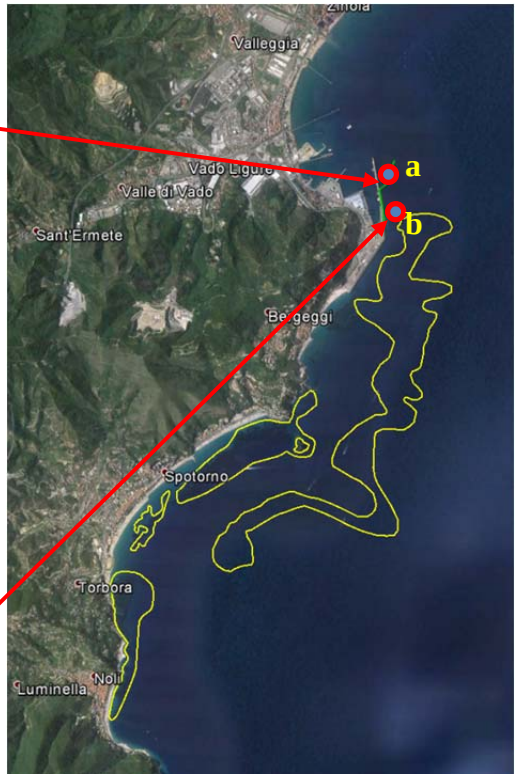
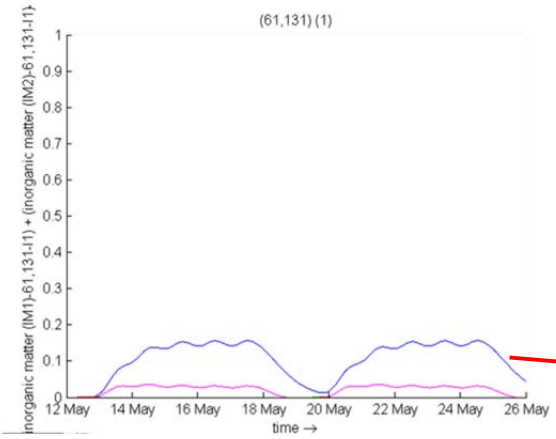


FIG. 4-57 - ANDAMENTO DELLE CONCENTRAZIONI DI SOLIDI SOSPESI IN PROSSIMITÀ DEL PUNTO DI SCARICO (A) E AL LIMITE SETTENTRIONALE DEL SITO SIC-IT1323271 (PUNTO PIÙ VICINO ALLO SCARICO).

Analogamente nei 2 grafici di Fig. 4-58 (punti **"c"**, centrale rispetto alla zona SIC, e **"d"** in corrispondenza dell'isola di Bergeggi), si può notare come le oscillazioni di concentrazione siano sostanzialmente nulle negli strati più superficiali e anche in quelli più profondi le oscillazioni tendono a smorzarsi con valori massimi circa 100 volte (punto "c") e 200 volte (punto "d") inferiori alle concentrazioni, già basse, in prossimità dello scarico.

c)



d)

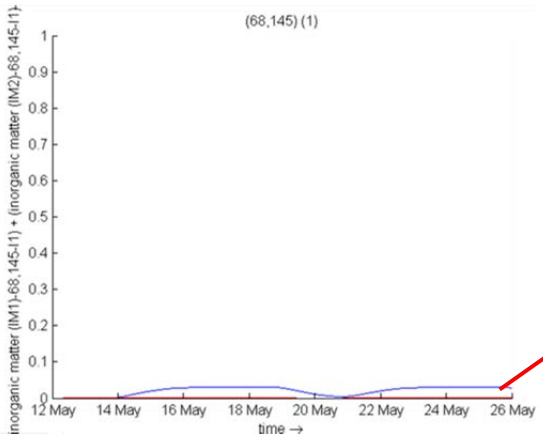




FIG. 4-58 - ANDAMENTO DELLE CONCENTRAZIONI DI SOLIDI SOSPESI IN PROSSIMITÀ DEL PUNTO (C) INTERNO AL SIC-IT1323271 E DEL PUNTO (D) IN CORRISPONDENZA DELL'ISOLA DI BERGEGGI.

4.6.2.3 Fenomeni di squilibrio sedimentario

Nello Studio di Impatto Ambientale è stato affrontato, con grande dettaglio, l'evoluzione dei fondali indotti dalla realizzazione della diga foranea – 1° fase, del porto di Vado Ligure.

E' innanzitutto da sottolineare che la diga foranea in progetto va a sostituire la diga foranea esistente che poco differisce, in estensione, da quella in progetto.

Inoltre i fondali su cui sarà impostata la nuova diga foranea sono molto profondi e, non inducendo modifiche al campo delle correnti ed al regime del moto ondoso, non sono da prevedersi fenomeni locali di erosione o di sedimentazione.

Si può pertanto affermare che la nuova opera non indurrà fenomeni di squilibrio sedimentario (PI-5)

4.6.2.4 Emissioni sonore

Come più volte indicato, il sito SIC IT-1323271 è di particolare interesse non solo per gli ecosistemi di pregio quali affioramenti coralligeni e le praterie di fanerogame, ma anche per la componente biotica di particolare rilevanza. Tale componente risulta ovviamente sensibile alle alterazioni della componente rumore, che può essere potenzialmente rilevante nelle fasi di costruzione.

Sono comunque da sottolineare i seguenti fattori:

a) L'area relativa al sito SIC IT-1323271 si trova, rispetto alla zona di costruzione, ad una distanza di circa 500 m che contribuisce a ridurre gli eventuali fenomeni che possono provocare rumore
b) Le lavorazioni (sversamento di materiale lapideo con benne o chiatte, affondamento di cassoni, ecc.) non son tali da produrre fenomeni rumorosi che possono disturbare gli animali che si trovano nell'area di interesse comunitario

Sulla base di tali considerazioni, si ritiene di poter escludere una interferenza della componente rumore sulla zona SIC IT-1323271

5. DESCRIZIONE DELLE OPERE

La configurazione planimetrica di prima fase della diga foranea è costituita da un tratto che segue, verso mare, la configurazione finale del PRP per uno sviluppo di 360 m e un tratto di raccordo provvisorio (rispetto a quanto previsto nel PRP), caratterizzato da uno sviluppo di 100 m, che consente il collegamento tra la diga esistente ed il predetto tratto verso mare della nuova diga (vedi Fig. 1.3). Per la costruzione della nuova diga foranea di prima fase verranno riutilizzati, una volta salpati, i 13 cassoni costituenti il tratto terminale della diga foranea esistente, con l'aggiunta di due cassoni di nuova costruzione necessari per evitare l'interferenza dello scanno di imbasamento con l'adiacente relitto della nave Sacro Corem (Fig. 5.1).

Nella configurazione finale come da PRP la diga foranea di prima fase verrà estesa verso mare di ulteriori 240 m e verrà inoltre realizzato un nuovo tratto di diga verso terra di raccordo con la diga esistente, con la creazione di un nuovo terrapieno (vedi Fig. 1.1).

Nei paragrafi successivi sono illustrate le tipologie di opere previste per la configurazione planimetrica di prima fase della nuova diga, oggetto del presente progetto esecutivo, brevemente sintetizzate qui di seguito.

Per il tratto di 360 m che si può considerare definitivo secondo la configurazione del PRP è prevista la realizzazione di un'opera di difesa composita caratterizzata da uno scanno d'imbasamento in scogliera e sovrastanti cassoni cellulari in c.a.. Per questo tratto il dimensionamento dell'opera ha fatto riferimento ad una vita tecnica di 50 anni ed a un tempo di ritorno delle condizioni meteomarine di progetto di 250 anni.

Il tratto di raccordo di 100 m, da considerarsi provvisorio in quanto non ricalca la configurazione planimetrica del PRP, è costituito da uno scanno in scogliera su cui sono imbasati i cassoni cellulari in c.a. di dimensioni minori, protetti sul lato mare da una scogliera. Per questo tratto il dimensionamento dell'opera ha fatto riferimento ad una vita tecnica di 10 anni ed a un tempo di ritorno delle condizioni meteomarine di progetto di 50 anni.

Per la connessione dei due suddetti tratti e la connessione tra il tratto di raccordo e la diga esistente è prevista la realizzazione di un'opera provvisoria costituita da due serraglie in elementi di calcestruzzo. Anche per questo tratto il dimensionamento dell'opera ha fatto riferimento ad una vita tecnica di 10 anni ed a un tempo di ritorno delle condizioni meteomarine di progetto di 50 anni.

Infine si evidenzia che la quota di sommità delle opere della nuova diga prevista nel presente progetto, è pari a +2,5 m l.m.m. e nel breve l'Autorità Portuale provvederà alla realizzazione di un muro paraonde con quota di sommità a +7 m l.m.m.

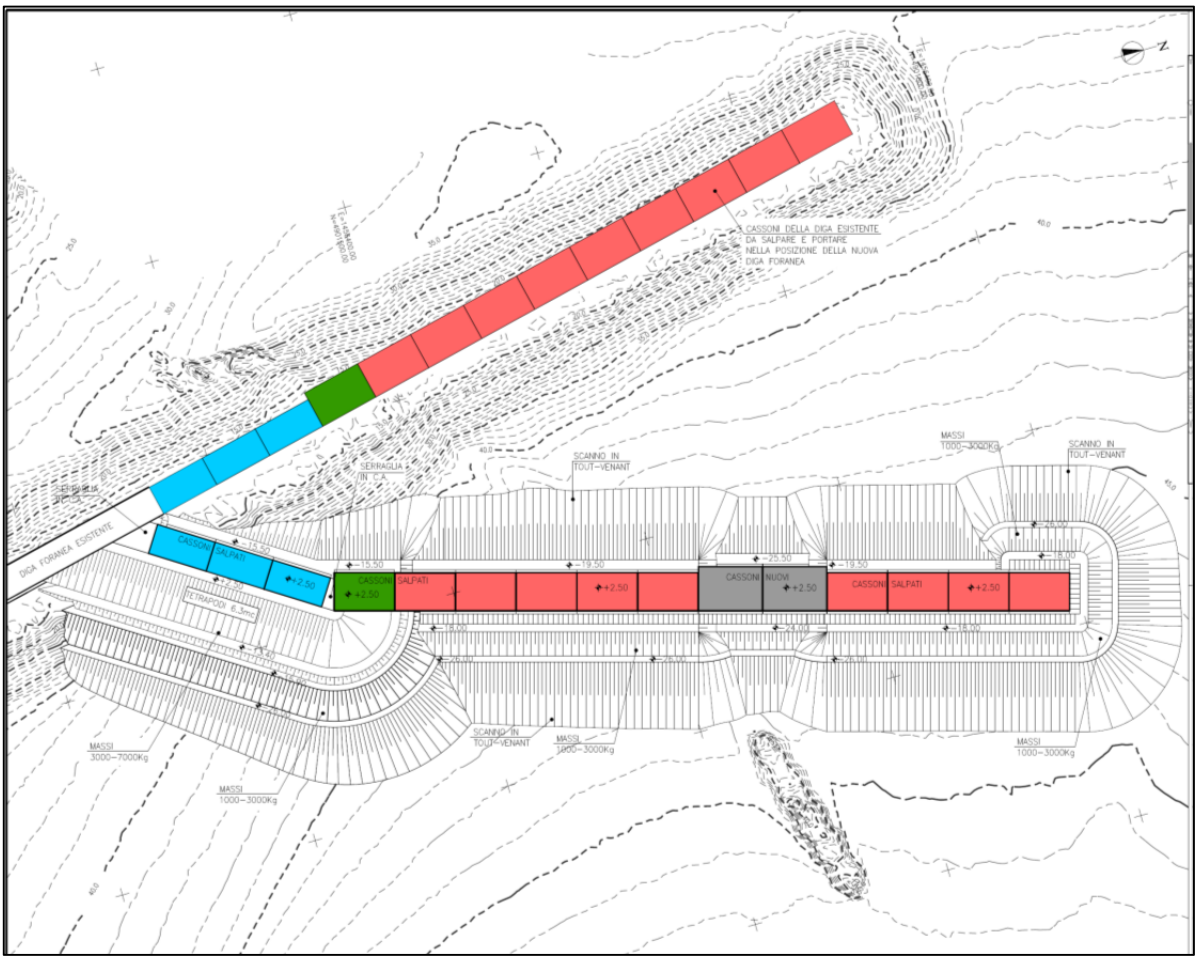


FIG. 5.1 - PLANIMETRIA DELLA DIGA FORANEA DI PRIMA FASE

5.1. Tratto di diga foranea verso mare

5.1.1. Opere previste nel presente progetto di 1ª fase

Il tratto verso mare della diga foranea di prima fase, di sviluppo 360 m, interessa fondali elevati compresi tra la batimetrica -43 m e la -49 m s.m.m (vedi Fig. 5.2).

La tipologia costruttiva della nuova diga foranea è analoga a quella della diga esistente ed è costituita da cassoni cellulari in c.a. imbasati su uno scanno in scogliera. Nello specifico, nel tratto in oggetto della diga è prevista la posa di 12 cassoni cellulari, di cui 10 provenienti dal salpamento di quelli esistenti e 2 di prefabbricazione ex novo.

Riguardo ai cassoni che saranno riutilizzati, vanno distinti 9 cassoni con dimensioni del fusto in pianta di 19x30,06 m che verranno imbasati alla -19,50 m (sezioni tipo D ed E in Fig. 5.4) e 1 cassone di dimensioni 19x30,06 m che verrà imbasato alla -15,50 m (sezione tipo B, Fig. 5.3).

I due cassoni da prefabbricare ex novo sono caratterizzati da dimensioni 22x32 m e saranno imbasati ad una quota più profonda pari a -25,50 m (sezione tipo C in Fig. 5.3), che consente di evitare l'interferenza dello scanno con il relitto della nave Sacro Corem.

La sovrastruttura dei cassoni è costituita da una soletta in c.a. con estradosso a quota +2,50 m l.m.m.

Lo scanno d'imbasamento dei cassoni è costituito, per le sezioni tipo C, D ed E, da tout-venant di pezzatura 0-500 kg, con mantellata di protezione in massi naturali di categoria 1000-3000 kg disposti in triplo strato lungo la scarpata.

Con riferimento alla sezione tipo B, relativa al cassone imbasato alla -15,50 m, sul lato mare il cassone sarà in parte interessato da una scogliera di protezione in massi naturali e artificiali. Questa tipologia di protezione viene illustrata con maggior dettaglio nel paragrafo successivo, in quanto interessa soprattutto il tratto di diga foranea provvisorio.

Al piede dei cassoni, per contrastare localmente l'effetto di scalzamento indotto dalle onde che riflettono sulla parete verticale, è prevista la posa di massi guardiani forati al fine di limitare le sottopressioni sul masso stesso.

In corrispondenza della testata (sezione tipo E) la mantellata in massi naturali 1000-3000 kg verrà risvoltata nella parte interna della diga per un'estensione di 30 m. Sulla sovrastruttura in testata della diga verrà posizionato il faro rosso recuperato dalla testata della diga esistente.

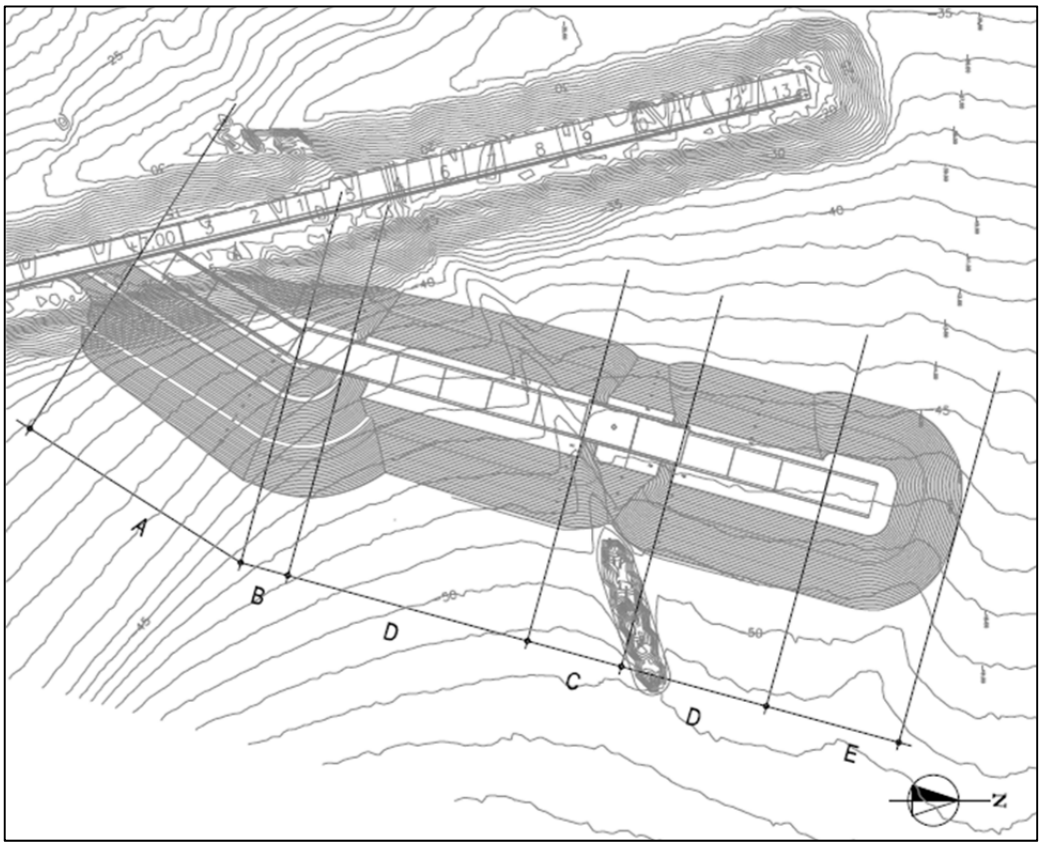


FIG. 5.2 - PLANIMETRIA DELLA DIGA DI 1^A FASE CON UBICAZIONE SEZIONI TIPO

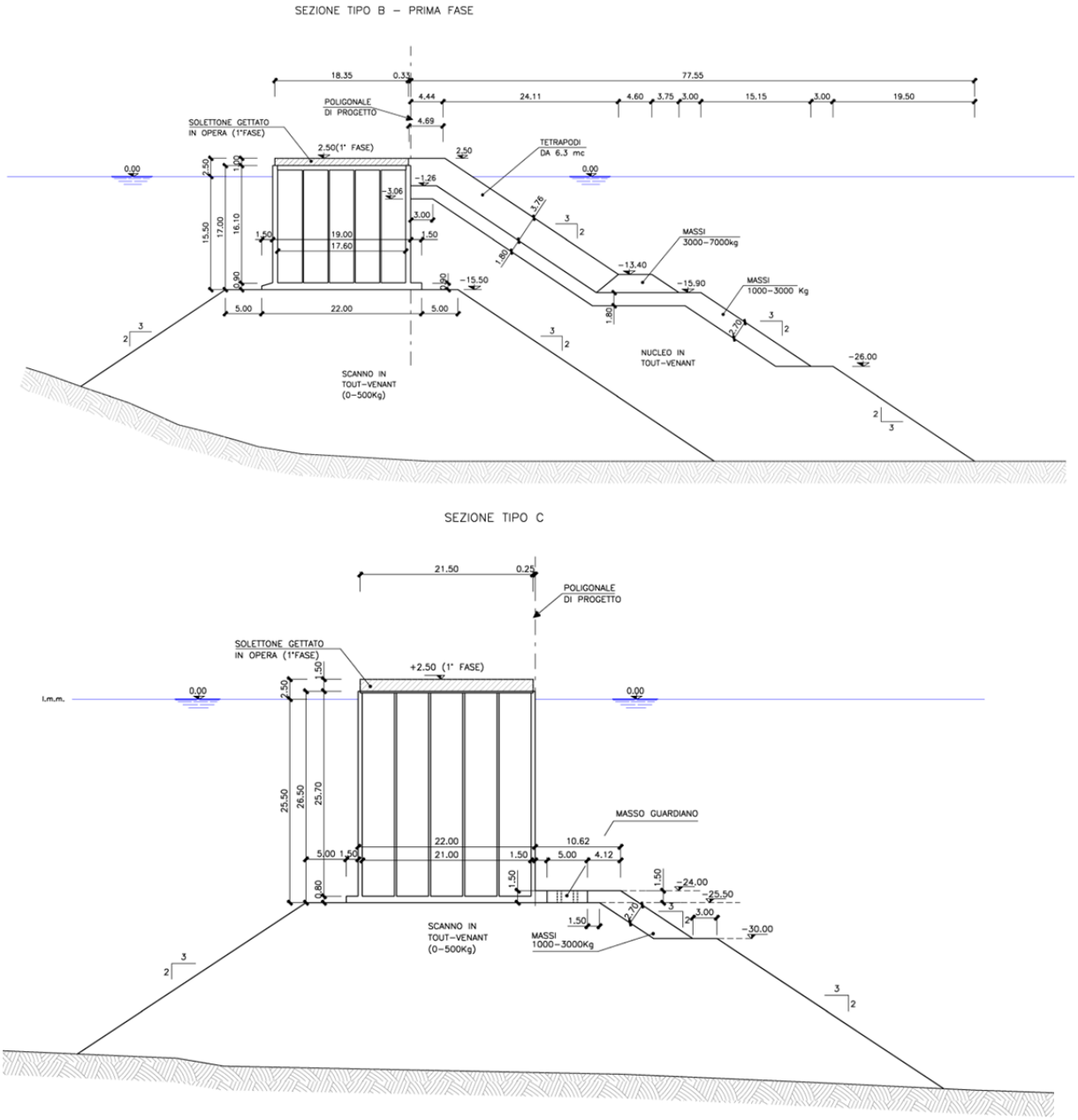


FIG. 5.3 - SEZIONI TIPO B E C DELLA DIGA FORANEA DI 1A FASE – TRATTO VERSO MARE

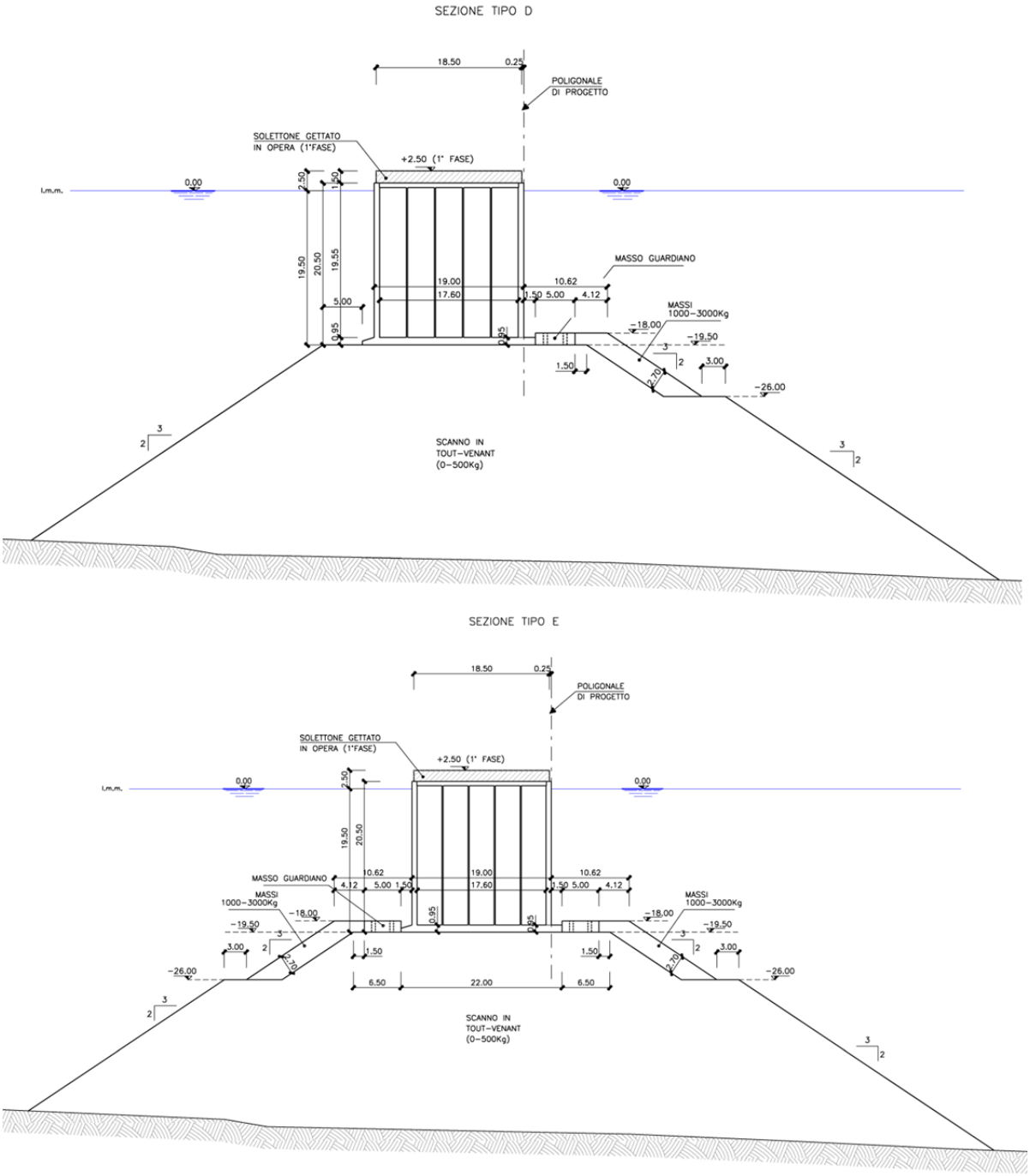


FIG. 5.4 - SEZIONI TIPO D E E DELLA DIGA FORANEA DI 1A FASE – TRATTO VERSO MARE

5.1.2. Opere previste in una fase successiva

Una volta realizzate le opere di 1ª fase della nuova diga che riguardano il presente progetto esecutivo, l'Autorità Portuale di Savona prevede di realizzare nel breve termine un intervento aggiuntivo, consistente nel completamento della sovrastruttura con la costruzione di un muro paraonde con sommità a quota +7,00 m l.m.m. per limitare la tracimazione del moto ondoso.

Secondo le indicazioni dell'Autorità Portuale la geometria del futuro muro paraonde sarà conforme alla configurazione indicata in Fig. 5.5. Nella figura si riporta solo la sezione tipo D, ma la stessa geometria del muro paraonde vale anche per le sezioni tipo B, C ed E. Benché il progetto del muro sarà finalizzato in altra sede progettuale, nel progetto esecutivo della diga di 1ª fase si è tenuto conto della futura presenza del manufatto, per le relative implicazioni in termini di incremento delle sollecitazioni destabilizzanti sulla sezione dell'opera, in particolare di quelle associate al moto ondoso. A tal fine, con riferimento al tratto verso mare della nuova diga, gli effetti della presenza del muro paraonde sono stati considerati nei calcoli strutturali e nelle verifiche di stabilità dell'opera.

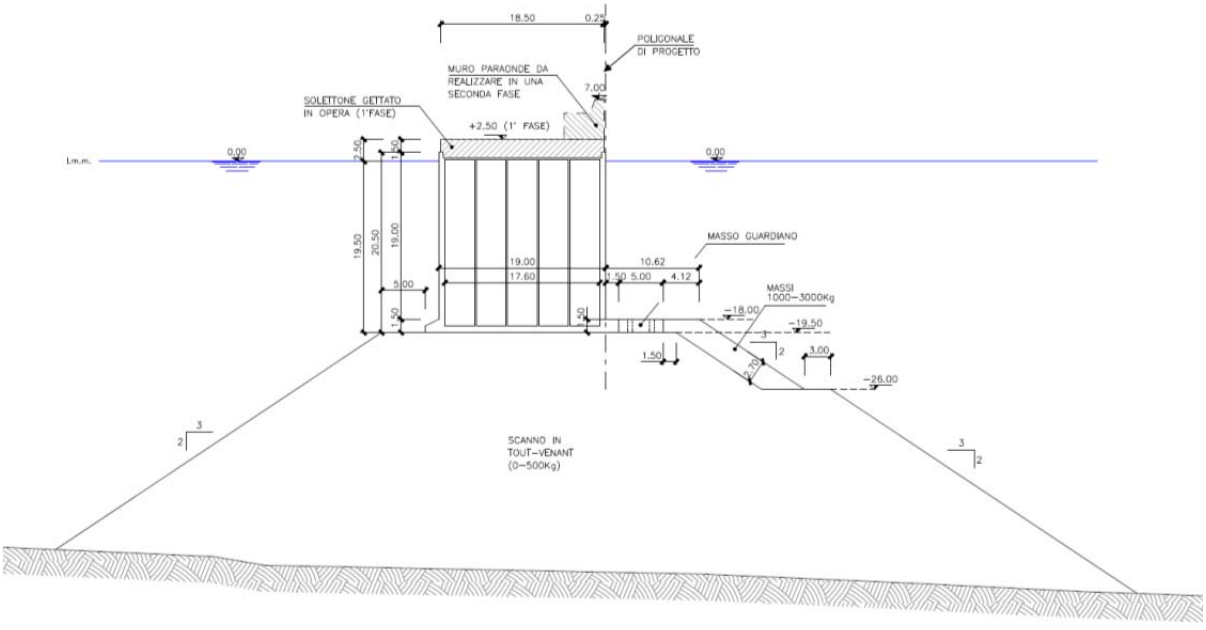


FIG. 5.5 - TRATTO DI DIGA FORANEA VERSO MARE – SEZIONE CON MURO PARAONDE A FUTURO COMPLETAMENTO DELLA SOVRASTRUTTURA

5.2. Tratto di diga foranea di raccordo

5.2.1. Opere previste nel presente progetto di 1ª fase

Il tratto della diga foranea di prima fase, di sviluppo 100 m, che consente in via provvisoria il raccordo con la diga esistente, interessa fondali fino alla -43 m l.m.m. (vedi par. 5.1.1, Fig. 5.2).

La tipologia costruttiva di questo tratto di diga prevede, oltre ai cassoni cellulari in c.a. imbasati su scanno in materiale lapideo, una scogliera lato mare posta a protezione dei cassoni stessi, aventi dimensioni più esigue rispetto a quelli costituenti il tratto verso mare della diga (sezione tipo A, Fig. 5.6).

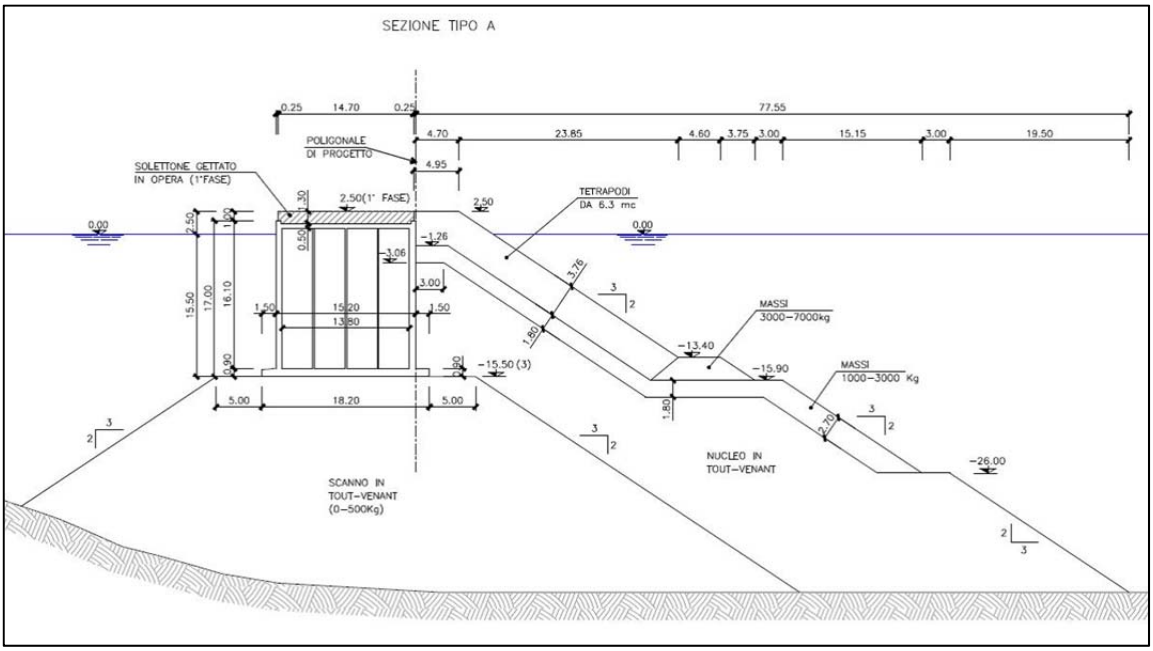


FIG. 5.6 - SEZIONE TIPO A DELLA DIGA FORANEA DI 1ª FASE – TRATTO DI RACCORDO

I cassoni cellulari da riposizionare, una volta salpati, lungo il tratto di raccordo della diga sono 3. Tali cassoni sono caratterizzati da dimensioni del fusto in pianta pari a 15,2x30,06 m e saranno imbasati alla quota -15,50 m, analogamente al cassone della sezione tipo B della nuova diga foranea, parzialmente protetto dal risvolto di chiusura della scogliera caratterizzante la sezione A.

La sovrastruttura dei cassoni è costituita da una soletta in c.a. con estradosso a quota +2,50 m l.m.m.

Lo scanno d'imbasamento dei cassoni è costituito da tout-venant di pezzatura 0-500 kg. La scogliera di protezione sarà realizzata posizionando in adiacenza al cassone e al suo scanno ancora pietrame di categoria 0-500 kg, rivestito fino alla quota -26 m da massi 1000-3000 kg.

Nella parte superiore la mantellata sarà invece costituita da tetrapodi da 6,3 metri cubi, sostenuti da un piede in massi 3000-7000 kg. La quota sommitale prevista per la mantellata in tetrapodi è +2,50 m l.m.m., al pari della sovrastruttura orizzontale in c.a. dei cassoni.

La protezione in scogliera sul lato mare dei cassoni minori ha un duplice scopo: quello di proteggere e assicurare la stabilità dei cassoni e di limitare la riflessione del moto ondoso, con riferimento in particolare agli eventi provenienti dal secondo quadrante.

Ai fini dei calcoli di dimensionamento e verifica delle opere costituenti il tratto di raccordo della diga di 1ª fase si è fatto riferimento, per le condizioni di esercizio, ad una vita utile pari a 10 anni e ad un periodo di ritorno delle condizioni meteomarine di progetto pari a 50 anni. Il tratto di raccordo ha infatti carattere provvisorio ed è destinato ad essere rimosso nell'ambito della configurazione finale di PRP.

5.2.2. Opere previste in una fase successiva

Anche lungo il tratto di raccordo con la diga esistente, analogamente a quanto previsto per il tratto verso mare della nuova diga (cfr. par. 5.1.2), in una fase costruttiva successiva ai lavori di 1a fase del presente progetto, è prevista dall'Autorità Portuale nel breve l'integrazione della sovrastruttura dei cassoni con il muro paraonde avente sommità a quota +7,00 m l.m.m.

Di conseguenza, già nell'ambito del presente progetto esecutivo si è resa necessaria un'analisi degli effetti indotti dalla futura presenza del muro ai fini del dimensionamento e della stabilità dell'infrastruttura.

Tale aspetto assume particolare rilevanza con riferimento al tratto di raccordo, dove sono riutilizzati i cassoni di dimensioni minori salpati dalla diga esistente, e quindi maggiormente vulnerabili agli incrementi di spinta associati all'elevazione del paramento verticale della diga. Proprio per questo motivo è stata individuata la necessità di associare al futuro innalzamento della sovrastruttura a quota +7,00 m un adeguato sovralzo e ampliamento della scogliera di protezione, al fine di conservarne l'efficacia in termini di riduzione delle sollecitazioni indotte dalle onde e consentire la stabilità e l'integrità dei cassoni retrostanti.

In Fig. 5.7 è presentata l'ipotesi di adeguamento prevista per la scogliera di protezione, con quota sommitale portata alla +6,50 m, in relazione alla sezione corrente A.

In ogni caso, l'adeguamento della sezione A illustrato in Fig. 5.7 deve intendersi di tentativo e finalizzato ad ottimizzare la progettazione di 1ª fase della nuova diga, sempre con riferimento al periodo di ritorno di 50 anni associato al tratto di raccordo (cfr. par. 5.1.2). La progettazione effettiva del muro paraonde e delle modifiche alla scogliera antistante i cassoni sarà infatti sviluppata e finalizzata in ambito successivo al presente progetto esecutivo. È inteso che tale successiva fase di progetto dovrà tenere in debita considerazione i criteri e le ipotesi di calcolo, dimensionamento e verifica adottati nella progettazione di 1ª fase delle sezioni del raccordo della nuova diga.

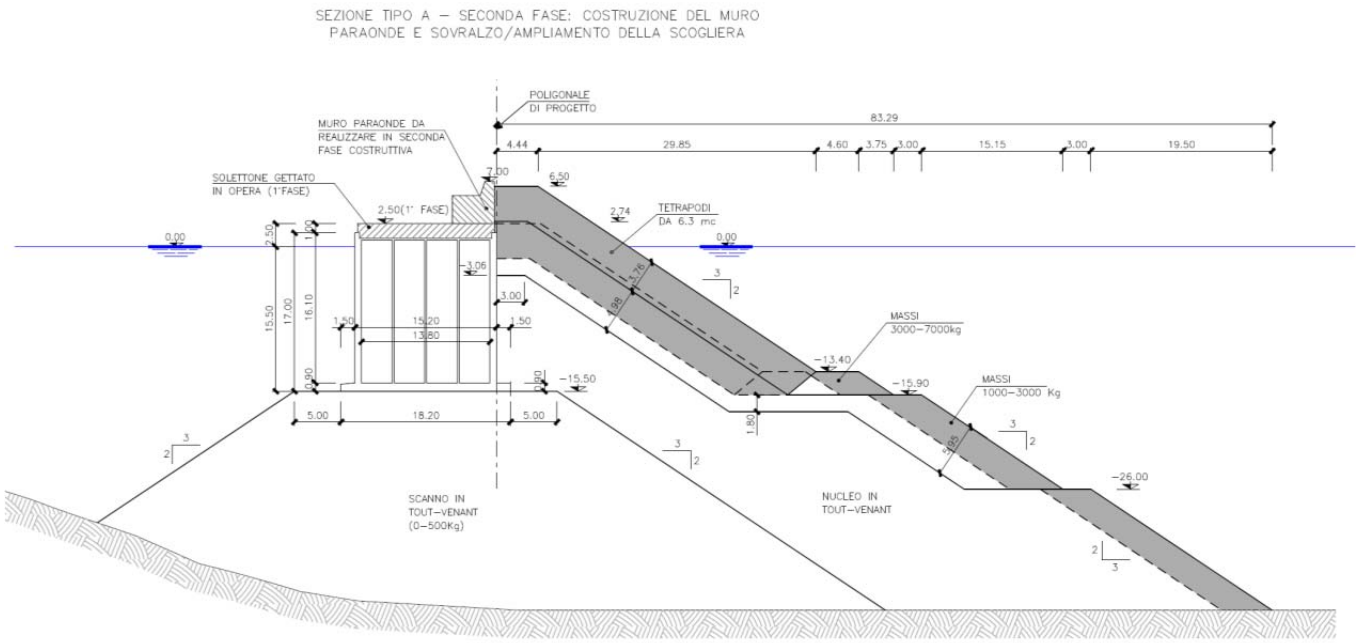


FIG. 5.7 - FUTURO ADEGUAMENTO DELLA SEZIONE TIPO A CON MURO PARAONDE A COMPLETAMENTO DELLA SOVRASTRUTTURA

5.3. Serraglie in calcestruzzo

5.3.1. Opere previste nel progetto di 1ª fase

Alle estremità del tratto di raccordo della nuova opera foranea, in corrispondenza dei punti singolari di transizione tra le diverse batterie di cassoni costituenti la nuova diga e la parte terminale di quella esistente che rimarrà in opera in 1ª fase, è prevista la realizzazione di due serraglie di connessione in elementi di calcestruzzo. Le sezioni tipo di tali opere sono illustrate in Fig. 5.8.

Le serraglie saranno realizzate mediante la posa in opera di pile di blocchi prefabbricati in calcestruzzo, allineate con le pareti longitudinali dei cassoni del tratto di raccordo. Le pile contrapposte saranno solidarizzate mediante la predisposizione di ferri d'orditura sporgenti tra coppie di blocchi corrispondenti, e la successiva realizzazione di un getto subacqueo di calcestruzzo a colmare l'intercapedine tra i due ordini di pile.

I blocchi avranno dimensioni massime di 3x5x1,5 m, per un corrispondente peso in aria di circa 56 t. Il getto subacqueo di solidarizzazione sarà eseguito seguendo la sequenza di posa degli ordini di massi contrapposti, con l'accorgimento di sfalsare i giunti getto-masso.

I blocchi della serraglia all'estremità nord del tratto di raccordo saranno imbasati a quota -15,50 m l.m.m., in sommità allo scanno di imbasamento dei cassoni da connettere. Il piano di imbasamento dei blocchi della serraglia sud è previsto a quota -13,50 m, su tout-venant posato a ricoprimento della berma di scanno della diga esistente.

Per le pile di blocchi è prevista una quota sommitale di +0,50 m l.m.m. Al di sopra, le serraglie saranno coronate da un solettone orizzontale in calcestruzzo con estradosso a quota +2,50 m l.m.m., al pari dei cassoni adiacenti.

Le serraglie saranno protette sul lato mare dalla medesima scogliera in massi naturali e tetrapodi caratterizzante le sezioni A e B della nuova diga, già descritta in precedenza nel paragrafo 5.2.1.

Ai fini dei calcoli di dimensionamento/verifica delle serraglie, in quanto appartenenti al tratto provvisorio di raccordo della diga di 1^{a} fase, per le condizioni di esercizio si è fatto riferimento ad una vita utile pari a 10 anni e ad un periodo di ritorno di 50 anni.

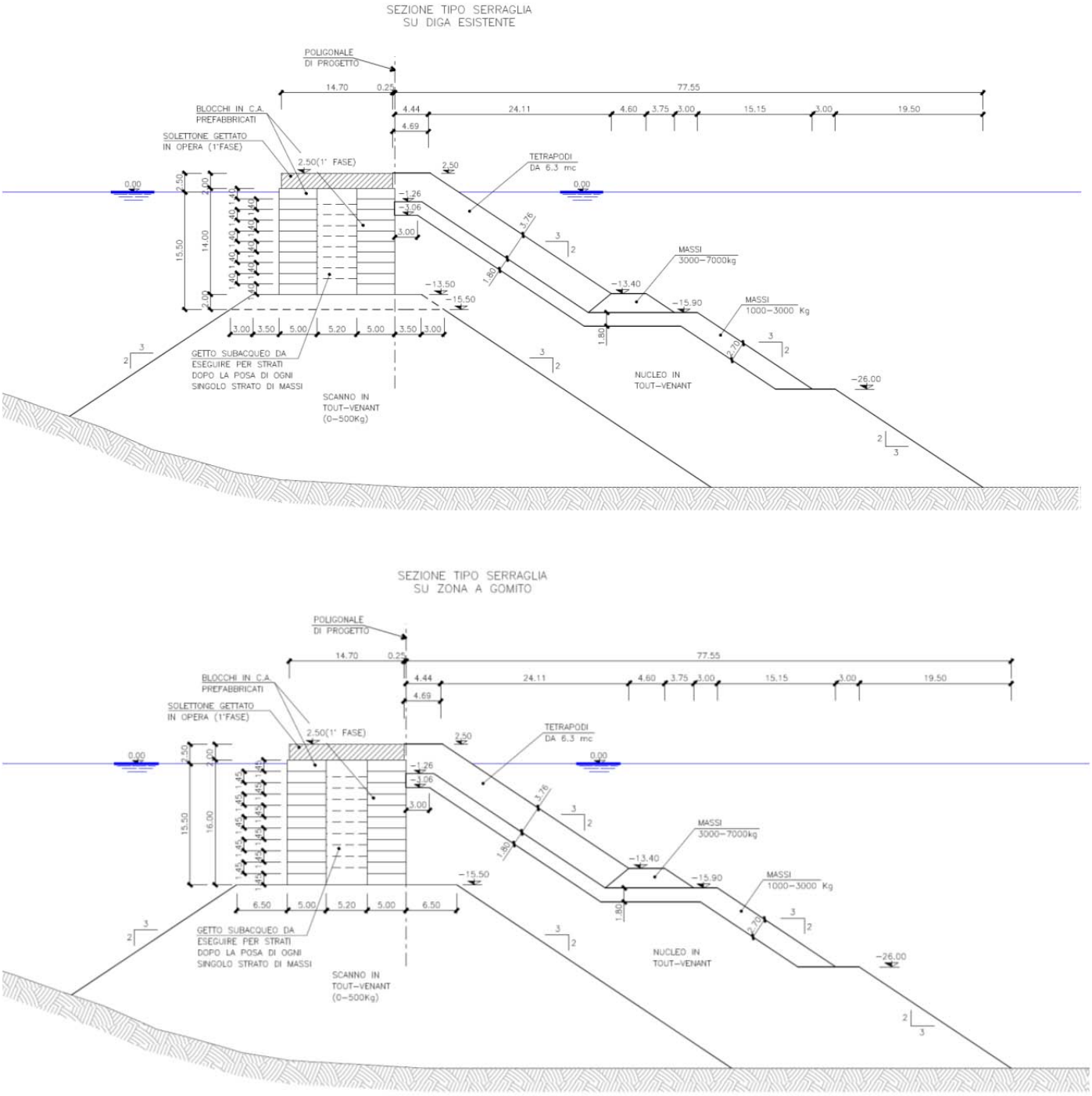


FIG. 5.8 - SEZIONI TIPO DELLE SERRAGLIE DELLA NUOVA DIGA FORANEA DI 1A FASE

5.3.2. Opere previste in una fase successiva

Anche per le serraglie è previsto, in una fase costruttiva successiva ai lavori di 1ª fase del presente progetto, il completamento della sovrastruttura con la costruzione del muro paraonde con sommità a quota +7,00 m l.m.m.

Analogamente a quanto previsto per le sezioni del tratto di raccordo della diga (cfr. par. 5.2.2), si è ipotizzato in questa sede che alla futura elevazione della sovrastruttura sia associato un rialzo a quota +6,50 m e un conseguente ampliamento della scogliera di protezione, come illustrato in Fig. 5.9. Tali modifiche si ritengono necessarie per mitigare adeguatamente le sollecitazioni d'onda sulle serraglie anche nella nuova configurazione con muro paraonde.

Come già sottolineato per il tratto di raccordo, l'adeguamento delle sezioni tipo delle serraglie mostrato in Fig. 5.9 deve intendersi di tentativo e finalizzato ad ottimizzare la progettazione di 1ª fase della nuova diga, sempre con riferimento al periodo di ritorno di 50 anni associato alle sezioni di raccordo.

La progettazione effettiva del muro paraonde e delle modifiche alla scogliera sarà infatti sviluppata e finalizzata in ambito successivo al presente progetto esecutivo. È inteso che tale successiva fase di progetto dovrà tenere in debita considerazione i criteri e le ipotesi di calcolo, dimensionamento e verifica adottati ai fini della progettazione di 1ª fase delle sezioni delle serraglie.

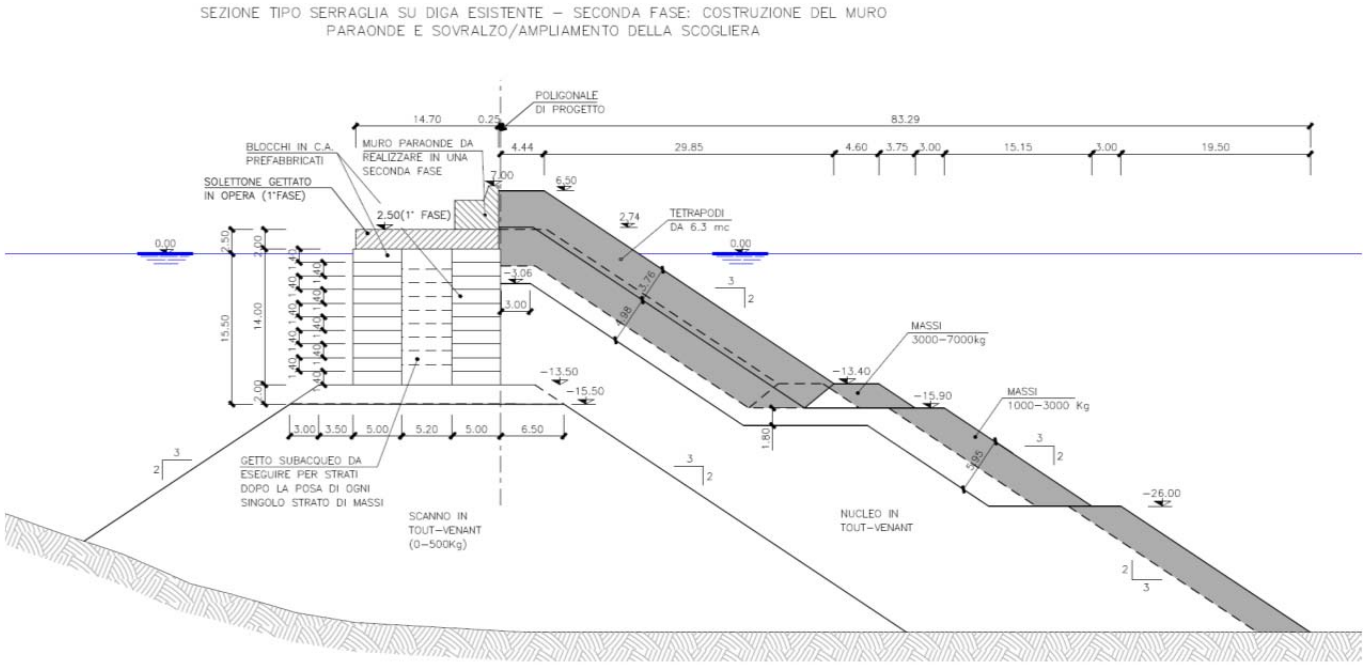


FIG. 5.9 - FUTURO ADEGUAMENTO DELLE SEZIONI TIPO DELLE SERRAGLIE CON MURO PARAONDE A COMPLETAMENTO DELLA SOVRASTRUTTURA

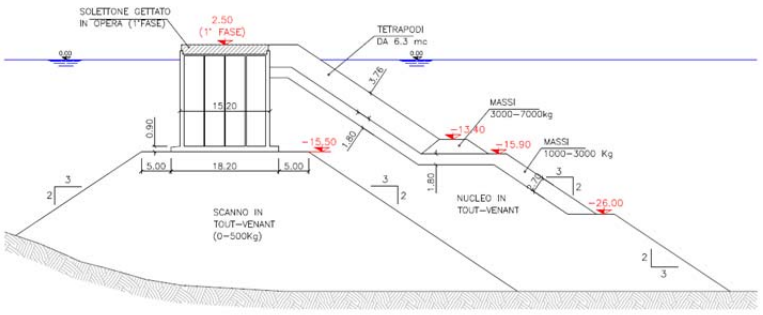
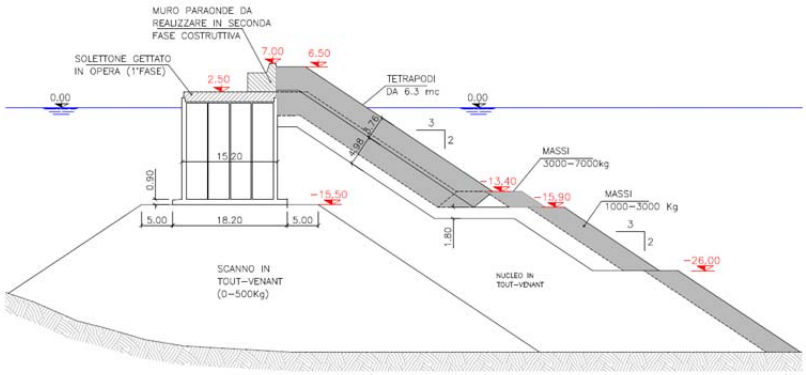
6. CONFIGURAZIONI DI PROGETTO E TEMPI DI RITORNO DELLE ONDE ASSOCIATI

Nel presente progetto esecutivo la diga foranea viene realizzata con riferimento ad una configurazione di esercizio temporaneo, denominata di 1° fase, a cui è associata una vita tecnica di 10 anni. Tuttavia è previsto che alcuni tratti di quest'opera (sezioni tipo B, C, D ed E) vadano a costituire anche la diga in configurazione finale da PRP, alla quale come già presentato, è associata una vita tecnica di 50 anni.

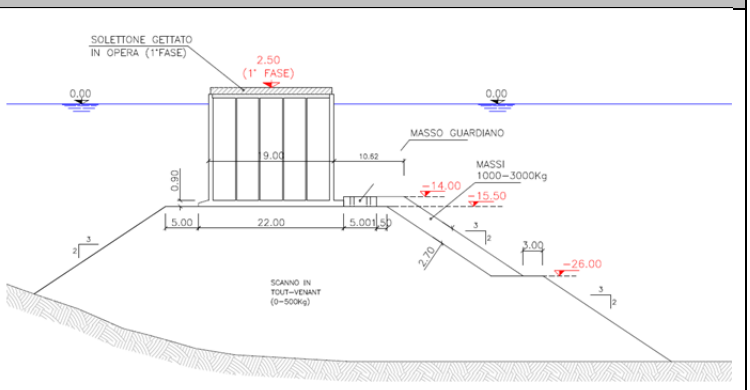
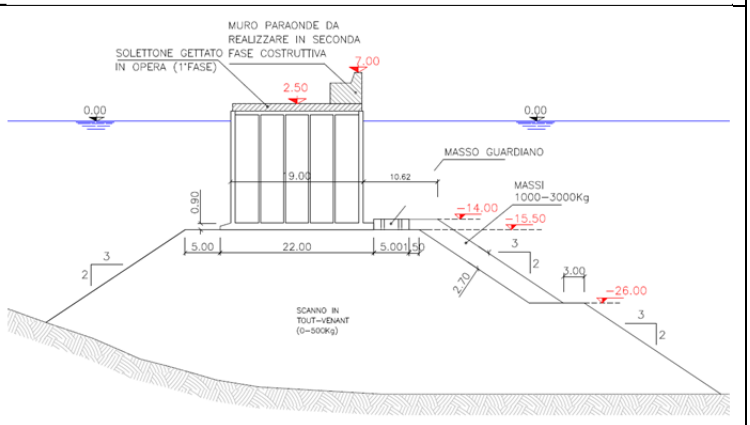
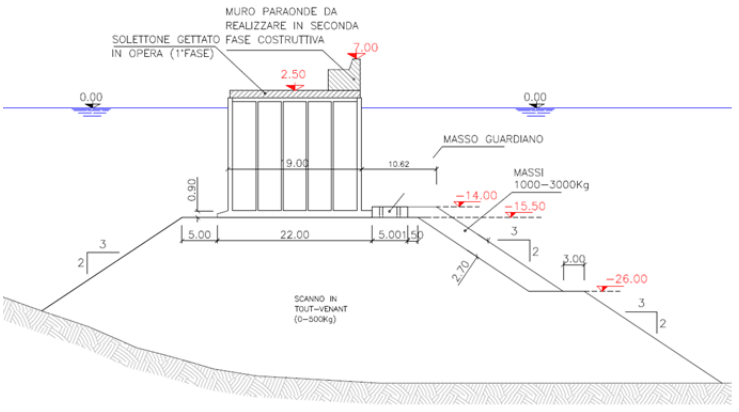
Infine si evidenzia che la quota di sommità delle opere della nuova diga prevista nel presente progetto, è pari a +2,5 m l.m.m. e nel breve l'Autorità Portuale provvederà alla realizzazione di un muro paraonde con quota di sommità a +7 m l.m.m..

Ne consegue che le varie fasi di progettazione e le rispettive vite utili definiscono una varietà di combinazioni di tipologie costruttive e tempi di ritorno dell'altezza d'onda significativa di progetto, che per chiarezza vengono riassunti nella seguente tabella con riferimento a ogni sezione tipo di progetto.

TAB. 6.1 - CONFIGURAZIONI DI PROGETTO E TEMPO DI RITORNO DELLE ONDE ASSOCIATO – SEZ. A

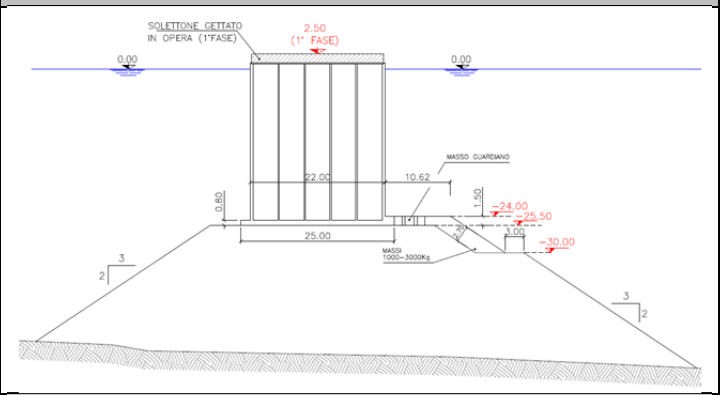
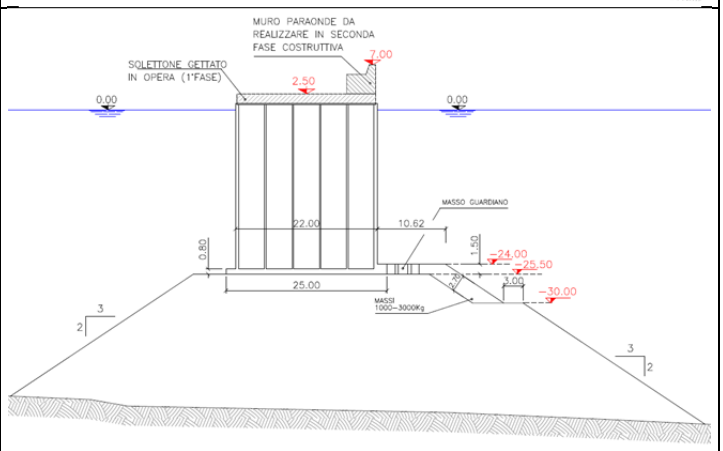
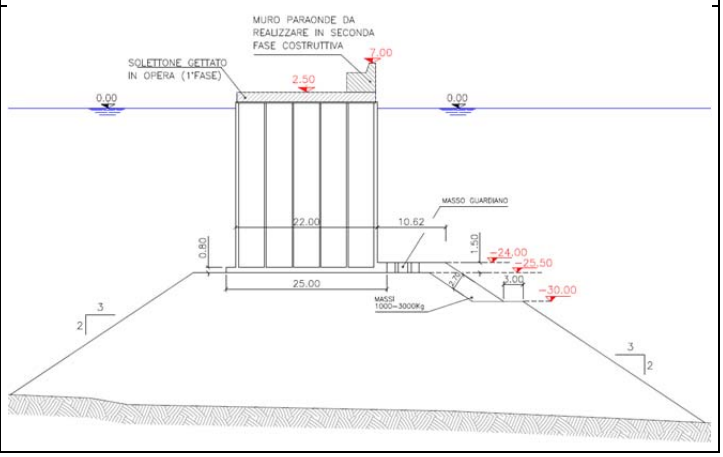
Sezione tipo	Configurazione di progetto	Vita utile	Tempo di ritorno	Schema sezione
A (1°fase)	• Cassone (18.20 x 30.2) imbasato alla -15.5 m • Sovrastruttura fino alla +2.5 m • Scogliera a protezione cassoni fino a +2.5 m	10 anni	50 anni	
A (APS)	• Cassone imbasato alla -15.5 m • Sovrastruttura con muro paraonde fino alla +7.0 m • Scogliera a protezione cassoni fino a +6.5 m	10 anni	50 anni	

TAB. 6.2 - CONFIGURAZIONI DI PROGETTO E TEMPO DI RITORNO DELLE ONDE ASSOCIATO – SEZ. B

Sezione tipo	Configurazione di progetto	Vita utile	Tempo di ritorno	Schema sezione
B (1°fase)	• Cassone (22.0 x 30.2) imbasato alla -15.5 m m • Sovrastruttura fino alla +2.5m	10 anni	50 anni	
B (APS)	• Cassone (22.0 x 30.2) imbasato alla -15.5m • Sovrastruttura con muro paraonde fino alla +7.0 m	10 anni	50 anni	
B (P.R.P.)*	• Cassone (22.0 x 30.2) imbasato alla -15.5 m • Sovrastruttura con muro paraonde fino alla +7.0 m	50 anni	250 anni	

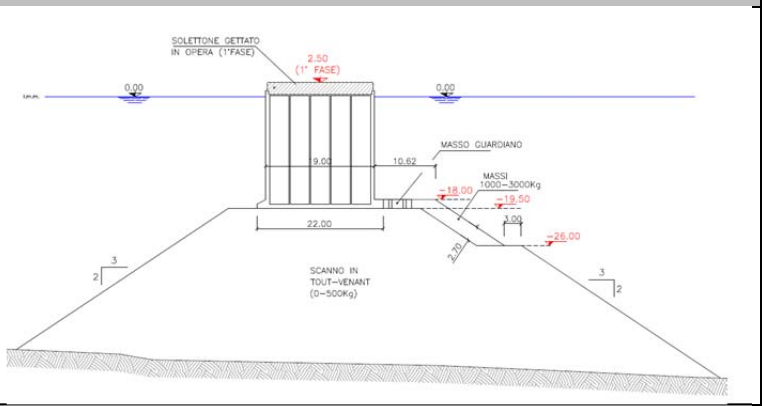
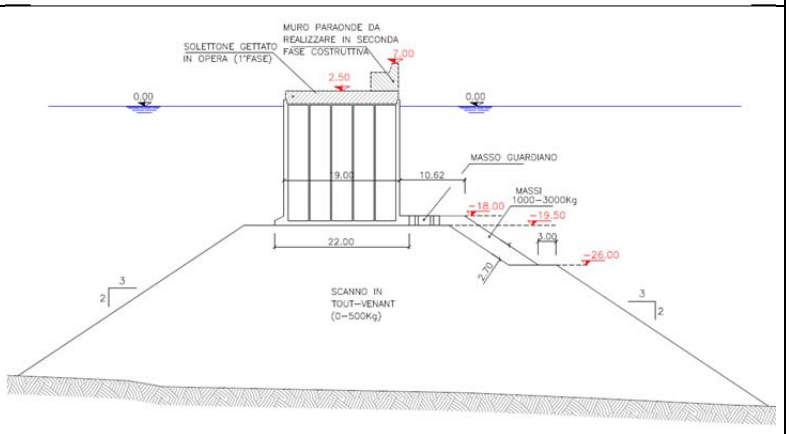
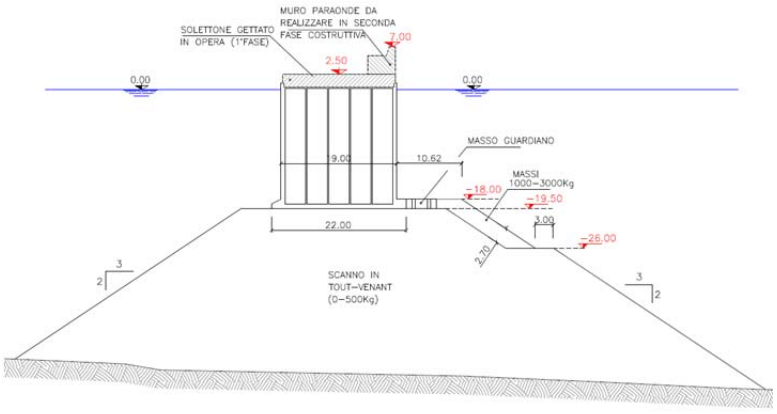
*Questo cassone oltre a costituire la diga di prima fase resterà in opera anche con la diga in configurazione da P.R.P..

TAB. 6.3 - CONFIGURAZIONI DI PROGETTO E TEMPO DI RITORNO DELLE ONDE ASSOCIATO – SEZ. C

Sezione tipo	Configurazione di progetto	Vita utile	Tempo di ritorno	Schema sezione
C (1°fase)	• Cassone di testata (22.0 x 32) imbasato alla -25.5 m • Sovrastruttura fino alla +2.5m	10 anni	50 anni	
C (APS)	• Cassone di testata (22.0 x 32) imbasato alla -25.5 m • Sovrastruttura con muro paraonde fino alla +7.0 m	10 anni	50 anni	
C (P.R.P.)*	• Cassone (22.0 x 32) imbasato alla -25.5 m • Sovrastruttura con muro paraonde fino alla +7.0 m	50 anni	250 anni	

*Questi cassoni oltre a costituire la diga di prima fase resteranno in opera anche con la diga in configurazione da P.R.P..

TAB. 6.4 - CONFIGURAZIONI DI PROGETTO E TEMPO DI RITORNO DELLE ONDE ASSOCIATO – SEZ. D E E

Sezione tipo	Configurazione di progetto	Vita utile	Tempo di ritorno	Schema sezione
D/E (1°fase)	• Cassone (22.0 x 30.2) imbasato alla -19.5 m • Sovrastruttura fino alla +2.5m	10 anni	50 anni	
D/E (APS)	• Cassone (22.0 x 30.2) imbasato alla -19.5 m • Sovrastruttura con muro paraonde fino alla +7.0 m	10 anni	50 anni	
D/E (P.R.P.)*	• Cassone (22.0 x 30.2) imbasato alla -19.5 m • Sovrastruttura con muro paraonde fino alla +7.0 m	50 anni	250 anni	

*Questi cassoni oltre a costituire la diga di prima fase resteranno in opera anche con la diga in configurazione da P.R.P..

7. FASI LAVORATIVE E CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI

7.1. Fasi costruttive generali

Le fasi costruttive generali previste per la realizzazione della nuova diga foranea di prima fase possono sintetizzarsi come segue:

- Realizzazione dello scanno di imbasamento;
- Costruzione e messa in opera della coppia di cassoni nuovi (2 cassoni – vedi sezione tipo C);
- Salpamento dei 4 cassoni terminali della diga esistente (cassoni – vedi sezione tipo D) e loro riposizionamento a nord dei due cassoni nuovi;
- Salpamento di ulteriori 6 cassoni della diga esistente (5 cassoni – vedi sezione tipo tipo D + 1 cassone – vedi sezione tipo B) e loro riposizionamento a sud dei due cassoni nuovi, a completamento della batteria di cassoni del tratto di diga verso mare;
- Salpamento e riposizionamento, lungo il tratto di raccordo della diga di 1ª fase, dei 3 cassoni minori da rimuovere dalla diga esistente (cassoni – vedi sezione tipo A);
- Realizzazione delle serraglie in calcestruzzo;
- Completamento delle opere in scogliera: posa dei massi guardiani e della mantellata a protezione dello scanno, nel tratto verso mare della diga; realizzazione della scogliera a protezione dei cassoni minori, nel tratto di raccordo con la diga esistente.
- Realizzazione della sovrastruttura in c.a..

Per i dettagli a riguardo si rimanda al capitolato speciale.

7.2. Sequenza costruttiva di messa in opera dei cassoni

Nel seguito ci si sofferma sulla sequenza costruttiva per la messa in opera dei cassoni della diga foranea di 1ª fase, che riveste importanza centrale nel complesso delle fasi realizzative dell'opera.

Infatti, le fasi di salpamento e messa in opera nel nuovo sito dei cassoni della diga esistente sono state concepite in modo da garantire alle infrastrutture del porto, ed in particolare alla nuova piattaforma multifunzionale, il miglior grado di protezione possibile

dall'azione del moto ondoso nel corso delle attività costruttive. La sequenza realizzativa della nuova diga di 1ª fase consente infatti di conservare un'adeguata funzione di schermo dagli eventi provenienti dal secondo quadrante.

Tale sequenza è peraltro illustrata nelle figure alla fine del capitolo e anche nelle tavole di progetto cod. MI0102-PE-D-Z-D-014/15/16/17/18/19, alle quali si rimanda per una più chiara visione d'insieme.

In fase iniziale è prevista la messa in opera dei due cassoni di nuova fabbricazione tipo C (nelle figure seguenti identificati con n°10 e 11), i più grandi da installare, aventi dimensioni del fusto pari a 22x32x26,5 m. Tali cassoni saranno imbasati sullo scanno in tout-venant regolarizzato alla quota inferiore prevista in progetto, ovvero alla -25,50 m l.m.m., in prossimità del relitto della nave Sacro Corem.

Successivamente si procederà con le operazioni di salpamento e progressiva messa in opera, a formazione del tratto verso mare della diga di 1ª fase, dei 10 cassoni terminali della diga esistente. La sequenza di tali operazioni avverrà con le modalità descritte qui di seguito.

In una prima fase la rimozione dei cassoni, attraverso la loro messa in galleggiamento, avrà luogo a partire dal manufatto in testata alla diga esistente e interesserà in progressione, procedendo verso sud, gli ultimi 4 cassoni della stessa (identificati nelle figure seguenti con n°12, 13, 14 e 15), il cui fusto misura 19x30,06x20,50 m (vedi sezione tipo D). In ordine di salpamento (dal 12 al 15), i 4 cassoni rimossi saranno progressivamente trasportati in galleggiamento e quindi posti in opera a nord dei 2 cassoni nuovi posati in precedenza, procedendo da questi verso la testata della diga di 1ª fase. I cassoni saranno imbasati sullo scanno in tout-venant predisposto a quota -19,50 m.

Una volta messi in opera i 4 cassoni costituenti il tronco nord del nuovo tratto di diga verso mare, si procederà con la rimozione di ulteriori 4 cassoni tipo D dalla diga esistente (identificati nelle figure seguenti con n°6,7,8 e 9), sempre in progressione verso sud. Rispettando la sequenza di salpamento, tali cassoni saranno progressivamente messi in

opera a sud della coppia di cassoni nuovi, procedendo da questi verso la diga esistente, sul piano di imbasamento precedentemente impostato a quota -19,50 m.

A questo punto sarà messo in galleggiamento e temporaneamente stoccato il cassone tipo B (identificato nelle figure seguenti con il n°4), di dimensioni 19x30,06x17 m, elemento di transizione tra i cassoni esistenti di dimensioni minori (tipo A) e quelli di dimensioni maggiori (tipo D). Tale cassone, attualmente imbasato a quota -16,00 m come i cassoni tipo A, sarà salpato prima di rimuovere l'ultimo cassone di tipo D (identificato nelle figure seguenti con il n°5), ad esso adiacente e imbasato a quota -19,50 m, al fine di evitare problemi di instabilità per cedimento della parte di scanno che verrebbe a trovarsi senza sostegno.

Una volta rimosso il cassone tipo B, sarà salpato anche l'ultimo cassone di tipo D rimasto in opera, che verrà quindi riposizionato a prosecuzione del tronco sud del tratto di diga verso mare, in continuità con la batteria di cassoni già installati.

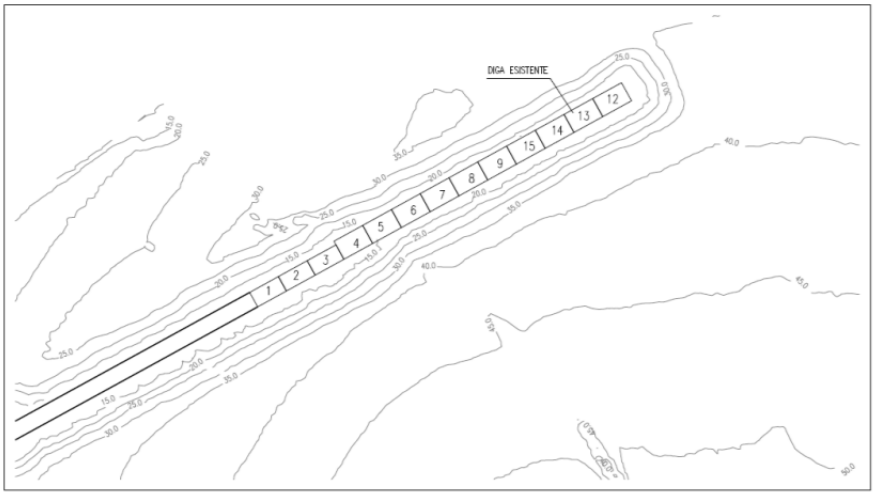
Successivamente si procederà con la messa in opera del cassone tipo B rimosso e stoccato in precedenza, a completamento del tratto verso mare della nuova diga. Tale cassone fungerà da nodo di transizione anche per la diga di 1ª fase e sarà imbasato sullo scanno in tout-venant predisposto a quota -15,50 m.

La fase successiva prevede il progressivo salpamento e riposizionamento, procedendo coordinatamente verso sud, dei 3 cassoni minori tipo A (identificati nelle figure seguenti con il n°1, 2 e 3) – di dimensioni 15,2x30,06x17,0 m – a formazione del tratto di raccordo della diga di 1ª fase. Tali cassoni saranno imbasati a quota -15,50 m, analogamente al cassone tipo B di transizione.

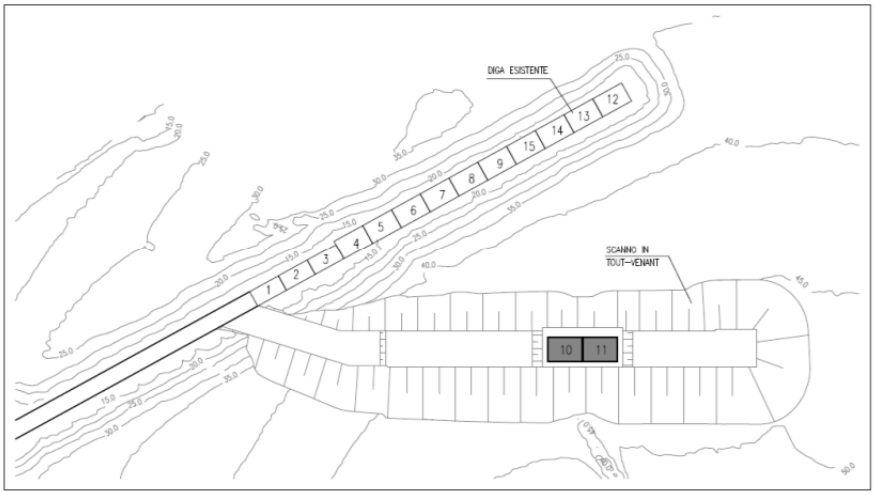
La realizzazione delle serraglie in calcestruzzo alle estremità del tratto di raccordo consentirà infine di connettere senza soluzione di continuità le diverse batterie di cassoni della nuova diga di 1ª fase e della diga esistente.

Quanto presentato in questo capitolo, oltre che nelle seguenti figure seguenti, rappresenta una descrizione per fasi generali della sequenza prevista per la messa in opera dei cassoni della diga foranea di 1ª fase.

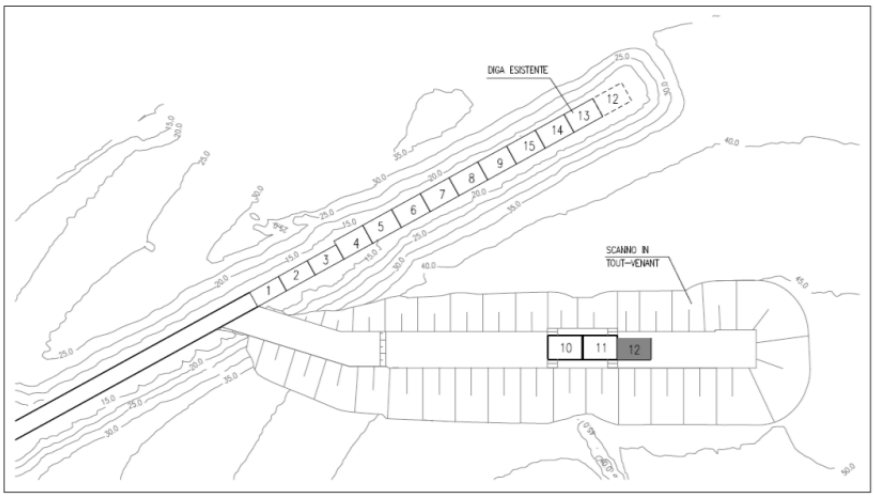
Attenendosi alle linee generali esposte in questa sede, sarà predisposto a cura dell'Impresa un piano operativo e temporale di dettaglio per la realizzazione dell'opera, che illustrerà nello specifico anche le modalità, le procedure e le tempistiche esecutive per la messa in galleggiamento, l'eventuale stoccaggio temporaneo, il trasporto, l'affondamento e lo zavorramento definitivo dei cassoni.



A) STATO ATTUALE

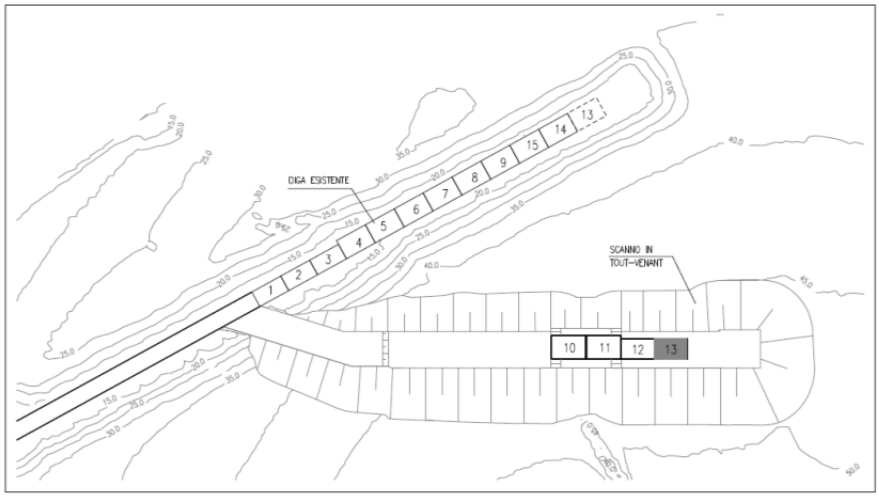


B) POSA IN OPERA DEI 2 CASSONI EX NOVO (10, 11) S

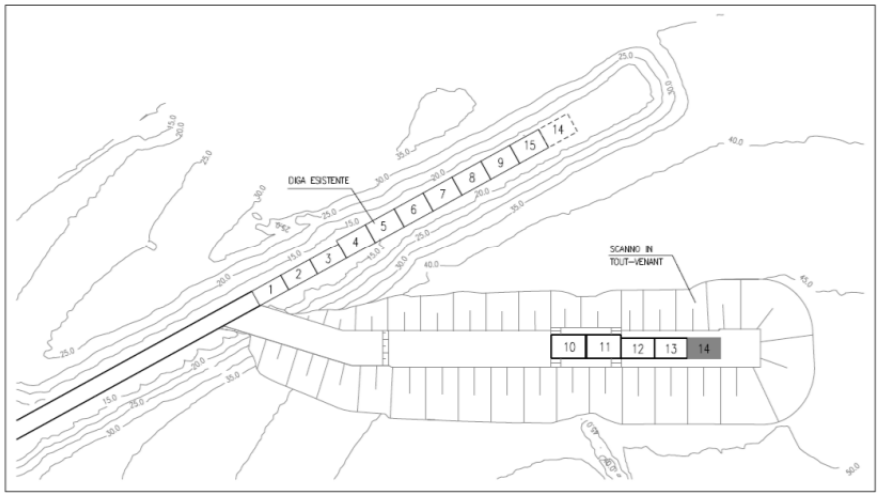


C) RIMOZIONE FARO ROSSO DI TESTATA
DEMOLIZIONE SOVRASTRUTTURA
SALPAMENTO E POSA IN OPERA DEL CASSONE N.12

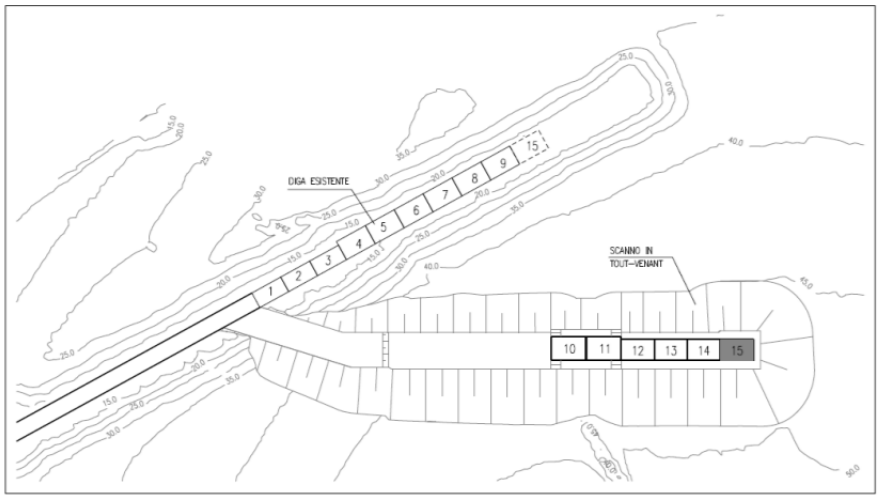
FIG. 7.1 – SEQUENZA COSTRUTTIVA DI MESSA IN OPERA DEI CASSONI – FASI A)-B)-C)



D) DEMOLIZIONE SOVRASTRUTTURA
SALPAMENTO E POSA IN OPERA DEL CASSONE N.13

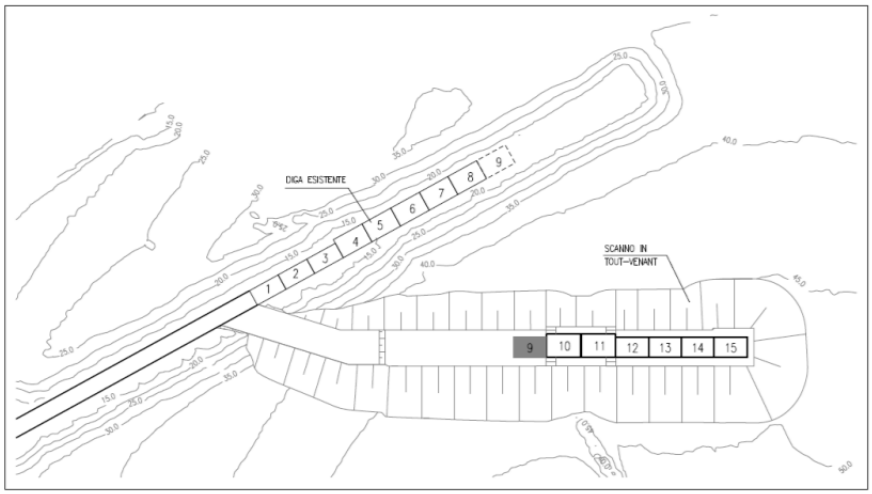


E) DEMOLIZIONE SOVRASTRUTTURA
SALPAMENTO E POSA IN OPERA DEL CASSONE N.14

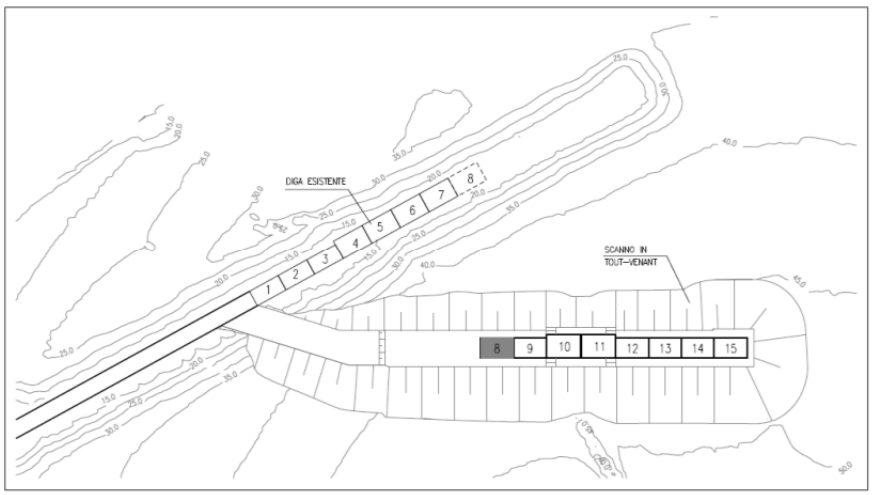


F) DEMOLIZIONE SOVRASTRUTTURA
SALPAMENTO E POSA IN OPERA DEL CASSONE N.15

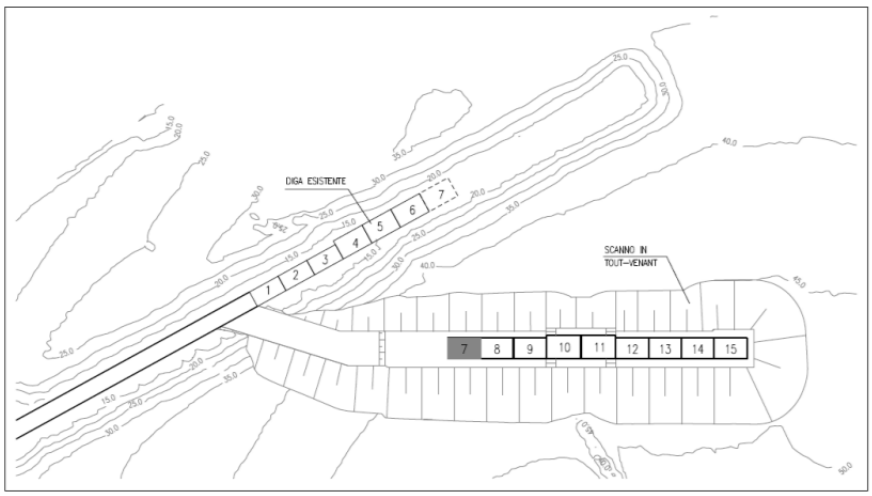
FIG. 7.2 – SEQUENZA COSTRUTTIVA DI MESSA IN OPERA DEI CASSONI – FASI D)-E)-F)



G) DEMOLIZIONE SOVRASTRUTTURA
SALPAMENTO E POSA IN OPERA DEL CASSONE N.9



H) DEMOLIZIONE SOVRASTRUTTURA
SALPAMENTO E POSA IN OPERA DEL CASSONE N.8



I) DEMOLIZIONE SOVRASTRUTTURA
SALPAMENTO E POSA IN OPERA DEL CASSONE N.7

FIG. 7.3 – SEQUENZA COSTRUTTIVA DI MESSA IN OPERA DEI CASSONI – FASI G)-H)-I)

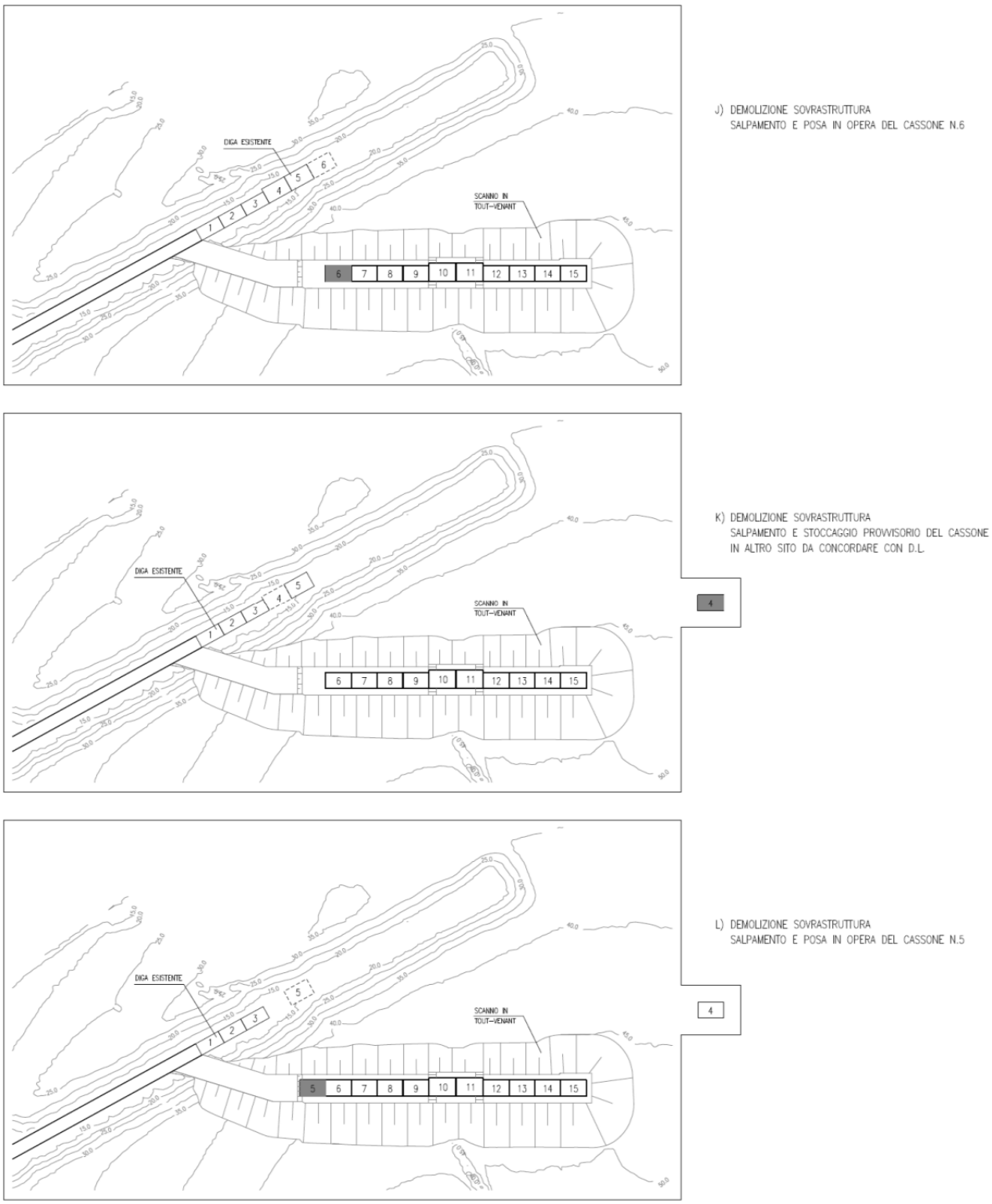


FIG. 7.4 – SEQUENZA COSTRUTTIVA DI MESSA IN OPERA DEI CASSONI – FASI J)-K)-L)

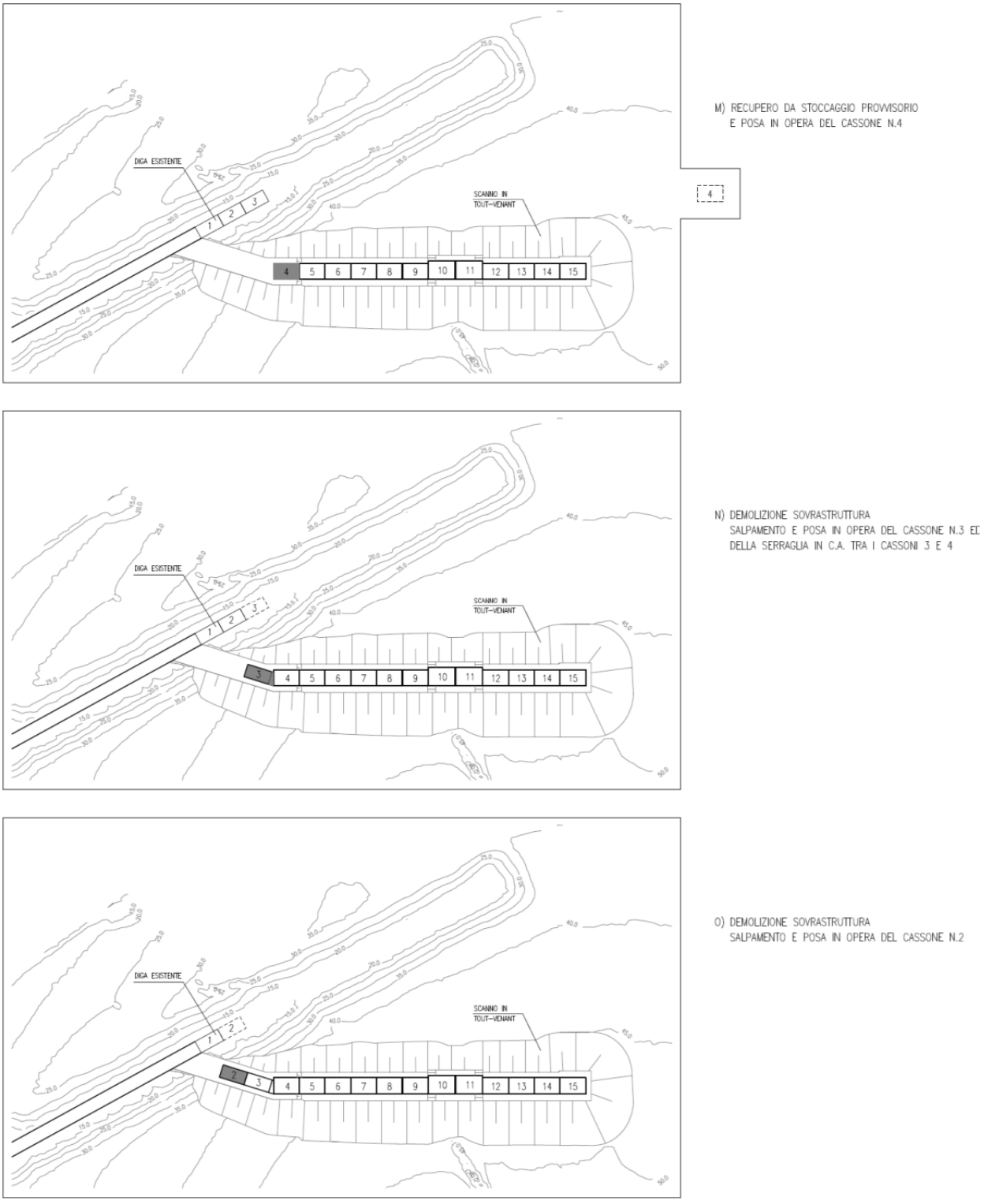
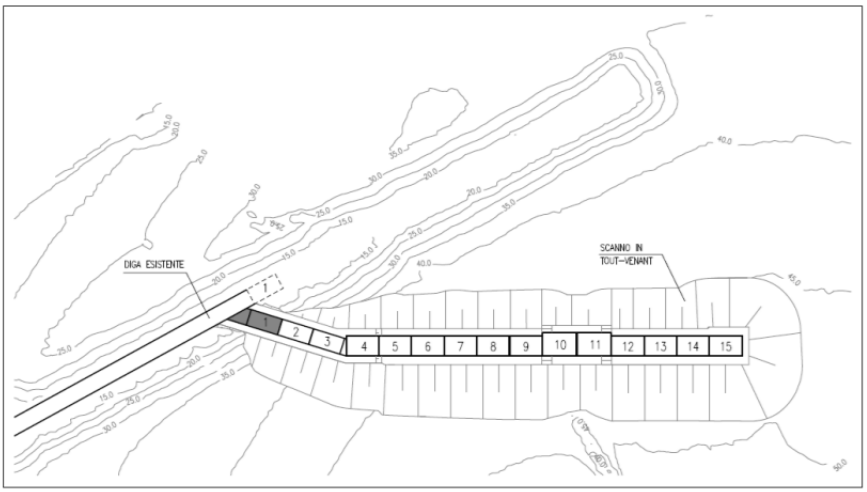
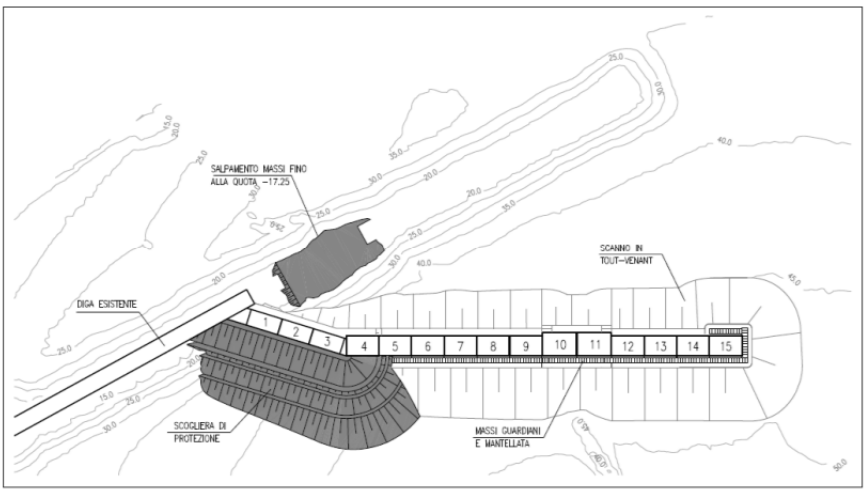


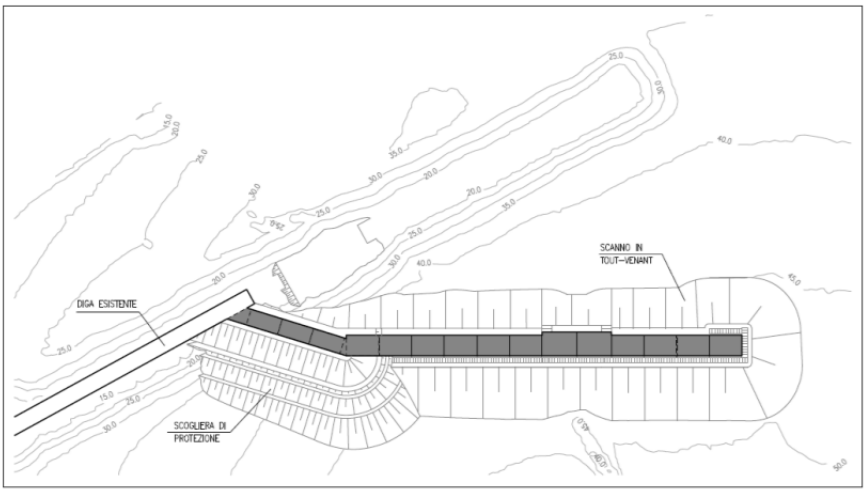
FIG. 7.5 – SEQUENZA COSTRUTTIVA DI MESSA IN OPERA DEI CASSONI – FASI M)-N)-O)



P) DEMOLIZIONE SOVRASTRUTTURA
SALPAMENTO E POSA IN OPERA DEL CASSONE N.1
ESECUZIONE DELLA SERRAGLIA IN C.A. TRA IL CASSONE N.1 E LA DIGA FORANEA ESISTENTE



Q) POSA DEI MASSI GUARDIANI
COMPLETAMENTO MANTELLATE SCANNO D'IMBASAMENTO
ESECUZIONE SCOGLIERA DI PROTEZIONE CASSONI 1, 2, 3
SALPAMENTO MASSI FINO ALLA QUOTA -17.25



R) REALIZZAZIONE SOVRASTRUTTURA IN C.A.

FIG. 7.6 – SEQUENZA COSTRUTTIVA DI MESSA IN OPERA DEI CASSONI – FASI P)-Q)-R)

7.1. Cronoprogramma lavori

ID	Attività	Durata	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Consegna definitiva lavori Diga foranea di prima fase	ms	◊																							
2	Accantieramento e prefabbricazione nuovi cassoni	4			■	■	■	■																		
3	Realizzazione scanni imbasamento diga	24	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4	Demolizione sovrastruttura, salpamento cassoni diga e posa nuovi cassoni	18							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5	Sovrastruttura diga e serraglia di collegamento	8																	■	■	■	■	■	■	■	■
6	Collaudo finale dell'opera	ms																								◊

FIG. 7.7 - CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI