

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

CUP C39B18000060006

CIG 7690329440

RIF. PERIZIA

P.3062

TITOLO PROGETTO

NUOVA DIGA FORANEA DEL PORTO DI GENOVA AMBITO BACINO SAMPIERDARENA

TITOLO ELABORATO:

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE – VOLUME 3

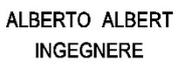
ELABORATO N°:

MI046R-PF-D-A-R-067-3-01

NOME FILE:

MI046R-PF-D-A-R-067-3-01.docx

DATA	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO
16/9/2021	F. Angelotti/S. Scrimieri	A. Cappelletti/P. De Girolamo	A. Lizzadro
REVISIONE	N°	DATA	DESCRIZIONE
	00	31/8/2021	EMISSIONE PER APPROVAZIONE
	01	16/9/2021	REVISIONE A SEGUITO DELLE OSSERVAZIONI DI ADSP

PROGETTISTI	PROGETTAZIONE
<p>Mandatario: </p> <p>Responsabile dell'integrazione delle prestazioni specialistiche Dott. Ing. Antonio Lizzadro</p> <p>   </p> <p>  </p>	<p></p> <p>Dott. Ing. Antonio Lizzadro</p>

D.E.C.	VERIFICATO	VALIDATO R.U.P.	IL RESP. DELL'ATTUAZIONE
Ing. Francesca Arena		Ing. Marco Vaccari	Dott. Umberto Benezzoli
.....

AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MAR LIGURE OCCIDENTALE

REALIZZAZIONE DELLA NUOVA DIGA FORANEA DEL PORTO DI GENOVA AMBITO BACINO DI SAMPIERDARENA

PROGETTAZIONE DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

VOLUME 3

INDICE

4.	ANALISI DELLA COMPATIBILITÀ DELL'OPERA	16
4.1.	Descrizione della metodologia di valutazione adottata	16
4.2.	Popolazione e salute umana	25
4.2.1.	Stima degli impatti in fase di cantiere	25
4.2.2.	Stima degli impatti in fase di esercizio	26
4.2.2.1	Operatività portuale ai terminali	26
4.2.2.2	Sicurezza della navigazione	30
4.3.	Biodiversità	36
4.3.1.	Stima degli impatti in fase di cantiere	36
4.3.1.1	Ambiente terrestre	36
4.3.1.2	Ambiente marino costiero	36
4.3.2.	Stima degli impatti in fase di esercizio	50
4.3.2.1	Ambiente terrestre	50
4.3.2.2	Ambiente marino costiero	53
4.4.	Suolo	55
4.4.1.	Stima degli impatti in fase di cantiere	55
4.4.2.	Stima degli impatti in fase di esercizio	56
4.5.	Geologia	57
4.5.1.	Stima degli impatti in fase di cantiere	57
4.5.2.	Stima degli impatti in fase di esercizio	57
4.6.	Acque dolci superficiali	58
4.6.1.	Stima degli impatti in fase di cantiere	58
4.6.2.	Stima degli impatti in fase di esercizio	58
4.6.2.1	Qualità delle acque	58
4.6.2.2	Idrodinamica delle foci e della sedimentazione nelle aree portuali	58
4.7.	Acque marino costiere	69
4.7.1.	Stima degli impatti in fase di cantiere	69
4.7.1.1	Qualità delle acque	69
4.7.1.2	Propagazione di torbidità	69
4.7.2.	Stima degli impatti in fase di esercizio	87
4.7.2.1	Qualità delle acque	87
4.7.2.2	Condizioni idrodinamiche e moto ondoso	87
4.7.2.3	Dinamica della costa	96
4.7.2.4	Ricambio idrico all'interno del bacino portuale	102
4.7.2.5	Ricambio idrico e influenza delle acque portuali sulle coste adiacenti	114
4.8.	Aria e clima	124
4.8.1.	Stima degli impatti in fase di cantiere	124
4.8.1.1	Area di indagine	124
4.8.1.2	Sistema modellistico utilizzato	125
4.8.1.3	Orografia e uso del suolo	126
4.8.1.4	Dati metereologici	128

	4.8.1.5	Emissioni	139
	4.8.1.6	Risultati - Mappe di concentrazione	150
	4.8.1.7	Risultati - Estrazioni alle stazioni di monitoraggio di ARPA Liguria	160
	4.8.1.8	Conclusioni	162
	4.8.2.	Stima degli impatti in fase di esercizio	162
4.9.		Sistema paesaggistico	164
	4.9.1.	Caratteri del progetto e rapporto con il paesaggio	164
	4.9.2.	Analisi e valutazioni	167
	4.9.3.	Stima degli impatti in fase di cantiere	170
	4.9.4.	Stima degli impatti in fase di esercizio	170
4.10.		Agenti fisici	170
	4.10.1.	Rumore	170
	4.10.1.1	Stima degli impatti in fase di cantiere	170
	4.10.1.2	Stima degli impatti in fase di esercizio	202
	4.10.2.	Vibrazioni	204
	4.10.2.1	Stima degli impatti in fase di cantiere	204
	4.10.2.2	Stima degli impatti in fase di esercizio	204
4.11.		Stima complessiva dell'interazione opera - ambiente	205
	4.11.1.	Fase di cantiere	205
	4.11.2.	Fase di esercizio	205
5.		EFFETTI CUMULATIVI CON ALTRI PROGETTI	207
6.		MITIGAZIONI E COMPENSAZIONI	209
	6.1.	Misure di gestione ambientale e mitigazione in fase di cantiere	209
	6.1.1.	Acque marino costiere - Torbidità	209
	6.1.2.	Acque marino costiere - Rumore	210
	6.1.2.1	Mammiferi marini e rettili marini	210
	6.1.2.2	Fauna ittica	218
	6.2.	Misure di gestione ambientale e mitigazione in fase di esercizio	219
	6.2.1.	Biodiversità - Avifauna	219
	6.2.2.	Acque marino costiere - Linea di costa	220
	6.3.	Compensazioni	221
	6.4.	Stima complessiva dell'interazione opera - ambiente a valle dell'applicazione delle misure di mitigazione e compensazione	221
	6.4.1.	Fase di cantiere	222
	6.4.2.	Fase di esercizio	222
7.		PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE	224
	7.1.	Biodiversità	224
	7.1.1.	Monitoraggio dell'avifauna	224
	7.1.2.	Monitoraggio delle biocenosi bentoniche	225
	7.1.3.	Monitoraggio delle fanerogame marine	226
	7.1.4.	Monitoraggio dei mammiferi marini e dei rettili marini	228
	7.1.5.	Monitoraggio della fauna ittica	230
	7.2.	Acque marino costiere	230
	7.2.1.	Monitoraggio dell'evoluzione del litorale	230
	7.2.2.	Monitoraggio della torbidità	233

7.3.	Agenti fisici - Emissioni sonore in mare	234
8.	BIBLIOGRAFIA E FONTI CONSULTATE	235

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 4-1 - Downtime alle banchine portuali in relazione ad un'altezza d'onda limite di 0,5 m. Stato di fatto e soluzione d'intervento fase a) di costruzione	28
Figura 4-2 - Downtime alle banchine portuali in relazione ad un'altezza d'onda limite di 0,5 m. Stato di fatto e soluzione d'intervento fase b) di costruzione	28
Figura 4-3 - Altezze d'onda alle banchine portuali per eventi con tempo di ritorno di 10 anni. Stato di fatto e soluzione d'intervento fase a) di costruzione	29
Figura 4-4 - Altezze d'onda alle banchine portuali per eventi con tempo di ritorno di 10 anni. Stato di fatto e soluzione d'intervento fase b) di costruzione	29
Figura 4-5 - Ponte di comando della nave del simulatore (a sinistra) e di un rimorchiatore (a destra)	31
Figura 4-6 - Manovre di accesso. Accosto al terminale di Calata Bettolo	34
Figura 4-7 - Manovre di accesso. Accosto al terminale di Calata Massaua	35
Figura 4-8 - Manovre di accesso. Accosto al terminale di Ponte Canepa a partire dal nuovo avamposto	35
Figura 4-9 - Dominio di calcolo rappresentativo della soluzione di progetto in alto fase a (S3.a), in basso fase b (S3.b)	60
Figura 4-10 - Soluzione di progetto - fase A). Campo di velocità ottenuto per gli eventi di piena dei torrenti Polcevera e Bisagno con tempo di ritorno 10 anni. ore 24:00 (colmo di piena Polcevera)	62
Figura 4-11 - Differenza del campo idrodinamico tra la soluzione di progetto in fase a) e lo stato attuale per gli eventi di piena con $Tr = 10$ anni in corrispondenza del colmo del Bisagno alle ore 21:00 (sinistra) e del Polcevera alle ore 24:00 (destra)	63
Figura 4-12 - Differenza del campo idrodinamico tra la soluzione di progetto in fase b) e lo stato attuale per gli eventi di piena con $Tr = 10$ anni in corrispondenza del colmo del Bisagno (sinistra) e del Polcevera (destra).	64
Figura 4-13 - Sedimentazione ed erosione cumulata ottenuta alla foce del Polcevera per la portata con $Tr = 10$ anni dopo 36 ore di simulazione. In alto soluzione di progetto in fase a (S3.a), in basso in fase b (S3.b)	66
Figura 4-14 - Sedimentazione ed erosione cumulata ottenuta alla foce del Bisagno per la portata con $Tr = 10$ anni dopo 36 ore di simulazione. (diagramma a sinistra) soluzione di progetto in fase a, (diagramma a destra) soluzione di progetto in fase b (S3.b)	67
Figura 4-15 - Variazione, rispetto allo stato attuale, della concentrazione del sedimento in sospensione (al colmo di piena del Polcevera) ottenuta	

	per la soluzione di progetto in occasione di un evento di piena simultanea del Polcevera e del Bisagno con $tr = 10$ anni. fase a) (a sinistra) e fase b) (a destra)	68
Figura 4-16	- Variazione, rispetto allo stato attuale, della sedimentazione e dell'erosione cumulata all'interno del dominio di calcolo ottenuta per la soluzione di progetto al termine delle 36 ore di simulazione in occasione di un evento di piena simultaneo del Polcevera e del Bisagno con $tr = 10$ anni. fase a) (a sinistra) e fase b) (a destra)	68
Figura 4-17	- Schematizzazione qualitativa del processo di risospensione per attività di consolidamento del fondale	70
Figura 4-18	- Schematizzazione qualitativa del processo di risospensione per attività di rimozione o dragaggio	70
Figura 4-19	- Localizzazione delle aree sensibili	72
Figura 4-20	- Ubicazione delle sorgenti di risospensione utilizzate per l'analisi della lavorazione di consolidamento dei terreni di fondazione	76
Figura 4-21	- Ubicazione delle sorgenti di risospensione utilizzate per l'analisi della lavorazione di rimozione dello scanno di imbasamento della diga attuale	76
Figura 4-22	- Ubicazione delle sorgenti di risospensione utilizzate per l'analisi della lavorazione di dragaggio del bacino di Sampierdarena e nell'avamposto	77
Figura 4-23	- Campi idrodinamici relativi al vento frequente di scirocco (in alto) e di libeccio (in basso) utilizzati per gli scenari delle lavorazioni di consolidamento e dragaggio	78
Figura 4-24	- Campi idrodinamici relativi al vento frequente di scirocco (in alto) e di libeccio (in basso) utilizzati per gli scenari delle lavorazioni di rimozione dello scanno di imbasamento della diga esistente	79
Figura 4-25	- Esempio di propagazione di torbidità per il consolidamento dei terreni di fondazione nel caso di vento frequente proveniente da scirocco. I simboli chiari indicano i traccianti passivi depositati sul fondo	80
Figura 4-26	- Esempio di Propagazione di torbidità per il consolidamento dei terreni di fondazione nel caso di vento frequente proveniente da Libeccio. I simboli chiari indicano i traccianti passivi depositati sul fondo.	81
Figura 4-27	- Consolidamento dei terreni di fondazione. Risultati numerici in termini di concentrazione media sulla profondità (kg/m^3). Vento frequente da scirocco (in alto) e da Libeccio (in basso)	83
Figura 4-28	- Rimozione dello scanno d'imbasamento della diga esistente. Risultati numerici in termini di concentrazione media sulla profondità (kg/m^3). Vento frequente da scirocco (in alto) e da Libeccio (in basso)	84

Figura 4-29 - Dragaggio con tecnica tradizionale con benna. Risultati numerici in termini di concentrazione media sulla profondità (kg/m^3). Vento frequente da scirocco (in alto) e da Libeccio (in basso)	85
Figura 4-30 - Dragaggio con tecnica tradizionale con benna (in alto) e con tecnica ambientale (in basso). Risultati numerici in termini di concentrazione media sulla profondità (kg/m^3). Vento frequente da libeccio	86
Figura 4-31 - Vento di scirocco (Scenario 2). campo di velocità mediato sulla verticale ottenuto per la configurazione di progetto in fase a) (in alto) e in fase b) (in basso). i grafici di destra mostrano la variazione di velocità con la profondità nei punti di controllo lungo la nuova rotta di accesso	89
Figura 4-32 - Vento di libeccio (Scenario 3). campo di velocità mediato sulla verticale ottenuto per la configurazione di progetto in fase a) (in alto) e in fase b) (in basso). i grafici di destra mostrano la variazione di velocità con la profondità nei punti di controllo lungo la nuova rotta di accesso	90
Figura 4-33 - Area simulata con il modello numerico CGWAVE e batimetria per la configurazione di progetto in fase a) e in fase b)	93
Figura 4-34 - Risultati delle simulazioni di propagazione del moto ondoso in relazione alla soluzione di progetto in fase a) per stati di mare con tempo di ritorno 10 anni. (a) stato di mare da libeccio/mezzogiorno (b) stato di mare da scirocco	94
Figura 4-35 - Risultati delle simulazioni di propagazione del moto ondoso in relazione alla soluzione di progetto in fase b) per stati di mare con tempo di ritorno 10 anni. (a) stato di mare da libeccio/mezzogiorno (b) stato di mare da scirocco	94
Figura 4-36 - Valori massimi di altezza d'onda significativa all'interno del porto di Genova per stati di mare con tempo di ritorno 10 anni. Comparazione tra lo stato attuale e la Soluzione di progetto	95
Figura 4-37 - Clima ondometrico sottocosta e area costiera schermata dal moto ondoso incidente ad opera delle dighe foranee (area campita in rosa) nella configurazione di progetto	98
Figura 4-38 - Risultati delle simulazioni condotte per la configurazione di progetto con il modello integrato di propagazione del moto ondoso e circolazione idrodinamica Delft3d. (in alto) campo di moto ondoso ottenuto per lo stato di mare rappresentativo dell'onda climatica equivalente. (in basso) circolazione idrodinamica indotta dal moto ondoso frangente	99
Figura 4-39 - Variazione del campo di altezza d'onda significativa ottenuto per lo stato di mare rappresentativo dell'onda climatica equivalente sottoflutto all'imboccatura di levante in presenza della nuova diga foranea	100
Figura 4-40 - Variazione della circolazione idrodinamica indotta dallo stato di mare rappresentativo dell'onda climatica equivalente in presenza della nuova diga foranea	100

Figura 4-41 - Tracciamento della curva parametrica rappresentativa del profilo di equilibrio di Silvester e Hsu per lo stato attuale e per la configurazione di progetto	101
Figura 4-42 - Dominio di calcolo utilizzato per le simulazioni con i modelli numerici di idrodinamica RMA-2 e di qualità delle acque RMA-4 in relazione alla configurazione di progetto in fase a)	105
Figura 4-43 - Dominio di calcolo utilizzato per le simulazioni con i modelli numerici di idrodinamica RMA-2 e di qualità delle acque RMA-4 in relazione alla soluzione di progetto in fase b)	105
Figura 4-44 - Confronto dei campi idrodinamici ottenuti per lo stato attuale e per la soluzione di progetto in fase a) e in fase b) in presenza della sola marea astronomica durante la fase di flusso	107
Figura 4-45 - Confronto dei campi idrodinamici ottenuti per lo stato attuale e per la soluzione di progetto in fase a) e in fase b) in presenza della sola marea astronomica durante la fase di riflusso	108
Figura 4-46 - Confronto tra la concentrazione del contaminante conservativo ottenuta per lo stato attuale e per la soluzione di progetto in fase a) dopo 10, 40 e 80 giorni di simulazione, in presenza della sola marea astronomica	110
Figura 4-47 - Confronto tra la concentrazione del contaminante conservativo ottenuta per lo stato attuale e per la soluzione di progetto in fase a) dopo 10, 40 e 80 giorni di simulazione, in presenza della sola marea astronomica	111
Figura 4-48 - Confronto dell'evoluzione temporale della concentrazione del soluto passivo ottenuta con il modello di simulazione RMA-4 nei punti di controllo localizzati all'interno del bacino portuale per la configurazione attuale e per la soluzione di progetto in fase a) in fase b)	112
Figura 4-49 - Confronto tra i campi di velocità per lo stato attuale e per la soluzione di progetto in fase a) in occasione degli eventi di piena dei torrenti Polcevera e Bisagno con tempo di ritorno 2 anni per i diversi scenari di simulazione presi in esame	116
Figura 4-50 - Confronto tra i campi di velocità per lo stato attuale e per la soluzione di progetto in fase a) in occasione degli eventi di piena dei torrenti Polcevera e Bisagno con tempo di ritorno 2 anni per i diversi scenari di simulazione presi in esame	117
Figura 4-51 - Ubicazione dei punti di controllo per il confronto dei risultati	118
Figura 4-52 - Confronto tra i campi di concentrazione del soluto passivo a 10 ore dal termine degli eventi di piena simulati ottenuti per lo stato attuale (sinistra) e per la soluzione di progetto in fase a) per i diversi scenari di simulazione presi in esame	119
Figura 4-53 - Confronto tra i campi di concentrazione del soluto passivo a 10 ore dal termine degli eventi di piena simulati ottenuti per lo stato attuale (sinistra) e per la soluzione di progetto in fase b). Scenari: 1- scirocco, 2-libeccio, 3-termica estiva	120

Figura 4-54 - Confronto dell'andamento temporale della concentrazione del soluto passivo tra lo stato attuale e la soluzione di progetto in fase a) e fase b) nei punti di controllo ubicati in corrispondenza delle imboccature portuali esistenti in relazione agli eventi di piena dei torrenti Polcevera e Bisagno con tempo di ritorno 2 anni per i diversi scenari meteomarini presi in esame	121
Figura 4-55 - Andamento temporale (sinistra) e riduzione percentuale (destra) della concentrazione del soluto passivo, rispetto allo stato attuale, per la soluzione di progetto in fase a) e in fase b) ottenuta nei punti target ambientali localizzati in prossimità delle "spiagge di Voltri" (C1, C2) e in prossimità di Albaro e Quarto dei Mille (C3, C5)	122
Figura 4-56 - Dominio di calcolo per la valutazione dell'impatto sulla qualità dell'aria in fase di cantiere	124
Figura 4-57 - Rappresentazione tridimensionale dell'orografia nel dominio di calcolo	127
Figura 4-58 - Dominio di calcolo con uso del suolo CORINE 21 classi a 100 m di risoluzione e isolinee dei livelli orografici	127
Figura 4-59 - Domini di calcolo per le simulazioni MINNI 2010	129
Figura 4-60 - Area complessiva di copertura dei punti meteorologici di MINNI Nord e posizionamento (rettangolo rosso) del dominio di calcolo per le simulazioni di dispersione	130
Figura 4-61 - Dettaglio di copertura del grigliato MINNI Nord sul dominio target di calcolo della dispersione, rappresentato dal rettangolo rosso	130
Figura 4-62 - Rosa dei venti climatologica misurata dalla stazione RMN di Genova Porto (periodo 2015-2019, sinistra) ed estratta nello stesso punto dal dataset MINNI (anno 2010, destra)	132
Figura 4-63 - Rosa dei venti climatologica misurata dalla stazione ARPAL di Genova Punta Vagno (periodo 2015-2019, sinistra) ed estratta nello stesso punto dal dataset MINNI (anno 2010, destra)	132
Figura 4-64 - Rosa dei venti climatologica misurata dalla stazione SMAM di Genova Aeroporto (periodo 2015-2019, sinistra) ed estratta nello stesso punto dal dataset MINNI (anno 2010, destra)	133
Figura 4-65 - Rosa dei venti climatologica misurata dalla stazione RMN di Genova Porto (periodo 2015-2019, sinistra) ed estratta nello stesso punto dal dataset MINNI (anno 2010, destra). Dati Diurni	134
Figura 4-66 - Rosa dei venti climatologica misurata dalla stazione RMN di Genova Porto (periodo 2015-2019, sinistra) ed estratta nello stesso punto dal dataset MINNI (anno 2010, destra). Dati Notturni	134
Figura 4-67 - Campo di vento in prossimità del suolo calcolati il giorno 1/7/2010 alle ore 02:00. Per maggiore chiarezza, il campo viene mostrato con risoluzione orizzontale di 300 m. Velocità del vento secondo la scala colorata in m/s sulla destra	136
Figura 4-68 - Campo di vento in prossimità del suolo calcolati il giorno 1/7/2010 alle ore 12:00. Per maggiore chiarezza, il campo viene mostrato con	

	risoluzione orizzontale di 300 m. Velocità del vento secondo la scala colorata in m/s sulla destra	136
Figura 4-69	- Campo bidimensionale della velocità di frizione u^* calcolato il giorno 1/7/2010 alle ore 02:00. Valori in m/s, secondo la scala colorata a destra	138
Figura 4-70	- Campo bidimensionale dell'altezza dello strato limite HMIX calcolato il giorno 1/7/2010 alle ore 02:00. Valori in m, secondo la scala colorata a destra	138
Figura 4-71	- Campo bidimensionale della lunghezza di Monin-Obukhov L calcolato il giorno 1/7/2010 alle ore 02:00. Valori in m, secondo la scala colorata a destra	139
Figura 4-72	- Campo bidimensionale della velocità convettiva di scala w^* calcolato il giorno 1/7/2010 alle ore 02:00. Valori in m/s, secondo la scala colorata a destra	139
Figura 4-73	- Albero decisionale per la stima delle emissioni derivanti attività navali	143
Figura 4-74	- Fasi dei movimenti navali considerate per la stima delle emissioni (da EMEP/EEA, 2019)	146
Figura 4-75	- Schematizzazione delle attività considerate nella simulazione e loro localizzazione	150
Figura 4-76	- Campo delle concentrazioni medie annuali di NOx. Valori secondo la scala colorata a destra	152
Figura 4-77	- Campo del 99.8 percentile delle concentrazioni medie orarie di NOx. Valori secondo la scala colorata a destra	153
Figura 4-78	- Campo delle concentrazioni medie annuali di SO ₂ . Valori secondo la scala colorata a destra	154
Figura 4-79	- Campo del 99.7 percentile delle concentrazioni medie orarie di SO ₂ . Valori secondo la scala colorata a destra	154
Figura 4-80	- Campo del 99.2 percentile delle concentrazioni medie giornaliere di SO ₂ . Valori secondo la scala colorata a destra	155
Figura 4-81	- Campo del massimo delle concentrazioni media mobile su 8 ore di CO. Valori secondo la scala colorata a destra	155
Figura 4-82	- Campo delle concentrazioni medie annuali di PM10. Valori secondo la scala colorata a destra	156
Figura 4-83	- Campo del 90.4 percentile delle concentrazioni medie giornaliere di PM10. Valori secondo la scala colorata a destra	157
Figura 4-84	- Campo delle concentrazioni medie annuali di PM2,5. Valori secondo la scala colorata a destra	158
Figura 4-85	- Campo delle concentrazioni medie annuali di NMVOC. Valori secondo la scala colorata a destra	159
Figura 4-86	- Scenario 1 (demolizione della diga esistente). Ubicazione del recettore sensibile (in verde) e non sensibile (in azzurro) prossimi alle aree di intervento	175

Figura 4-87 - Scenario 2 (costruzione della nuova diga). Ubicazione del recettore sensibile (in verde) e non sensibile (in azzurro) prossimi alle aree di intervento	176
Figura 4-88 - Scenario 3 (realizzazione del parco eolico). Ubicazione del recettore sensibile (in verde) e non sensibile (in azzurro) prossimi alle aree di intervento	177
Figura 4-89 - Scenario 4 (prefabbricazione dei cassoni e trattamento del materiale da demolizione). Ubicazione del recettore sensibile (in verde) e non sensibile (in azzurro) prossimi alle aree di intervento	178
Figura 4-90 - Fenomeni delle esplosioni subacquee (UNDEX): onda d'urto, alta pressione e movimento delle bolle (Fonte: Helal <i>et al.</i> , 2019)	185
Figura 4-91 - Tipologie di cartucce tipo Autostem	186
Figura 4-92 - Zone teoriche di influenza del rumore sui mammiferi marini (Fonte: Richardson <i>et al.</i> , 1995)	190
Figura 4-93 - Ubicazione del recettore sensibile (in verde) e non sensibile (in azzurro) prossimi al parco eolico	203
Figura 6-1 - Zone con cortina di bolle rilasciata da un tubo perforato poggiato sul fondo (sinistra) e doppia cortina di bolle utilizzata intorno ad una imbarcazione (a destra) (Fonte: © Hydrotechnik Lübeck GmbH)	212
Figura 6-2 - Sistema HSD di 40 m di lunghezza (Fonte: © OffNoise-HSD-Systems GmbH)	213
Figura 6-3 - Array di risonatori ad aria (Fonte: © AdBm Technologies)	214
Figura 6-4 - Esempi di cofferdam senza acqua (Fonte: Jiménez-Arranz <i>et al.</i> , 2020)	215
Figura 6-5 - Estensione della zona di mitigazione per i mammiferi marini in caso di utilizzo di esplosivi (Fonte: JNCC, 2010)	216
Figura 7-1 - Spiagge a levante interessate dal monitoraggio	231

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 4-1 - Scala di valutazione degli impatti	19
Tabella 4-2 - Fase di cantiere. Matrice delle interazioni fra azioni di progetto ed effetti potenziali sull'ambiente	20
Tabella 4-3 - Fase di esercizio. Matrice delle interazioni fra azioni di progetto ed effetti potenziali sull'ambiente	24
Tabella 4-4 - Popolazione e salute umana. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere.	26
Tabella 4-5 - Popolazione e salute umana. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di esercizio. Prima parte.	30
Tabella 4-6 - Condizioni meteomarine per le simulazioni di manovra di navigazione	32
Tabella 4-7 - Popolazione e salute umana. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di esercizio. Seconda parte	36
Tabella 4-8 - Biodiversità. Ambiente terrestre. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di esercizio	36
Tabella 4-9 - Biodiversità. Biocenosi bentoniche di substrato duro. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere	41
Tabella 4-10 - Biodiversità. Biocenosi bentoniche di substrato molle. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere	41
Tabella 4-11 - Biodiversità. Fanerogame marine. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere	48
Tabella 4-12 - Biodiversità. Fauna ittica. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere	50
Tabella 4-13 - Biodiversità. Ambiente terrestre. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di esercizio	53
Tabella 4-14 - Biodiversità. Biocenosi bentoniche di substrato duro. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di esercizio	54
Tabella 4-15 - Biodiversità. Fauna ittica. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di esercizio	55
Tabella 4-16 - Suolo. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di esercizio	56
Tabella 4-17 - Acque dolci superficiali. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di esercizio	68
Tabella 4-18 - Acque marino costiere. Qualità delle acque. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere	69
Tabella 4-19 - Scenari meteomarinari utilizzati per l'analisi della propagazione della torbidità	75
Tabella 4-20 - Acque marino costiere. Propagazione di torbidità. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere	87
Tabella 4-21 - Acque marino costiere. Condizioni idrodinamiche e moto ondoso nel bacino portuale. Sintesi della valutazione degli impatti in fase di esercizio	96

Tabella 4-22 - Acque marino costiere. Dinamica della costa. Sintesi della valutazione degli impatti in fase di esercizio.	102
Tabella 4-23 - Confronto tra il tempo di ricambio stimato con il metodo globale del prisma di marea per la configurazione attuale e quello ottenuto per la configurazione di progetto in fase a) e in fase b)	103
Tabella 4-24 - Valori del tempo di ricambio ottenuti nei punti di controllo ubicati all'interno del bacino portuale per lo stato attuale e per la soluzione di progetto in fase a) e in fase b)	113
Tabella 4-25 - Acque marino costiere. Ricambio idrico del bacino portuale. Sintesi della valutazione degli impatti in fase di esercizio	114
Tabella 4-26 - Scenari di simulazione presi in esame per la valutazione del ricambio idrico in relazione alla dispersione di un inquinante immesso dai torrenti Polcevera e Bisagno	115
Tabella 4-27 - Acque marino costiere. Ricambio idrico portuale e influenza delle acque portuali sulle coste adiacenti. Sintesi della valutazione degli impatti in fase di esercizio	124
Tabella 4-28 - Emissioni (t/anno) per singole attività di cantiere	148
Tabella 4-29 - valori degli inquinanti massimi nel dominio di interesse generati dalla fase di cantiere simulata	160
Tabella 4-30 - Valori degli inquinanti normati estratti presso le centraline nel dominio di interesse generati dalla fase di cantiere simulata. Valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	161
Tabella 4-31 - Confronto dei valori degli inquinanti normati misurati (nero) ed estratti (blu) presso le centraline nel dominio di interesse. Valori in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	162
Tabella 4-32 - Aria e clima. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere	162
Tabella 4-33 - Quadro di sintesi dell'impianto eolico	163
Tabella 4-34 - Aria e clima. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di esercizio	164
Tabella 4-35 - Sistema paesaggistico. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere	170
Tabella 4-36 - Sistema paesaggistico. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di esercizio	170
Tabella 4-37 - Scenario 1 (demolizione della diga esistente). Spettri di emissione dei mezzi e macchinari d'opera in termini di potenza sonora (L_w (dB))	173
Tabella 4-38 - Scenario 2 (costruzione della nuova diga). Spettri di emissione dei mezzi e macchinari d'opera in termini di potenza sonora (L_w (dB))	174
Tabella 4-39 - Scenario 3 (realizzazione del parco eolico) Spettri di emissione dei mezzi e macchinari d'opera in termini di. potenza sonora (L_w (dB))	174
Tabella 4-40 - Scenario 4 (prefabbricazione dei cassoni e trattamento del materiale da demolizione). Spettri di emissione dei mezzi e macchinari d'opera in termini di potenza sonora (L_w (dB))	174

Tabella 4-41 - Agenti fisici. Emissioni sonore a terra. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere	179
Tabella 4-42 - Tipologie di rumore continuo o impulsivo indotte dalle attività di cantiere	181
Tabella 4-43 - Caratteristiche del rumore emesso da un rimorchiatore che traina una chiatta a pieno carico e chiatta vuota (Fonte: Borsani E Farchi, 2011b)	183
Tabella 4-44 - Principali fonti di rumore subacqueo generato durante le fasi di cantiere (Fonti: Richardson <i>et al.</i> , 1995; Götz <i>et al.</i> , 2009; Borsani e Farchi, 2011b; UNEP-CBD, 2012; MMO, 2015)	187
Tabella 4-45 - Potenziali effetti del rumore subacqueo sui mammiferi marini (Fonte: Bertolini <i>et al.</i> , 2012; modificata)	189
Tabella 4-46 - Potenziali valori soglia dei suoni impulsivi per i mammiferi marini LF e HF (Fonte: MFS, 2014, 2018; Southall <i>et al.</i> , 2019). Soglie $L_{p,rms}$ non pesate, $L_{E,p,24h}$ pesate e $L_{p,pk}$ non pesate	193
Tabella 4-47 - Potenziali valori soglia dei suoni non impulsivi per i mammiferi marini LF e HF (Fonte: MFS, 2014, 2018; Southall <i>et al.</i> , 2019). Soglie $L_{p,rms}$ non pesate, $L_{E,p,24h}$ pesate.	194
Tabella 4-48 - Agenti fisici. Emissioni sonore in mare. Mammiferi marini. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere.	195
Tabella 4-49 - Valori soglia dei suoni non impulsivi per i rettili marini (Fonte: Finneran <i>et al.</i> , 2019). Soglie $L_{E,p,24h}$ pesate.	196
Tabella 4-50 - Agenti fisici. Emissioni sonore in mare. Rettili marini. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere	196
Tabella 4-51 - Studi che hanno analizzato gli effetti temporali del rumore (spostamenti temporanei della soglia, TTS) sulle capacità uditive dei pesci ossei dovute al mascheramento	199
Tabella 4-52 - Soglie di livello sonoro proposte alle quali si verificano mortalità e lesioni	199
Tabella 4-53 - Soglie di rumore per la sorgente “pile driving” riferibili ai diversi effetti che possono generare nella fauna ittica	200
Tabella 4-54 - Soglie di rumore per la sorgente esplosione riferibili ai diversi effetti che possono generare nella fauna ittica	201
Tabella 4-55 - Agenti fisici. Emissioni sonore in mare. Fauna ittica. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere	201
Tabella 4-56 - Pale eoliche. Spettro di emissione in termini di potenza sonora (L_w (dB))	202
Tabella 4-57 - Agenti fisici. Emissioni sonore a terra. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di esercizio	204
Tabella 6-1 - Acque marino costiere. Propagazione di torbidità. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere applicando le misure di mitigazione	210

Tabella 6-2 - Agenti fisici. Emissioni sonore in mare. Mammiferi marini. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere applicando le misure di mitigazione	217
Tabella 6-3 - Agenti fisici. Emissioni sonore in mare. Rettili marini. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere applicando le misure di mitigazione	218
Tabella 6-4 - Agenti fisici. Emissioni sonore in mare. Fauna ittica. Sintesi della valutazione degli impatti nella fase di cantiere applicando le misure di mitigazione	219
Tabella 6-5 - Biodiversità. Ambiente terrestre. sintesi della valutazione degli impatti residui nella fase di esercizio applicando le misure di mitigazione	220
Tabella 6-6 - Acque marino costiere. linea di costa. sintesi della valutazione degli impatti residui nella fase di esercizio applicando le misure di mitigazione	221
Tabella 7-1 - Piano di monitoraggio previsto per l'avifauna	225

4. ANALISI DELLA COMPATIBILITÀ DELL'OPERA

4.1. Descrizione della metodologia di valutazione adottata

Per la valutazione degli impatti è stato fatto riferimento alla metodologia RIAM (“Rapid Impact Assesment Matrix”) proposta dal Danish Hydraulic Institute (DHI) e già applicata in diversi contesti internazionali.

La procedura RIAM parte dall’assunto che diversi criteri di valutazione sono comuni a tutte le procedure di valutazione ambientale e attraverso una loro classificazione chiara e rigorosa, diventa possibile rendere la valutazione più consistente, precisa e ripercorribile.

Il metodo si basa quindi su una definizione standard dei criteri di valutazione importanti, nonché sui mezzi con cui i valori semi-quantitativi per ciascuno di questi criteri possono essere raccolti per fornire un punteggio accurato e indipendente per ogni condizione.

Gli impatti delle attività di progetto sono valutati rispetto alle componenti ambientali, e per ogni componente viene determinato un punteggio (usando i criteri definiti), che fornisce una misura dell’impatto atteso dalla componente.

Punto di partenza è l’identificazione per la fase di costruzione e per la fase di esercizio, delle interazioni tra l’opera e l’ambiente attraverso l’elaborazione di una matrice in cui sono riportate le principali azioni di progetto e gli effetti potenziali ad esse associati.

Le matrici predisposte sono riportate nelle successive Tabella 4-2 e Tabella 4-3.

Come già anticipato, nel caso della fase di esercizio, considerata per lo sviluppo finale dell’opera (fase A + fase B), non è del tutto appropriato parlare di azioni di progetto in quanto non si può parlare di un vero e proprio esercizio dell’opera; gli effetti diretti della nuova diga foranea sono infatti riconducibili alla sola presenza dell’opera nel contesto territoriale ed alla presenza e relativo funzionamento del parco eolico.

I criteri di valutazione degli impatti rientrano in due gruppi:

(A) Criteri principali che possono cambiare individualmente il punteggio ottenuto.

(B) Criteri secondari, che individualmente non cambiano il punteggio ottenuto.

Il valore attribuito a ciascuno di questi gruppi di criteri è determinato dall’utilizzo di una serie di semplici formule. Queste formule permettono di determinare i punteggi dei

singoli componenti su una base definita, rendendo quindi omogeneo e trasparente l'assegnazione del giudizio finale, che è ancorato ad un punteggio numerico.

I criteri principali (A) comprendono:

A1: valore della componente ambientale: il valore è stimato con riferimento alla zona alterata dal progetto

La scala prevede 5 classi:

4 = importante a livello nazionale/internazionale

3 = importante a livello regionale/nazionale

2 = importante in un contesto più ampio di quello locale

1 = importante solo a livello locale

0 = non importante.

A2 magnitudo dell'alterazione: la magnitudo è intesa come riduzione od incremento della qualità della componente rispetto alla condizione di riferimento (tipicamente lo "status quo")

La scala prevede 7 classi, visto che l'effetto può essere positivo o negativo rispetto alla situazione di riferimento:

+ 3 = miglioramento elevato

+ 2 = miglioramento significativo

+ 1 = miglioramento

0 = nessuna alterazione apprezzabile

- 1 = peggioramento

- 2 = peggioramento significativo

- 3 = peggioramento elevato

I criteri secondari (B) comprendono:

B1 permanenza della alterazione, con riferimento alla sua durata nel tempo

La scala prevede 3 classi:

1 = nessuna variazione/non applicabile

2 = temporaneo

3 = permanente

B2: reversibilità della alterazione

La scala prevede 3 classi:

1 = nessuna variazione/non applicabile

2 = reversibile

3 = irreversibile

B3: cumulatività dell'alterazione. Si considera se l'effetto è singolo o se si somma in modo sinergico con effetti indotti da altri progetti/azioni, amplificandosi

1 = nessuna variazione/non applicabile

2 = non cumulativo/singolo

3 = cumulativo/sinergico

Il valore complessivo dell'impatto per ogni singola componente è ottenuto mediante la formula seguente, in cui si esegue il prodotto tra i criteri principali ed i criteri secondari:

impatto complessivo sulla componente: "i" = (A1 * A2) * (B1 + B2 + B3)

È immediato notare che i criteri principali sono moltiplicati fra loro e quindi pesano molto di più degli altri (che sono sommati fra loro) nella definizione del risultato, come previsto dal metodo.

In base al risultato numerico ottenuto si assegna un giudizio finale sull'impatto, secondo la scala riportata nella Tabella seguente. Come si vede il giudizio è assegnato in base al punteggio numerico dell'impatto, confrontato con gli intervalli di riferimento. L'utilizzo di intervalli anziché di singoli valori è stato adottato per rendere consistente la valutazione finale.

Chiaramente, in base al segno, l'impatto sarà classificato come positivo (segno "+") o negativo (segno "-").

TABELLA 4-1 - SCALA DI VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI

Valore complessivo dell'impatto	Giudizio finale
72- 108	Molto Alto
36-71	Alto
19-35	Medio
10-18	Basso
1-9	Lieve
0	Nessun Effetto

È così possibile produrre una matrice complessiva degli impatti legati ad un progetto, in cui per ogni componente ambientale viene evidenziato l'impatto atteso, adottando la medesima terminologia e metodologia di calcolo e rendendo quindi il giudizio omogeneo e trasparente, visto che la soggettività del giudizio è immediatamente analizzabile esaminando i punteggi numerici attribuiti ad ogni criterio.

Laddove in base ai risultati delle valutazioni condotte e di cui ai Paragrafi seguenti si è reso necessario introdurre specifiche misure di mitigazione (Capitolo 5), la metodologia di valutazione sopra esposta è stata riapplicata al fine di definire l'impatto residuo (Paragrafo 6.4).

Nuova diga foranea del porto di Genova - ambito bacino di Sampierdarena
 Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica
Studio di Impatto Ambientale - Volume 3

Rev.01

Data: Settembre 2021

El. MI046R-PF-D-A-R-067-3-01

TABELLA 4-2 - FASE DI CANTIERE. MATRICE DELLE INTERAZIONI FRA AZIONI DI PROGETTO ED EFFETTI POTENZIALI SULL'AMBIENTE

Azioni di progetto	Effetti potenziali sull'ambiente																
	Emissione di inquinanti in atmosfera	Emissione di polveri in atmosfera	Emissioni sonore a terra	Emissioni sonore in mare	Propagazione di torbidità	Modifica della qualità dei sedimenti	Inquinamento delle acque marino costiere	Disturbo della fauna terrestre (avifauna)	Modifica di habitat pregiati (fanerogame marine)	Danni fisici o disturbo dei mammiferi marini e dei rettili marini	Disturbo della fauna ittica	Disturbo delle biocenosi bentoniche	Perdita di habitat	Interferenze con il transito delle navi	Interferenze con le attività portuali	Alterazione della percezione visiva	
Allestimento delle aree di cantiere a terra	X	X	X														X
Demolizione con esplosivi depotenziati dei tratti di diga esistente				X						X	X		X	X	X		
Rimozione dell'attuale scanno di imbasamento	X	X		X	X					X	X						
Movimentazione di mezzi e macchinari d'opera marittimi (pontoni, bettoline, ecc.)	X	X		X			X			X	X			X	X	X	
Consolidamento del fondale mediante colonne in ghiaia	X	X		X	X				X	X	X	X					

Azioni di progetto	Effetti potenziali sull'ambiente															
	Emissione di inquinanti in atmosfera	Emissione di polveri in atmosfera	Emissioni sonore a terra	Emissioni sonore in mare	Propagazione di torbidità	Modifica della qualità dei sedimenti	Inquinamento delle acque marino costiere	Disturbo della fauna terrestre (avifauna)	Modifica di habitat pregiati (fanerogame marine)	Danni fisici o disturbo dei mammiferi marini e dei rettili marini	Disturbo della fauna ittica	Disturbo delle biocenosi bentoniche	Perdita di habitat	Interferenze con il transito delle navi	Interferenze con le attività portuali	Alterazione della percezione visiva
Trasporto di materiale sciolto da cava via mare	X	X					X							X	X	
Carico del materiale sciolto (pietrame) da cava sui mezzi di movimentazione marittimi	X	X														
Versamento a mare del materiale sciolto (pietrame) per la realizzazione dello scanno di imbasamento dei cassoni	X	X		X	X				X	X	X	X				
Spianamento e sagomatura del materiale sciolto (pietrame)	X	X		X	X				X	X	X					

Azioni di progetto	Effetti potenziali sull'ambiente																
	Emissione di inquinanti in atmosfera	Emissione di polveri in atmosfera	Emissioni sonore a terra	Emissioni sonore in mare	Propagazione di torbidità	Modifica della qualità dei sedimenti	Inquinamento delle acque marino costiere	Disturbo della fauna terrestre (avifauna)	Modifica di habitat pregiati (fanerogame marine)	Danni fisici o disturbo dei mammiferi marini e dei rettili marini	Disturbo della fauna ittica	Disturbo delle biocenosi bentoniche	Perdita di habitat	Interferenze con il transito delle navi	Interferenze con le attività portuali	Alterazione della percezione visiva	
Impianto di betonaggio a servizio dei siti di prefabbricazione dei cassoni		X	X					X									
Impianto mobile per il recupero dei materiali di risulta (vagliatura e frantumazione)		X	X					X									
Deferizzazione del materiale proveniente dalla demolizione		X	X					X									
Dragaggio del bacino di Sampierdarena (incluso deposito temporaneo del materiale nel Canale di Calma e successiva ripresa per l'affondamento dei cassoni)	X	X	X	X	X	X											
Trasporto dei cassoni, affondamento e riempimento con materiale sciolto	X	X		X			X			X	X						

Azioni di progetto	Effetti potenziali sull'ambiente															
	Emissione di inquinanti in atmosfera	Emissione di polveri in atmosfera	Emissioni sonore a terra	Emissioni sonore in mare	Propagazione di torbidità	Modifica della qualità dei sedimenti	Inquinamento delle acque marino costiere	Disturbo della fauna terrestre (avifauna)	Modifica di habitat pregiati (fanerogame marine)	Danni fisici o disturbo dei mammiferi marini e dei rettili marini	Disturbo della fauna ittica	Disturbo delle biocenosi bentoniche	Perdita di habitat	Interferenze con il transito delle navi	Interferenze con le attività portuali	Alterazione della percezione visiva
Posa dei massi e delle mantellate	X	X		X						X	X	X				
Realizzazione delle sovrastrutture e dei muri paraonda	X	X														
Smantellamento dell'area di cantiere e ripristino delle aree	X	X	X													X

Nuova diga foranea del porto di Genova - ambito bacino di Sampierdarena
 Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica
Studio di Impatto Ambientale - Volume 3

Rev.01

Data: Settembre 2021

El. MI046R-PF-D-A-R-067-3-01

TABELLA 4-3 - FASE DI ESERCIZIO. MATRICE DELLE INTERAZIONI FRA AZIONI DI PROGETTO ED EFFETTI POTENZIALI SULL'AMBIENTE

Azione di progetto	Effetti potenziali sull'ambiente														
	Emissione di inquinanti in atmosfera	Emissioni sonore a terra	Variazione della circolazione idrica	Variazione delle condizioni di moto ondoso all' interno del bacino portuale	Variazione delle condizioni di moto ondoso lungo il litorale	Alterazione del trasporto solido litoraneo	Variazione dell' equilibrio della linea di costa	Variazione della capacità di ricambio idrico del bacino portuale	Variazione del ricambio idrico portuale e influenza delle acque portuali sulle coste adiacenti	Variazione dell' idrodinamica delle foci fluviali e della sedimentazione nel bacino portuale	Disturbo della fauna terrestre (avifauna)	Creazione di habitat	Interferenze con il transito delle navi	Interferenze con le attività portuali	Alterazione della percezione visiva
Presenza della diga nel contesto territoriale di riferimento			X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Presenza sulla diga del parco eolico e relativo funzionamento	X	X									X				X

4.2. Popolazione e salute umana

Per questa componente ambientale, sono stati analizzati e valutati i potenziali impatto in termini di operativa portuale e sicurezza della navigazione.

Per quanto riguarda gli impatti potenziali indotti dalle emissioni in atmosfera ed alle emissioni sonore, potenzialmente in grado di determinare disturbi alla popolazione umana, si rimanda al Paragrafo 4.8 e al Paragrafo 4.10.

4.2.1. Stima degli impatti in fase di cantiere

La costruzione delle nuove opere dovrà avvenire cercando di limitare le interferenze con le attività produttive portuali, in relazione al transito delle navi dirette verso i terminali portuali e all'operatività dei terminali portuali (carico e scarico delle merci in banchina).

Le Autorità Competenti dovranno stabilire regole comportamentali per la navigazione, allo scopo di garantire la sicurezza della navigazione sia per i mezzi marittimi di cantiere che per le navi dirette al bacino di Sampierdarena.

Durante la costruzione potranno essere utilizzati gli accessi e i canali esistenti, con riferimento in particolare a quello principale di levante; gli impatti potenziali riguardano in particolare i primi 3 anni di costruzione quando sono previste numerose attività da eseguire in parallelo nel tratto centrale e di levante di Sampierdarena.

Le lavorazioni che riguardano la realizzazione dello scanno d'imbasamento dei cassoni, il trasporto e la posa/stabilizzazione dei cassoni, il getto della sovrastruttura, le demolizioni della diga esistente, il dragaggio dei fondali di Sampierdarena verranno infatti effettuate con l'ausilio di mezzi marittimi. La prefabbricazione dei cassoni sarà effettuata invece tramite l'utilizzo di impianti fissi o galleggianti posizionati all'esterno delle aree di Sampierdarena o del Porto Antico e pertanto questa lavorazione non comporterà intralcio o disagi alle operazioni in banchina.

Un aspetto progettuale di rilievo è inoltre la demolizione della diga esistente che si trova in prossimità dei terminali di Sampierdarena.

Una particolare attenzione che dovrà essere tenuta riguarda la lavorazione da effettuare per la demolizione delle opere in calcestruzzo. Infatti, i blocchi esistenti in calcestruzzo dovranno essere demoliti mediante l'utilizzo di cartucce esplosive depotenziate, inserite in appositi fori realizzati preventivamente negli elementi in calcestruzzo. Questi esplosivi depotenziati hanno il vantaggio di prevedere una distanza di sicurezza di soli 50 m, inferiore a quella prevista per i normali esplosivi che è pari a 300 m. Pertanto, i

terminali posti a circa 200 m dalla diga potranno continuare ad operare (carico-scarico merci) anche durante questa lavorazione, naturalmente con la dovuta cautela e rispettando le regole comportamentali che verranno imposte dalle Autorità Competenti.

Un altro aspetto d'interesse in questo ambito è la necessità di riutilizzare i materiali provenienti dalle demolizioni ed in particolare quelli di piccola pezzatura derivanti dalle demolizioni, per la formazione dello scanno d'imbasamento e per il riempimento dei cassoni della nuova diga foranea. A riguardo è previsto che le demolizioni del corpo in calcestruzzo della diga esistente avvengano quando buona parte della nuova diga foranea sia già stata costruita e sia pertanto in grado di offrire una sufficiente protezione dal moto ondoso alle banchine portuali.

Si ritiene pertanto che i potenziali impatti sull'operatività portuale in banchina e sul transito delle navi durante la costruzione siano limitati in relazione alla programmazione ed agli accorgimenti previsti per costruzione delle nuove opere.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-4 - POPOLAZIONE E SALUTE UMANA. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE.

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Interferenze con le attività portuali	1	-1	2	2	2	-6	Lieve
Interferenze con il transito delle navi	1	-1	2	2	2	-6	Lieve

4.2.2. Stima degli impatti in fase di esercizio

4.2.2.1 Operatività portuale ai terminali

Tra i criteri funzionali di progetto è stato previsto che la nuova diga foranea deve assicurare in fase di esercizio la protezione dal moto ondoso ai fini dell'operatività dei terminali (carico-scarico delle merci) per stati di mare associati al clima "medio annuale" e ai fini dello stazionamento in sicurezza delle navi all'ormeggio in condizioni estreme.

Le condizioni limite di altezza d'onda per l'operatività ai terminali dipende da vari fattori tra cui la tipologia di nave, l'angolo di incidenza delle onde rispetto alla nave, ecc.. A titolo cautelativo l'altezza d'onda di riferimento è pari a 0,5 m, valida per le Ro-Ro e portacontainer di dimensioni minori (di lunghezza inferiore ai 200 m), mentre l'altezza d'onda di 1 m riguarda le navi portacontainer di grandi dimensioni.

Le condizioni limite di altezza d'onda costituiscono il riferimento per la valutazione del rateo di inoperatività annuale, o "downtime", atteso per le zone di manovra e le aree di

banchina protette dalla nuova diga. In base alle indicazioni fornite dalla letteratura specialistica, in particolare dalle Raccomandazioni ROM 3.1-99 (2007), per i porti in cui operano terminali specializzati quali i terminal per container e Ro-Ro occorre garantire in linea generale un “downtime” non eccedente le 150-200 ore/anno (circa il 2% del tempo).

In tale ambito viene anche tenuto in conto lo stazionamento in sicurezza delle navi all’ormeggio in condizioni di moto ondoso estreme. In base a quanto raccomandato in letteratura (es.: Ligteringen e Velsink “Ports and Terminals”, VSSD, Delft, The Netherlands) si è fatto riferimento agli stati di mare caratterizzati da un tempo di ritorno di 10 anni, imponendo per questi stati di mare altezze d’onda alle banchine non superiori a 2,5 m.

Nelle Figure seguenti si riportano i risultati ottenuti con il modello matematico CGWAVE in termini di “downtime” (tempo medio annuale di non operatività) e altezze d’onda per tempo di ritorno 10 anni, in corrispondenza delle banchine portuali per:

- la situazione attuale (stato di fatto);
- la soluzione d’intervento scelta: la n°3.

Si riporta anche lo stato di fatto come riferimento utile per le valutazioni del comportamento in tale ambito della nuova diga foranea. Come si può notare, sia per la fase a) che per la fase b) di costruzione, sono rispettati i criteri di progetto in relazione a condizioni di non operatività (“downtime”) alle banchine non superiore a 150-200 ore all’anno e altezze d’onda inferiori a 2,5 m per un evento con tempo di ritorno di 10 anni.

La soluzione di intervento, d’altra parte, consente l’incremento della movimentazione di merci presso i terminali portuali, con un impatto complessivamente positivo.

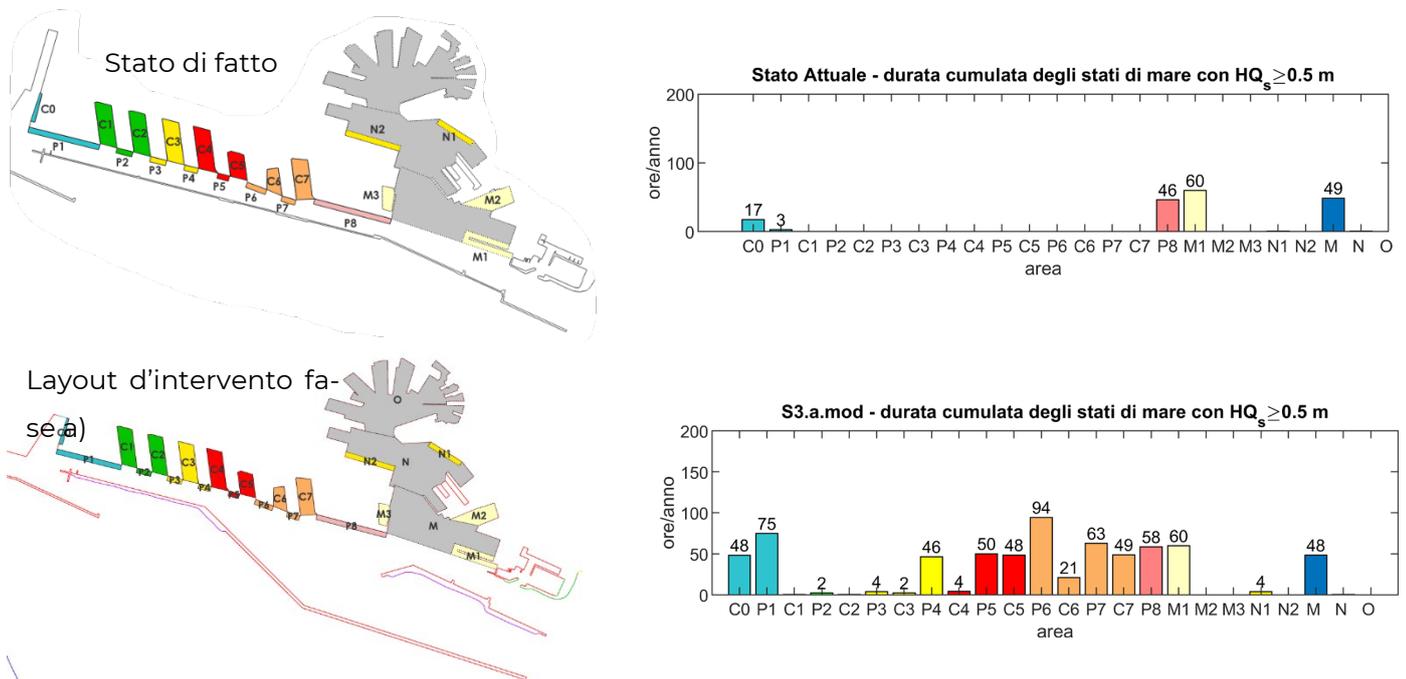


FIGURA 4-1 - DOWNTIME ALLE BANCHINE PORTUALI IN RELAZIONE AD UN'ALTEZZA D'ONDA LIMITE DI 0,5 M. STATO DI FATTO E SOLUZIONE D'INTERVENTO FASE A) DI COSTRUZIONE

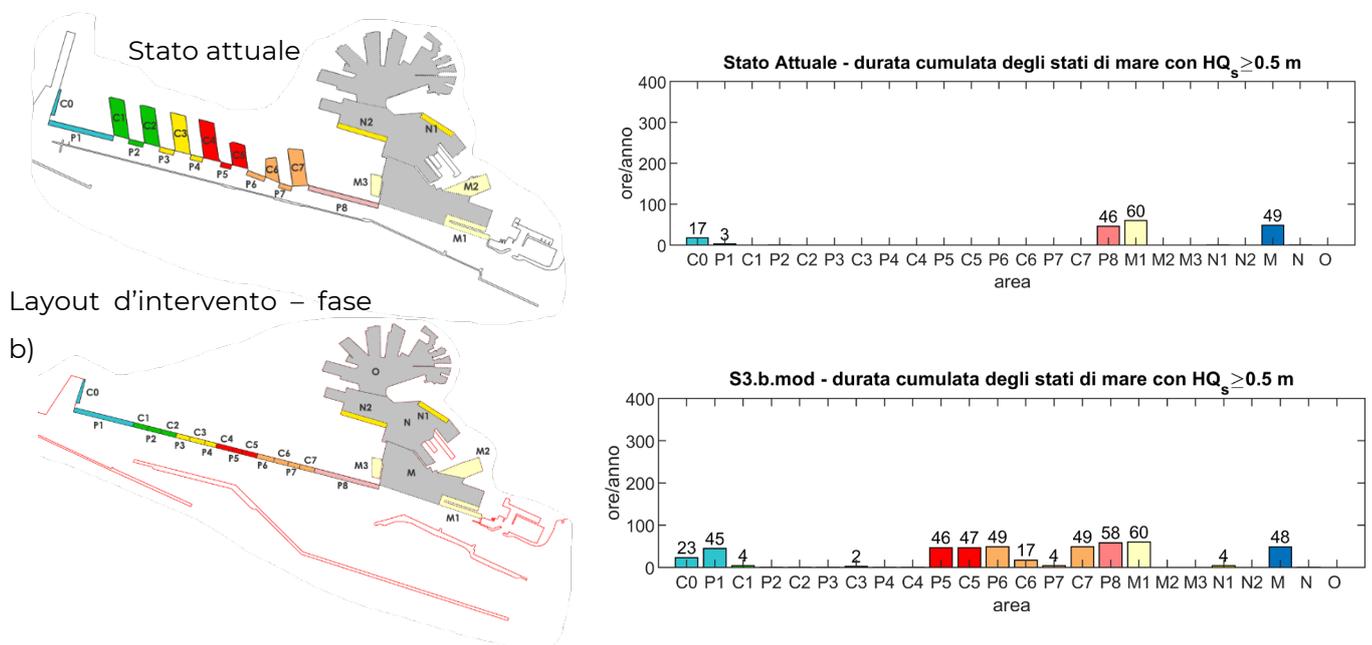
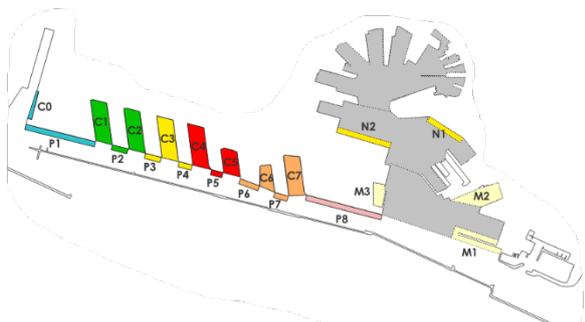
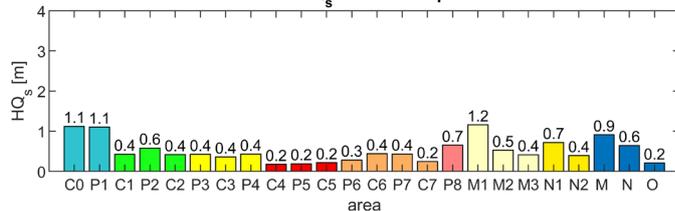


FIGURA 4-2 - DOWNTIME ALLE BANCHINE PORTUALI IN RELAZIONE AD UN'ALTEZZA D'ONDA LIMITE DI 0,5 M. STATO DI FATTO E SOLUZIONE D'INTERVENTO FASE B) DI COSTRUZIONE

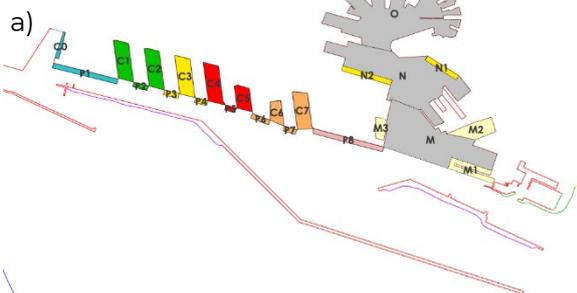
Stato di fatto



Stato Attuale - valore massimo di HQ_s in banchina per stati di mare con $Tr = 10$ anni



Layout d'intervento - fase



S3.a.mod - valore massimo di HQ_s in banchina per stati di mare con $Tr = 10$ anni

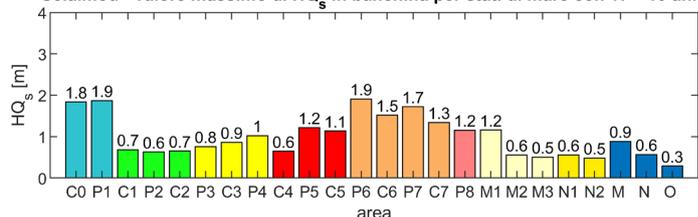
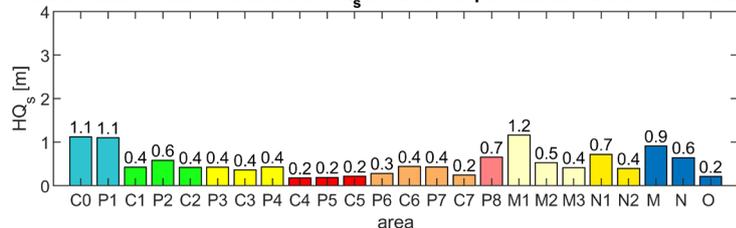


FIGURA 4-3 - ALTEZZE D'ONDA ALLE BANCHINE PORTUALI PER EVENTI CON TEMPO DI RITORNO DI 10 ANNI. STATO DI FATTO E SOLUZIONE D'INTERVENTO FASE A) DI COSTRUZIONE

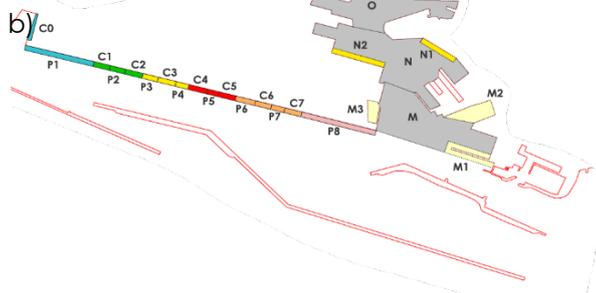
Stato di fatto



Stato Attuale - valore massimo di HQ_s in banchina per stati di mare con $Tr = 10$ anni



Layout d'intervento - fase



S3.b.mod - valore massimo di HQ_s in banchina per stati di mare con $Tr = 10$ anni

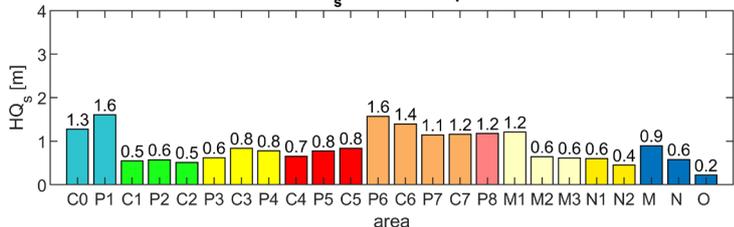


FIGURA 4-4 - ALTEZZE D'ONDA ALLE BANCHINE PORTUALI PER EVENTI CON TEMPO DI RITORNO DI 10 ANNI. STATO DI FATTO E SOLUZIONE D'INTERVENTO FASE B) DI COSTRUZIONE

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione dell'impatto potenziale.

TABELLA 4-5 - POPOLAZIONE E SALUTE UMANA. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI ESERCIZIO. PRIMA PARTE.

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Interferenze con le attività portuali	1	1	3	3	2	8	Lieve

4.2.2.2 Sicurezza della navigazione

Per valutare che la soluzione d'intervento è in grado di garantire la sicurezza delle manovre delle grandi navi portacontainer di progetto, è stato condotto uno studio con il simulatore navale dello Ship Simulation Centre di HR Wallingford (Inghilterra), dotato di infrastrutture all'avanguardia usate con successo da più di 25 anni in tutto il mondo.

Questo simulatore che consente di effettuare le simulazioni in ambiente reale con una visualizzazione a 360 gradi, è costituito da un ponte di comando che riproduce fedelmente quello di una nave e da cui il pilota può osservare le manovre della nave e controllarne lo stato durante l'intera simulazione (Figura 4-5).

L'obiettivo dell'uso di questi simulatori è di presentare ai piloti una fedele visione dell'area portuale d'interesse, degli ausili per la navigazione e delle infrastrutture portuali. In questo modo, il fattore umano, una caratteristica essenziale delle manovre, può essere adeguatamente considerata. I modelli di manovrabilità delle navi possono essere riprodotti in modo che il pilota riceva informazioni realistiche durante la manovra.

I simulatori dedicati ai rimorchiatori sono composti da un ponte di comando (vedi figura seguente) con una postazione per il pilota e due consolle. Dal ponte del rimorchiatore, il pilota può controllare il rimorchiatore in modo realistico e monitorare la situazione della nave durante tutta la simulazione. Un ampio numero di controlli, possono essere forniti in aggiunta.



FIGURA 4-5 - PONTE DI COMANDO DELLA NAVE DEL SIMULATORE (A SINISTRA) E DI UN RIMORCHIATORE (A DESTRA)

Il programma delle simulazioni di manovra è stato definito e concordato nell'ambito di più incontri avvenuti tra il progettista, l'AdSP e la Capitaneria di Porto nei mesi di Marzo-Aprile 2020.

Nel corso dei test, svolti nel Settembre 2020, il programma di simulazioni è stato leggermente modificato rispetto a quello stabilito negli incontri di cui sopra, allo scopo di tenere conto dei risultati che venivano nel frattempo acquisiti e di richieste espresse dai rappresentanti delle autorità.

Sono stati effettuate 31 simulazioni di manovra in condizioni meteomarine limite (di vento e moto ondosso) in relazione a condizioni di "downtime" non superiori alle 150-200 ore all'anno.

TABELLA 4-6 - CONDIZIONI METEOMARINE PER LE SIMULAZIONI DI MANOVRA DI NAVIGAZIONE

Moto ondosato da Grecale al largo		Frequenza di superamento
H_s [m]	T_p [s]	Ore/anno
trascurabile		-

Vento da Tramontana-Grecale	Frequenza di superamento
U_w [m/s]	Ore/anno
12,5	33

Moto ondosato da Scirocco al largo		Frequenza di superamento
H_s [m]	T_p [s]	Ore/anno
1,5	6,6	60

Vento da Scirocco	Frequenza di superamento
U_w [m/s]	Ore/anno
12,5	20

Moto ondosato da Mezzogiorno-libeccio al largo		Frequenza di superamento
H_s [m]	T_p [s]	Ore/anno
2,5	9,1	87

Vento da Mezzogiorno-libeccio	Frequenza di superamento
U_w [m/s]	Ore/anno
12,5	5

Si è partiti con un primo test per consentire al Capo Pilota del porto di Genova di familiarizzare con il simulatore. Poi sono state condotte le simulazioni seguendo il programma stabilito:

la prima serie di simulazioni hanno riguardato le manovre di accesso al porto e di uscita dal porto, con riferimento al terminale di Calata Bettolo, della nave porta-contenitori di lunghezza 400 m. Questa serie di simulazioni è stata condotta per le tre soluzioni d'intervento selezionate 2, 3 e 4 (fase a) di costruzione);

la seconda serie di simulazioni hanno riguardato le manovre di accesso al porto e di uscita dal porto, con riferimento al terminale di Calata Massaua, della nave portacontenitori di lunghezza 330 m. Questa serie di simulazioni è stata condotta per le soluzioni d'intervento 3 e 4 (fase a) di costruzione);

la terza serie di simulazioni hanno riguardato le manovre di accesso al porto e di uscita dal porto, con riferimento al terminale di Ponte Canepa, della nave porta-contenitori di

lunghezza 400 m. Questa serie di simulazioni è stata condotta per le soluzioni d'intervento 3 e 4 (fase b) di costruzione);

l'ultima serie di simulazioni hanno riguardato le manovre di emergenza in caso di avaria del motore.

Le simulazioni hanno evidenziato che manovre possono essere svolte in sicurezza anche in condizioni meteomarine non favorevoli con onde fino a 2,5 m di altezza e vento fino a 30 nodi. È stato verificato che la larghezza del canale di accesso, le lunghezze di arresto e le aree di manovra sono adeguate alla soluzione d'intervento (cod. elaborato: MI046R-PF-D-I-R-026-01)¹.

Si riportano di seguito a titolo di esempio alcuni test di manovra effettuati per la soluzione di progetto.

Verificata la correttezza del dimensionamento delle opere in relazione alla nave di progetto portacontainer di lunghezza 400 m, è stata anche considerata la nave "futuribile di lunghezza 450 m". È molto verosimile che tale nave avrà una manovrabilità non inferiore alla nave da 400 m; pertanto, anche il semplicissimo esame geometrico delle aree di manovra di accesso (vedi figure seguenti) mostra che, ipotizzando euristicamente un conservativo incremento di area di manovra in ragione del $(450-400)/400=12,5\%$, anche ulteriormente aumentato al 15%, le maggiori aree di manovra per la "futuribile 450 m" saranno contenute all'interno delle opere di progetto.

In base alle suddette considerazioni euristiche, è dunque ragionevole concludere che anche le navi da 450 m di lunghezza fuori tutto e 66 m di larghezza potranno accedere in sicurezza al porto di Genova. Naturalmente, nel periodo storico in cui tali navi si palesassero, ne saranno note le caratteristiche di manovrabilità, riproducibili solo allora con certezza sul modello di simulazione "real time". Sarà quindi possibile, analogamente a quanto svolto per le navi da 400 m, valutare in dettaglio le condizioni di manovra e gli effettivi margini attorno alle aree di evoluzione, la flotta di rimorchiatori necessaria e le condizioni meteomarine limite. Va anche aggiunto che anche per le navi da 450 m vengono comunque rispettate le indicazioni del PIANC nei range raccomandati ed evidenziato che i sistemi di manovra si stanno evolvendo verso controlli computerizzati degli organi di governo che assicurano il mantenimento della nave entro spazi prefissati.

¹ Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, "Realizzazione della nuova diga foranea del Porto di Genova, ambito bacino di Sampierdarena". Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica. Seconda Fase. Le Condizioni Meteomarine e i Test di Manovra di Navigazione con Simulatore per le Soluzioni d'Intervento (Giugno 2021)

Infine, i servizi nautici del Porto di Genova hanno espresso un parere finale basato sulla loro significativa esperienza locale per le manovre di navigazione delle navi che accedono al porto di Genova, in quanto ritengono che i simulatori, per quanto affidabili, siano in grado di fornire un quadro approssimato delle condizioni di manovra, discostandosi in certi casi anche sensibilmente dalla realtà.

La Capitaneria di Porto e i servizi nautici ritengono che la soluzione sviluppata in progetto, sia preferibile, in quanto offre migliori garanzie in termini di impostazione della manovra e maggiori margini di sicurezza nell'esecuzione delle manovre, in relazione all'estensione del canale di accesso.

I servizi nautici hanno altresì raccomandato un punto di salita del pilota a bordo nella zona di Levante, dove da sempre avviene l'operazione e quindi in una zona prossima all'imboccatura esistente. Una scelta per operare con le lance in sicurezza, in una zona dove i piloti hanno una consolidata esperienza di montare a bordo delle navi per determinate condizioni di vento e onde. Altrove le condizioni sarebbero più critiche per eseguire le stesse operazioni.

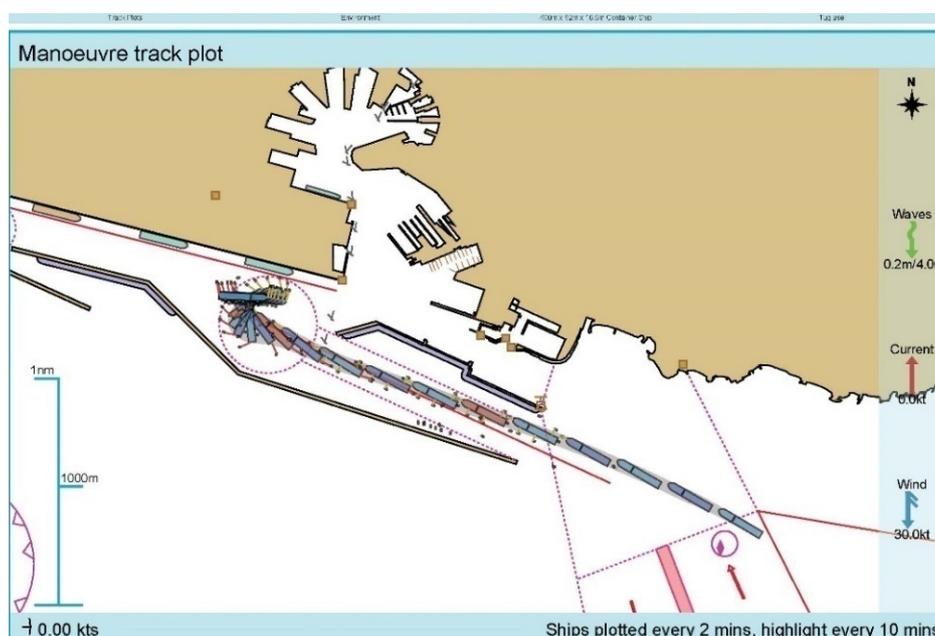


FIGURA 4-6 - MANOVRE DI ACCESSO. ACCOSTO AL TERMINALE DI CALATA BETTOLO



FIGURA 4-7 - MANOVRE DI ACCESSO. ACCOSTO AL TERMINALE DI CALATA MASSAUA

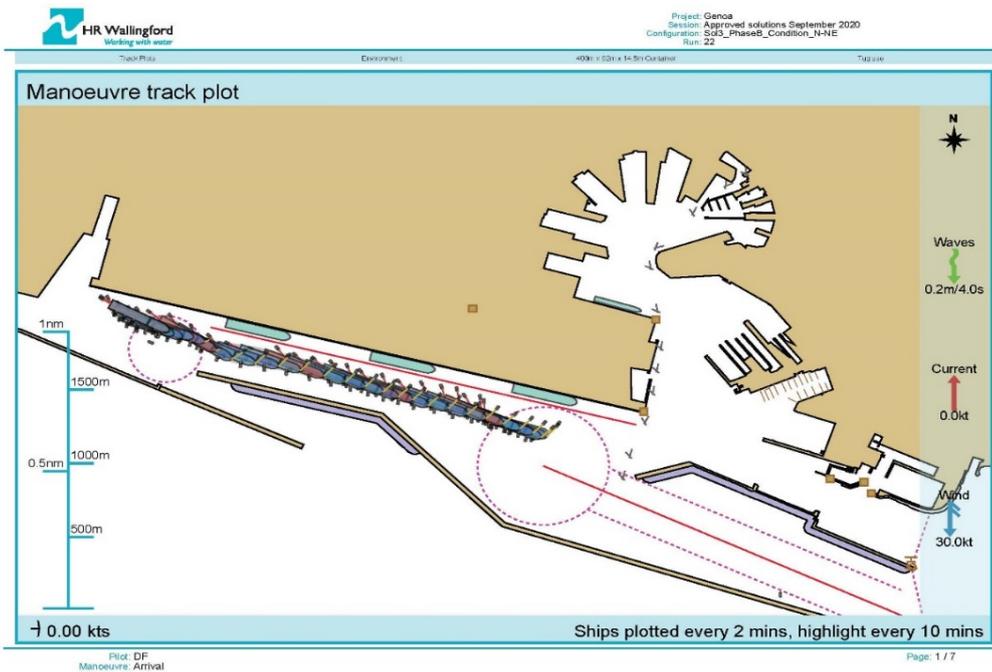


FIGURA 4-8 - MANOVRE DI ACCESSO. ACCOSTO AL TERMINALE DI PONTE CANEPA A PARTIRE DAL NUOVO AVAMPORTO

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-7 - POPOLAZIONE E SALUTE UMANA. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI ESERCIZIO. SECONDA PARTE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Interferenze con il transito delle navi	3	3	3	3	2	56	Alto

4.3. Biodiversità

4.3.1. Stima degli impatti in fase di cantiere

4.3.1.1 Ambiente terrestre

Avifauna

Le attività di cantiere a terra si svolgeranno in un contesto ove già è presente un forte rumore di fondo e le specie presenti non nidificano all'interno delle aree portuali.

Gli individui si allontaneranno dalle aree ove il disturbo è superiore alla propria soglia di tolleranza, spostandosi in aree limitrofe. Il fenomeno sarà dunque temporaneo e, terminate le lavorazioni, la fauna ornitica tenderà a rioccupare le aree una volta che il fattore di disturbo è terminato.

Per quanto riguarda le attività di cantiere a mare, potenziali effetti sull'avifauna possono derivare dall'installazione del parco eolico, a causa di possibili collisioni dovute al progressivo innalzamento delle componenti delle macchine ed ai movimenti delle gru di montaggio.

Considerando che l'area è frequentata prevalentemente da migratrici, il fenomeno potrà essere tenuto sotto controllo, evitando di svolgere tali attività durante il periodo migratorio.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-8 - BIODIVERSITÀ. AMBIENTE TERRESTRE. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI ESERCIZIO

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Disturbo della fauna terrestre (avifauna)	1	-1	2	2	2	-6	Lieve

4.3.1.2 Ambiente marino costiero

Biocenosi bentoniche

È oramai consolidata una tendenza, acceleratasi negli ultimi decenni lungo la maggior parte delle aree costiere della penisola, all'aumento della deposizione sedimentaria collegata alle attività antropiche costiere. L'aumento del tasso di sedimentazione può portare all'incremento della torbidità e alla riduzione dell'intensità della luce nella colonna d'acqua diventando quindi, potenzialmente, uno dei principali fattori che influenzano composizione, struttura, biomassa e metabolismo delle biocenosi marine (coralligeno, comunità macrozoo- e fitobentoniche) (Irving e Connell, 2002).

La sedimentazione quindi agisce come un'importante fonte di stress e disturbo che può incidere sugli organismi bentonici attraverso numerosi meccanismi: seppellimento e/o soffocamento e ridotta disponibilità di luce, ossigeno e nutrienti; raschiamento/abrasione della superficie degli organismi con danneggiamento e rimozione di parti o di interi individui; cambiamenti nelle caratteristiche fisiche del sedimento, come conseguenza della "sostituzione" di substrati duri stabili con fondi molli, e possibile perdita di habitat adatto all'insediamento degli organismi sia animali che vegetali; riduzione o scomparsa degli organismi più sensibili a vantaggio di quelli più opportunisti (Airoldi, 2003; Balata et al., 2005, 2007). In generale, anche la risospensione del sedimento causata dall'idrodinamismo può portare all'aumento della torbidità delle acque e causare la morte delle specie algali nei substrati più profondi e un arretramento verso la superficie del limite inferiore del coralligeno (Irving e Connell 2002; Airoldi 2003; Piazzini et al., 2004, 2012).

In generale, gli effetti del sedimento sui popolamenti bentonici sono stati studiati in aree costiere rocciose superficiali e nei fondali sabbiosi profondi, riscontrando un decremento della biodiversità e una dominanza di specie opportuniste (Airoldi, 2003), mentre non è stata ancora del tutto chiarita quale sia l'influenza della sedimentazione sulle biocenosi litorali profonde contraddistinte dalla presenza del coralligeno. In generale, comunque, sono stati registrati effetti negativi su diversi gruppi di invertebrati, come poriferi, gorgonie, policheti, briozoi, gasteropodi erbivori e macroalghe.

Balata *et al.* (2004) hanno condotto uno studio per comprendere se e come la struttura del popolamento coralligeno mediterraneo sia influenzata da differenti tassi di sedimentazione e se eventuali differenze possano o meno essere legate al deposito del sedimento. Sono stati analizzati popolamenti bentonici in aree ad alta sedimentazione, a bassa sedimentazione ed in aree sottoposte per un anno ad un incremento del sedimento depositato. I principali risultati hanno evidenziato come, in risposta ad un aumento della sedimentazione, i popolamenti macroalgali presentino una minore abbondanza delle

alghe erette e una maggiore dominanza del feltro algale e si caratterizzano, quindi, per una minore diversità e complessità strutturale. Gli stessi risultati sono stati riscontrati anche in ambienti più superficiali, confermando come esista uno stretto rapporto tra il disturbo causato dal deposito di sedimento e la dominanza di specie algali opportuniste. Le differenze riscontrate tra i popolamenti studiati suggeriscono, quindi, come l'aumento del tasso di sedimentazione nelle aree costiere mediterranee potrebbe condizionare negativamente i popolamenti coralligeni (Airoidi, 2003).

Irving e Connell (2002) hanno dimostrato l'esistenza di complessi modelli di reclutamento di alghe e invertebrati in relazione agli effetti combinati di sedimentazione, intensità della luce e orientamento della superficie del substrato di accrescimento. In particolare, hanno evidenziato, attraverso rilievi in campo ed esperimenti di laboratorio, come la sedimentazione incida soprattutto sugli stadi larvali e giovanili, ostacolandone il reclutamento.

Ballesteros (2006), in una sintesi sullo stato delle conoscenze inerenti il coralligeno del Mediterraneo, ha sottolineato come l'aumento dei tassi di sedimentazione (insieme all'inquinamento delle acque) sia una delle principali minacce per questa tipologia di biocenosi, dal momento che le particelle di sedimento possono coprire i talli delle specie algali incrostanti, schermandoli dalla luce e prevenendo il reclutamento di nuove alghe. Tuttavia, ha anche ricordato come la rugosità intrinseca delle strutture coralligene favorisca la deposizione di particelle che partecipano allo sviluppo della struttura coralligena attraverso complessi processi di litificazione (Marshall, 1983).

Un altro studio del 2010 su banchi di coralligeno (Gatti *et al.*, 2012), di fronte al porto di Vado Ligure (Riviera di Ponente), ha evidenziato come l'elevata velocità di sedimentazione sia il probabile principale fattore di stress per il coralligeno, visti l'elevata copertura di sedimenti nello strato basale (costituito da organismi incrostanti o con crescita verticale limitata, inferiore a 1 cm) e la presenza di specie indicative di torbidità, come le gorgonie *Eunicella verrucosa* e *Leptogorgia sarmentosa*. Gli autori sottolineano come i risultati siano coerenti con quanto osservato in altre aree del Mar Ligure, come l'area marina protetta "Cinque Terre". L'elevata sedimentazione è stata anche localmente associata a una bassa copertura di alghe incrostanti nello strato basale e all'assenza di *Cystoseira zosteroides* dallo strato superiore (costituito da organismi con crescita verticale pronunciata, superiore a 10 cm).

Magris e Ban (2019) hanno recentemente applicato la tecnica della meta analisi per individuare modelli globali degli effetti della sedimentazione sulla biodiversità marina e

riassumere quali siano le principali risposte al disturbo da parte delle biocenosi. Sono state raccolte le informazioni disponibili (oltre un centinaio di pubblicazioni) per confrontare l'entità degli impatti sui diversi gruppi tassonomici, individuare i tipi di habitat interessati e le modalità di azione (attenuazione della luce, risospensione dei sedimenti e vera e propria sedimentazione).

L'analisi ha confermato un significativo effetto negativo dell'incrementato tasso di sedimentazione sulle risposte comportamentali delle specie, sui processi di riproduzione e reclutamento, sulla morfologia degli organismi, sulla fisiologia, sull'abbondanza e sulla diversità delle comunità e sulle interazioni tra specie.

Le specie fototrofiche sono risultate generalmente più danneggiate rispetto a quelle eterotrofe e le specie con mobilità limitata sono risultate più vulnerabili rispetto alle specie altamente mobili.

L'aumento dei livelli medi di sedimentazione ha innescato effetti negativi più consistenti sulla maggior parte delle risposte biologiche rispetto a quanto causato dall'attenuazione della luce in seguito all'aumento della torbidità per la presenza di sedimenti sospesi.

L'interpretazione e il confronto dei risultati dei diversi studi condotti e riguardanti effetti della sedimentazione sulle biocenosi è spesso reso difficoltoso dal fatto che mancano o sono scarse le informazioni sulla variabilità spaziale e temporale del regime di sedimentazione, sulla metodologia utilizzata per quantificarla o quale aspetto ne venga considerato (ad esempio deposizione di sedimenti, sfregamento/danneggiamento degli organismi o torbidità).

Questa difficoltà rende alquanto arbitrario identificare i livelli di sedimentazione che potenzialmente potrebbero essere considerati "alti" o "bassi" per le biocenosi costiere e quali effetti di sedimentazione dovrebbero essere considerati "stressanti" o "non stressanti" (Airoldi, 2003; Magris e Ban, 2019).

Dati riferiti agli habitat della barriera corallina hanno permesso a Rogers (1990) di evidenziare come tassi di sedimentazione di circa 10 mg l^{-1} e $10 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$ possano essere considerati "potenzialmente stressanti" per gli organismi di ambienti costieri rocciosi.

Questa ipotesi è stata poi, in parte, confermata da altre osservazioni ed esperimenti in campo, grazie ai quali si è rilevato come, per la componente vegetale, tassi di sedimentazione "moderatamente alti", pari a circa $15 \text{ mg cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, portino ad una

maggiore dominanza del feltro algale, riducendo la diversità e la complessità strutturale della comunità presente (Airoldi *et al.* 1996; Airoldi, 2003).

Browne *et al.* (2015) hanno però recentemente dimostrato come i coralli nelle aree costiere, caratterizzate da torbidità di fondo compresa tra 2 a 5 mg l⁻¹ possano tollerare eventi di torbidità pulsata pari a 30-40 mg l⁻¹ e tassi di accumulo di sedimenti di circa 30 mg cm² al giorno per diverse settimane con effetti negativi minimi o talvolta nulli.

Lo studio di dettaglio effettuato al fine di valutare l'eventuale dispersione e diffusione della torbida a seguito delle attività di cantiere relative a consolidamento del fondale con colonne in ghiaia, rimozione dello scanno di imbasamento della diga attuale e dragaggio (Paragrafo 4.7.1.2 e Allegato B), ha evidenziato come non ci siano criticità significative collegabili ai valori della concentrazione di sedimenti sospesi che possono potenzialmente raggiungere le aree sensibili ad Est e ad Ovest dell'area di intervento.

L'analisi dei diversi scenari ipotizzati, infatti, ha permesso di stabilire che la generazione (e la successiva migrazione) di una nuvola di torbida sarebbe caratterizzata da concentrazioni di sedimenti sospesi trascurabile rispetto a quelle naturalmente presenti nelle acque (nel caso delle attività di consolidamento e rimozione) e che essa rimarrebbe confinata all'interno dell'area portuale (nel caso delle attività di rimozione e dragaggio) o nel caso dovesse fuoriuscire (nella fase di dragaggio dell'area dell'avamposto e solo in caso di venti provenienti dal settore di Libeccio), i sedimenti sospesi sarebbero comunque dispersi e diffusi velocemente verso la costa, senza la possibilità di raggiungere le aree sensibili più vicine localizzate a Est.

Sulla base delle presenti considerazioni e tenendo conto delle distanze in gioco come delle magnitudini dei potenziali disturbi originabili dalle lavorazioni, è possibile stimare i seguenti giudizi per le comunità bentoniche di substrato duro e molle.

Biocenosi bentoniche di substrato duro

Questa componente rappresenta un valore ecosistemico limitato per quanto concerne le incrostazioni sui massi della mantellata della diga esistente, interessante solo per la componente algale dei primi metri, dove è stata evidenziata la presenza di alghe frondose habitat-forming del genere *Cystoseira*.

Peraltro, i popolamenti di substrato duro naturale sono nettamente più lontani e non risentono significativamente dei potenziali disturbi ascrivibili all'export sedimentario originato nei siti di lavorazione.

Tuttavia, si osserva che la rimozione della diga esistente determina una perdita permanente di habitat.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti

TABELLA 4-9 - BIODIVERSITÀ. BIOCENOSI BENTONICHE DI SUBSTRATO DURO. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Disturbo delle biocenosi bentoniche - Biocenosi di substrato duro	1	-1	2	2	2	-6	Lieve
Perdita di habitat - Biocenosi bentoniche di substrato duro	1	-2	3	3	2	-24	Basso

Biocenosi bentoniche di substrato molle

I popolamenti dell'epifauna ed endofauna dei fondi incoerenti dell'area di progetto non rappresentano elementi di pregio dal punto di vista naturalistico e conservazionistico.

Le informazioni, scarse, riportano, inoltre, condizioni pressoché azoiche per i fondali più al largo, corrispondenti alla posizione della nuova diga da realizzare.

Tuttavia, le lavorazioni previste per lo smantellamento della diga, il posizionamento della nuova e per i diversi dragaggi previsti saranno in grado di disturbare temporaneamente i popolamenti bentonici di substrato molle.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti

TABELLA 4-10 - BIODIVERSITÀ. BIOCENOSI BENTONICHE DI SUBSTRATO MOLLE. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Disturbo delle biocenosi bentoniche - Biocenosi di substrato molle	1	-1	2	2	2	-6	Lieve

Fanerogame marine

Negli ultimi decenni, per l'aumento dell'urbanizzazione e dell'industrializzazione costiera, numerose praterie a fanerogame marine sono scomparse o hanno subito significative alterazioni (es., Meinesz e Lefevre 1978).

Tra le principali minacce per le praterie di *Posidonia oceanica* vi sono la sottrazione di habitat lungo la fascia costiera e l'aumento della concentrazione di sedimenti, materia organica e nutrienti nelle acque.

Tra le fanerogame marine, *Posidonia oceanica*, con la sua scarsa riproduzione sessuale (Diaz-Almela *et al.*, 2008) e lenta crescita (Marbà e Duarte, 1998), è una specie che richiede secoli per colonizzare o ricolonizzazione le aree costiere (Marbà *et al.*, 2002).

Ne deriva che, eventuali perdite di praterie di questa specie possono essere considerate irreversibili.

Per ovviare a queste perdite, le fanerogame marine sono oggetto, oltre che di attenzione di normative nazionali e regionali, anche di numerose linee guida generali redatte nel quadro di convenzioni internazionali specifiche per interventi di dragaggio o deposizione di sedimenti in mare.

A livello europeo, si possono citare la Convenzione di Londra (1972) per la valutazione dei materiali dragati (DMAF), la Convenzione OSPAR (1998) con le linee guida per la gestione del materiale dragato e, più recentemente, il documento OSPAR (2004) sugli “Impatti ambientali sulle specie marine e sugli habitat del dragaggio a fini della navigazione”.

Buone prassi e linee guida simili sono state redatte anche nel Regno Unito, Australia e Stati Uniti a livello nazionale e di agenzie federali.

L'importanza di salvaguardare le praterie a fanerogame e, nello specifico, di *Posidonia oceanica*, deriva soprattutto dal fatto che queste sono comunemente ritenute “key species” il cui impatto sull'ecosistema è molto grande, più di quanto ci si aspetterebbe in proporzione alla loro estensione (Bond, 2001).

Quando si opera nelle vicinanze di queste “key species”, è importante che l'intensità dell'impatto non provochi un cambiamento significativo delle loro caratteristiche, limitando, per quanto possibile, il disturbo in modo che l'ecosistema sia in grado di resistere (Short e Wyllie-Echeverria, 2000).

Bisogna inoltre considerare come *Posidonia oceanica* sia una specie a strategia K (capacità di adattamento e sopravvivenza), longeva e caratterizzata da una crescita molto lenta dei rizomi (pochi centimetri all'anno). Ne consegue che la colonizzazione di aree perdute, attraverso la dispersione dei semi, per via vegetativa con frammenti di ciuffi o rizomi o mediante l'accrescimento marginale delle praterie sia estremamente lenta (Boudouresque *et al.*, 2009).

Nel caso realizzazione di opere nella prossimità di praterie a fanerogame, la comunità scientifica ha proposto, per alcuni parametri, soglie di attenzione che non dovrebbero essere superate affinché non vengano oltrepassati livelli critici di impatto.

Alcuni indicatori di disturbo della popolazione, come ad esempio il grado di copertura e la densità dei ciuffi fogliari, sono molto utilizzati nei programmi di monitoraggio per stimarne lo stato di qualità; non sono però molto indicati come indicatori di “allerta” in quanto rilevano il declino delle praterie solo dopo che questo è già in atto.

Considerando la tipologia dell’opera da realizzarsi che prevede, tra l’altro, la rimozione dello scanno di imbasamento dell’attuale diga foranea, demolizione delle sovrastrutture sommerse, salpamento dei massi naturali e artificiali in calcestruzzo, il consolidamento del fondale mediante colonne in ghiaia, e attività di dragaggio, la letteratura scientifica si focalizza su due principali possibili impatti sulle praterie: il seppellimento delle piante a seguito di un eccesso di sedimentazione e l’incremento della torbidità con la possibile riduzione della radiazione luminosa in profondità, necessaria alla pianta per dar corso ai processi fotosintetici.

Considerando le metodologie di realizzazione previste per l’opera e la distanza cui si collocano le praterie oggetto di attenzione, sono al momento da escludere aspetti relativi all’incremento della concentrazione dei nutrienti nella colonna d’acqua o di erosione al fondo.

Di seguito si darà corso ad una disamina sintetica dei più significativi lavori scientifici che hanno indagato i due possibili fattori di impatto individuati, considerando le soglie di attenzione proposte.

Si terrà conto inoltre di come, pur essendo solo due i fattori critici individuati (seppellimento e torbidità), gli indicatori da monitorare non siano univoci ma vengano espressi con unità di misura differenti (sedimentazione nel tempo, sedimentazione massima, totale solidi sospesi, coefficiente di estinzione della luce, % di estinzione, disco secchi, ecc.).

Seppellimento

Gacia e Duarte (2001) evidenziano come le praterie di *Posidonia oceanica* possano far fronte, attraverso la crescita verticale del rizoma, a velocità di sedimentazione che non superino 4-5 cm/anno. D’altro canto, gli stessi Autori segnalano anche come la specie sia molto sensibile all’erosione o a deficit di sedimentazione e che le trasformazioni che avvengono lungo le coste possono ridurre drasticamente gli apporti di sedimenti agli habitat costieri sommersi. Valori soglia simili di sedimentazione, pari a circa 5-7 cm/anno, vengono citati anche da Boudouresque *et al.* (2009) che evidenziano come, a

valori superiori, gli apici dei rizomi ortotropi, pur allungandosi verticalmente, potrebbero essere sepolti e morire.

In un lavoro sperimentale, Cabaço *et al.* (2008) individuano per *Posidonia oceanica* e *Cymodocea nodosa* soglie di sedimentazione che causano il 50% e 100% mortalità dei ciuffi fogliari. Nello specifico di *Posidonia oceanica*, gli Autori stimano un livello di sedimentazione di circa 15 cm per portare alla morte dei ciuffi, mentre per l'altra fanerogama presente sulle coste liguri, *Cymodocea nodosa*, stimano livelli di sedimentazione di 4 cm e 13 cm per portare alla morte, rispettivamente, del 50% e del 100% dei ciuffi. Gli Autori, inoltre, evidenziano come il meccanismo che porta alla morte delle fanerogame per eccesso di particolato nell'acqua, sia un processo che si può sviluppare nell'arco di diversi mesi, coinvolgere anche fattori come correnti, venti e maree e che agisce in seguito sia alla limitazione della disponibilità di luce per la fotosintesi, sia alla riduzione della crescita della pianta.

Erfteimeijer e Lewis (2006), dopo un esame della letteratura scientifica riguardante le soglie di sedimentazione, identificano per *Cymodocea nodosa* e *Posidonia oceanica* tassi massimi di 5 cm/anno. Inoltre, gli Autori evidenziano che, per superare queste situazioni di sofferenza, le risposte delle piante, in relazione alle specie, possono essere l'allungamento delle foglie, della guaina fogliare o degli internodi dei rizomi. Le fanerogame di maggiore dimensione come *Posidonia oceanica*, disponendo di maggiori riserve immagazzinate sono in grado, entro certi limiti, di mobilitarle per sostenere temporaneamente la pianta durante i periodi di stress (Erfteimeijer e Lewis, 2006)

Uno studio in situ di Manzanera *et al.* (2011) evidenzia che i ciuffi di *Posidonia oceanica* degenerano fortemente con l'aumento della sedimentazione, raggiungendo circa il 65% della mortalità con un livello di seppellimento di 4 cm e il 100% di mortalità con un interrimento di 9 cm. La sepoltura da parte dei sedimenti ha aumentato il declino della popolazione di germogli indipendentemente dalla frequenza, la durata o il momento in cui si è verificato l'evento. Nello specifico di *Posidonia oceanica*, gli Autori riportano dati più cautelativi sulla soglia di seppellimento rispetto ad altri Autori e segnalano, inoltre, come oltre i 4 cm di seppellimento, la pianta perda parte delle sue capacità di reazione (come l'allungamento dei rizomi e la loro ramificazione).

Torbidità, radiazione luminosa

Wazniak *et al.* (2004), analizzando le necessità delle fanerogame marine per i processi fotosintetici del Maryland Coastal Bays, hanno definito una serie di indicatori soglia da monitorare tra i quali, per la radiazione luminosa, una soglia di solidi sospesi totali che

deve risultare inferiore a 15 mg/l e la misura della trasparenza, con Disco Secchi, maggiore di 0,966 m o trasparenza al fondo (con frequenza superiore al 40%). Al riguardo va segnalato che numerosi lavori riportano l'indicatore trasparenza dell'acqua come parametro predittivo per segnalare condizioni di allerta per le praterie e fanerogame marine.

Un lavoro di Dennison *et al.*, (1993), relativo alla valutazione della qualità dell'acqua per la sopravvivenza della vegetazione acquatica sommersa, stima, per *Posidonia oceanica*, come la minima luce richiesta in %, rispetto alla superficie, sia pari a 7,8-9,2%, oppure un coefficiente di attenuazione della luce non superiore a (kd) 0,07-0,17 m⁻¹. Per *Cymodocea nodosa*, gli Autori invece stimano una minima luce richiesta pari al 7,3-10,2% rispetto a quella misurata in superficie e un coefficiente di attenuazione della luce non superiore a (kd) a 0,07-0,57 m⁻¹.

Sempre riguardo alla soglia di torbidità per la sopravvivenza delle fanerogame marine, Erfteimeijer e Lewis (2006), dopo un esame della letteratura, riportano, per *Posidonia oceanica*, una radiazione luminosa minima espressa in % rispetto alla superficie compresa tra il 4,4 e il 16% e, per *Cymodocea nodosa*, tra 7,3 e 10,2%. Gli esperimenti di laboratorio e sul campo hanno comunque evidenziato che la maggior parte delle fanerogame può sopravvivere con intensità di luce inferiori al minimo richiesto per un periodo di tempo che va da due settimane a diversi mesi, a seconda della loro capacità di accumulo di carboidrati.

Ruiz e Romero (2003), analizzando gli effetti dei disturbi causati dalla realizzazione di opere costiere sulle dinamiche di crescita e fotosintesi di *Posidonia oceanica*, evidenziano come le cause del declino delle praterie debbano essere ricondotte ad una cascata di fattori tra loro concatenati. L'eccesso di sedimenti nella colonna d'acqua riduce la radiazione luminosa e può provocare il seppellimento delle piante con l'instaurarsi di condizioni anossiche, l'eccesso di nutrienti promuove la crescita del fitoplancton limitando da un lato la radiazione luminosa necessaria per la fotosintesi e dall'altro stimolando lo sviluppo di epifite e di macroalghe.

Per quanto attiene le misure di mitigazione nella fase di realizzazione nelle opere costiere, Erfteimeijer e Lewis (2006) suggeriscono una serie di possibili strategie: attivare soglie di torbidità, analizzare modelli di dispersione dei sedimenti, predisporre barriere fisiche e limitazioni stagionali, ridurre al minimo la durata dei lavori critici, limitare le quantità di draghe, vietare il dragaggio in prossimità di praterie marine, attivare piani di monitoraggio della torbidità nelle praterie o fermare le lavorazioni

critiche quando la torbidità raggiunge le soglie previste. Gli Autori suggeriscono di tarare le soglie di attenzione sulle caratteristiche dell'area di intervento al fine di non porre limitazioni esagerate con costi e tempi di lavorazione maggiori. Infatti, nelle aree che subiscono grandi fluttuazioni naturali nella torbidità di fondo, è probabile che le praterie dispongano di una resilienza maggiore rispetto alle aree in cui tali fluttuazioni sono minime. Inoltre, sebbene il dragaggio possa causare un incremento dei livelli medi di torbidità, in molti casi per l'area in oggetto i livelli potrebbero rientrare nei range naturali di fondo a lungo termine o di breve termine, causati da precipitazioni significative o da eventi meteo marini avversi (Erftemeijer e Lewis, 2006).

Da quanto sino ad ora esaminato, si evince che la comunità scientifica ha cercato di individuare soglie di attenzione per gli impatti più significativi come la sedimentazione/seppellimento dei ciuffi fogliari o i livelli di minima luce richiesti per mantenere funzionali i processi fotosintetici e la crescita della pianta.

Come segnalato da alcuni Autori, tali soglie devono essere poi tarate sulle caratteristiche delle acque dell'area oggetto dell'intervento e delle praterie limitrofe, considerando che le piante presentano degli adattamenti sito-specifici con differenti livelli di resilienza.

Tenuto conto dei dati di letteratura esistenti per l'area dell'intervento e di quelli delle stazioni di monitoraggio prossime all'area di interesse (GEP2, POL1, POL2, VAG1, VAG2) relative alla rete regionale di monitoraggio dell'ecosistema marino, anche considerando le diverse condizioni meteo marine medie nell'arco dell'anno o a seguito di eventi meteomarini, i valori soglia possono essere così riassunti:

- condizioni di bianco mediamente inferiori a 2-3 ntu;
- condizioni di torbidità massima attorno a 10 ntu;
- ripristino delle condizioni di bianco dopo 18-24 ore dalla fine del fattore perturbativo.

Per la valutazione degli impatti si è tenuto conto anche dello stato ecologico più recente delle praterie più vicine all'opera, valutato nei monitoraggi di ARPAL - Regione Liguria tramite l'indice PREI ("sufficiente" nel sito 12-Vareze-Arezzo; "buono" nel sito 16-Genova Camogli).

Di fondamentale importanza per la valutazione dei possibili impatti sulle praterie risulta lo studio citato in precedenza e riportato in Allegato B. Ciò ha permesso, per le lavorazioni imputate di generare sedimento risospeso (consolidamento dei fondali, rimozione dello scanno e dragaggio), di stimare l'entità delle concentrazioni che

possono generare effetti sulle aree sensibili poste nelle vicinanze dell'area di intervento, in particolare di quella molto vicina (circa 2 Km a Est dall'imboccatura di Levante).

Lo studio ha messo anche in evidenza che la configurazione da progetto non modifica sostanzialmente i flussi della corrente locale e di conseguenza i flussi di trasporto dei sedimenti lungo la costa e verso le aree sensibili. I cambi di flusso delle correnti con la realizzazione opere costiere sono infatti inclusi tra i tipici effetti negativi per le fanerogame marine perché possono determinare variazioni del trasporto dei sedimenti sia in senso positivo (accumulo) sia negativo (erosione) (Boudouresque *et al.*, 2006).

Le conclusioni dello studio mettono in evidenza come, per le attività relative al consolidamento dei fondali e alla rimozione dello scanno, l'incremento della torbidità rimanga sostanzialmente circoscritto alla zona del porto, con valori paragonabili a quelli della torbidità naturale delle acque.

In riferimento alle lavorazioni di dragaggio, si può osservare che, nonostante la concentrazione media (sulla profondità) assuma valori di due ordini di grandezza superiori rispetto a quanto osservato per la lavorazione di consolidamento, le concentrazioni raggiunte localmente sono contenute con valori massimi inferiori a 1 mg/l e possono scendere a valori di 0,5 mg/l con l'applicazione di tecniche ambientali di dragaggio.

Nello specifico lo scenario di vento proveniente dal settore di Scirocco indica che le concentrazioni dei sedimenti sospesi decadono velocemente allontanandosi dall'area di dragaggio rimanendo confinate all'interno dell'area portuale. Per lo scenario di vento proveniente dal settore di Libeccio, invece, i sedimenti sospesi rimangono confinati all'interno dell'area portuale e solamente per i dragaggi nell'area dell'avamporto, si diffondono verso Est, in direzione della costa per poi disperdersi prima di raggiungere le aree sensibili a fanerogame.

I dati espressi dallo scenario modellistico tenderebbero quindi ad escludere effetti significativi sia in termini di seppellimento/erosione, sia di riduzione della trasparenza dell'acqua con effetti sui processi fotosintetici.

La scarsa dispersione dei sedimenti al di fuori dell'area portuale che si desume dai modelli tiene conto anche del fatto che gran parte delle lavorazioni più gravose saranno fatte con una configurazione portuale che prevede sempre la presenza di una totale o parziale separazione fisica tra l'area di lavoro e il mare.

Infatti, durante le lavorazioni più significative, è prevista la presenza o dell'attuale diga (configurazione geometrica attuale) o della nuova diga (configurazione geometrica di progetto) che, in ambedue i casi, limitano di molto la dispersione all'esterno del porto dei sedimenti fini.

I valori che la letteratura indica come funzionali ad un buono stato ecologico di *Posidonia oceanica* sono naturalmente variabili a seconda del sito, della profondità, dei possibili fattori critici esistenti, ma riportano comunque, in quanto a torbidità in colonna, dati dell'ordine di 1 - 15 mg/l, mentre la capacità di resistere a eventi di deposizione al fondo dipende anche dalla tipologia e conformazione del substrato.

È ovvio che l'elemento tempo, cioè la durata della perturbazione, diviene fondamentale nell'integrazione di quantità e durata del disturbo.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-11 - BIODIVERSITÀ. FANEROGAME MARINE. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Modifica di habitat pregiati (fanerogame marine)	1	0	2	2	1	0	Nessun effetto

Mammiferi marini

I potenziali effetti indotti dalla fase di cantiere sui mammiferi marini sono trattati al Paragrafo 4.10.1.1 ed al Paragrafo 4.10.2.1 cui si rimanda per dettagli in merito.

Rettili marini

I potenziali effetti indotti dalla fase di cantiere sui rettili marini sono trattati al Paragrafo 4.10.1.1 ed al Paragrafo 4.10.2.1 cui si rimanda per dettagli in merito.

Fauna ittica

Come riportato nella descrizione dello stato attuale (rif. Volume 2, Paragrafo 3.1.2.2), la ricchezza della fauna ittica ligure risponde di una serie di favorevoli condizioni, quali la conformazione morfologica della costa, ricca in substrati duri e particolarmente articolata in golfi, cale e zone protette oltre che il buono stato di ricambio idrico a tutte le profondità.

Anche le numerose strutture artificiali poste a partire dal 1970 tra Ventimiglia e La Spezia, destinate inizialmente a proteggere gli habitat contro la pesca illegale con reti a

strascico, hanno anche favorito il ripristino dell'habitat, svolgendo un ruolo di nursery e miglioramento della biodiversità e del pescato (Relini *et al.*, 2007).

Il ruolo di queste strutture artificiali è confermato dal fatto che la maggior parte dei pesci censiti sia in comune con quelli presenti in aree rocciose naturali protette (Port Cros, Portofino, Asinara) con una predominanza numerica delle specie appartenenti a Sparidi e Labridi e, talvolta, Serranidi (Relini *et al.*, 2007).

Il ruolo chiave di queste strutture artificiali è messo in evidenza anche da recenti osservazioni condotte nelle vicinanze del porto di Genova (località Lido e Quarto) dove vengono segnalate anche specie tipiche di latitudini più meridionali tra cui 2 specie non indigene (NIS) e 5 specie autoctone di acque calde ("warm-water native species") (Bianchi *et al.*, 2018).

Le stesse segnalazioni di apneisti sportivi, di pescatori amatoriali di pescapnea o cannisti, di associazioni sportive indicano una buona presenza ittica sulla stessa diga foranea attuale.

Quanto sino ad ora esposto, fa comprendere il ruolo di attrazione e diversificazione svolto dalle strutture artificiali, come le dighe, nei confronti della fauna ittica.

Nel nostro Paese, a partire dagli anni '70, sono state costruite almeno 47 barriere localizzate nelle aree costiere con la funzione di fornire protezione nei confronti dello strascico illegale, favorire l'introduzione di nuove superfici utili per l'attecchimento di organismi sessili, fornire maggiore disponibilità di tane e rifugi per uova e giovanili di specie ittiche commercialmente importanti, incentivare la piccola pesca locale e/o la pesca sportiva (Regione Veneto-ARPAV, 2006).

Le liste ittiche riportate per la specifica area progettuale, pur se in un contesto non rigidamente scientifico e con un approccio unicamente qualitativo, non includono specie protette e segnalate nel Mar Ligure, di cui alle convenzioni di Berna ed ASPIM e alla Direttiva Habitat.

È però ragionevole stimare che alcune specie di più difficile individuazione, come ad esempio qualche ghiozzo o ancora il cavalluccio marino *Hippocampus hippocampus* possano essere presenti tra la vegetazione algale e tra i massi dei piani più superficiali della diga.

In conclusione, gli effetti nei confronti dei pesci corrispondono all'eliminazione fisica della diga esistente, dove la mantellata offre condizioni di nursery, riparo e di alimentazione per numerose specie, alcune delle quali sono state evidenziate come di un

certo interesse, pur se non di tipo conservazionistico, e che saranno costrette ad abbandonare tane e aree di pascolo e cattura.

Occorre inoltre sottolineare la presenza di una cumulatività dell'alterazione, dal momento che le lavorazioni prevedono lo smantellamento anche mediante utilizzo di cariche esplosive non detonanti, le quali possono portare alla morte di un certo numero di esemplari e incentivare l'allontanamento di altri (Paragrafo 4.10.1.1).

Oltre a questo, anche se a minore livello, si deve tener conto pure di un disturbo generato dalle diverse tipologie di imbarcazioni (ciascuna con comportamento acustico differente) in base al tipo di attività (bettoline, motonavi, motopontoni con/senza gru o betoniera, e rimorchiatori).

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-12 - BIODIVERSITÀ. FAUNA ITTICA. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Disturbo della fauna ittica	1	-2	3	3	3	-18	Basso
Perdita di habitat - Fauna ittica	1	-2	3	3	2	-16	Basso

I potenziali effetti indotti dalle emissioni sonore in mare nella fase di cantiere sulla fauna ittica sono trattati al Paragrafo 4.10.1.1 ed al Paragrafo 4.10.2.1 cui si rimanda per dettagli in merito.

4.3.2. Stima degli impatti in fase di esercizio

4.3.2.1 Ambiente terrestre

Avifauna

Come riportato per lo stato attuale (rif. Volume 2, Paragrafo 3.1.2.1), l'area di studio, date le proprie caratteristiche, è frequentata da numerose specie con fenologia differente ma in prevalenza migratrici e legate all'ambiente acquatico, e con tipologie di volo differenti, variabili anche secondo le condizioni meteorologiche locali.

Infatti, escludendo le specie che volano soprattutto radenti sull'acqua (come berte, anatidi ecc.), le altre durante la migrazione transitano a quote differenti a seconda del meteo (Chevallier *et al.*, 2010).

La costruzione di un parco eolico, come ogni altra struttura e/o elemento antropico, può porre potenziali problemi a numerose specie animali.

L'impatto può essere di tipo diretto (collisione) o indiretto (modificazione e/o perdita di habitat che nel caso specifico analizzato non è presente) e riguarda principalmente, tra gli uccelli, i rapaci e i migratori in genere (Orloff & Flannery, 1992; Anderson *et al.*, 2000; Johnson *et al.*, 2000).

Per quanto riguarda invece l'impatto della costruzione della diga, l'assenza di specie ornitiche nidificanti nel sito nella diga attuale (per il fatto che è fortemente influenzata dal moto ondoso che, soprattutto in inverno, la ricopre più volte l'anno), può essere considerato trascurabile.

Esistono in letteratura numerosi studi che fanno riferimento a perdita di individui di uccelli, in parte relativi a grandi impianti (sopra i 100 aerogeneratori), realizzati per lo più negli Stati Uniti, oltre che studi e dati relativi agli impatti con l'avifauna da parte di impianti europei, di minori dimensioni e situati in ambienti diversi.

Le informazioni ricavabili dalla letteratura specifica, riferendosi a condizioni diversificate:

- tipologie costruttive di impianto (a traliccio o torre tubolare, mono - bi - tripala, velocità del rotore, altezze, colore, ecc.);
- disposizione spaziale e altezze degli aerogeneratori (fila unica o multipla, piccoli cluster, ecc.);
- caratteristiche geomorfologiche e ambientali diverse (crinali, pianure, habitat, aree migratorie, ecc.);
- presenza quali-quantitativa di avifauna (specie di avifauna, caratteristiche di volo, densità di popolazione, aree di passo, ecc.);
- non sono facilmente comparabili ai diversi impianti eolici, soprattutto italiani, per i quali esistono pochi dati di riferimento.

In un lavoro di BirdLife International (Langston 2002) è sottolineato come il numero di uccelli morti per collisione con aerogeneratori dipende soprattutto dalla densità degli uccelli presenti, dal numero delle pale e dalla superficie interessata.

È stato verificato che il numero di collisioni con generatori monopala, a rotazione veloce, è più alto che con altri modelli, per la difficoltà di percezione del movimento (Hodos *et al.*, 2000); dunque la tipologia di aerogeneratore dell'impianto in progetto, tripala e a bassa velocità di rotazione, riduce notevolmente la probabilità d'impatto per l'avifauna.

Tali collisioni sono più probabili in presenza di impianti eolici estesi in numero e in superficie. Meek (2003), citando un lavoro svolto nelle Isole Orcadi, riporta come piccoli impianti, al di sotto dei cinque generatori, non comportino effettivi rischi di mortalità dovuta a collisione per l'avifauna. Infatti, il numero di collisioni più elevato è riscontrabile in impianti di elevate dimensioni (>100 aerogeneratori) o disposti su file multiple, creando l'effetto "selva".

Tra le specie potenzialmente esposte ad un più elevato rischio di impatto sono i rapaci, uccelli veleggiatori che frequentano i prati culminali per l'attività trofica.

La valutazione dei possibili impatti diretti di un parco eolico in progetto sull'avifauna può essere calcolata, sia sulle specie migratrici (caso in esame) che su quelle nidificanti e svernanti avvistate tramite monitoraggi *ad hoc* presso il sito indagato, applicando il modello "*Calculation of collision risk for bird passing through rotor area*" (Band *et al.*, 2007) che permette di stimare la percentuale di sorvoli che possono impattare gli aerogeneratori.

Questo modello calcola la probabilità di collisione degli uccelli, che attraversano la circonferenza spazzata dalle pale di una torre eolica, in base al numero di sorvoli osservati presso il punto previsto per l'ipotetico impianto ad una quota a potenziale rischio di impatto, alle caratteristiche biometriche delle varie specie ed alle dimensioni degli aerogeneratori.

Inoltre, il modello presuppone che gli uccelli non reagiscano in alcun modo alla presenza delle torri eoliche; tuttavia, alcuni studi condotti presso impianti in funzione evidenziano una tendenza ad evitare gli aerogeneratori nel 95-99% dei sorvoli (Percival, 2007; Whitfield, 2009).

Per poter calcolare in modo specifico il rischio di collisione per l'area in esame, è dunque necessario effettuare un'attività di monitoraggio *ante operam* (Paragrafo 7.1.1) in modo da ottenere un quadro puntuale e dettagliato sulla presenza delle specie ornitiche maggiormente a rischio collisione (rapaci, grandi veleggiatori e migratori) e poter effettuare le opportune analisi (es. calcolo del rischio di collisione tramite il Modello di Band, individuazione dei periodi di maggior transito e delle rotte utilizzate dai migratori ecc.), oltre a indicare puntualmente le eventuali tipologie di misure di mitigazione da adottare.

In generale, comunque, è possibile già segnalare che esistono sistemi ed accorgimenti, quali il dipingere i generatori eolici con colori brillanti, utilizzare segnalatori sonori di

pericolo, utilizzare sistemi a bassa velocità di rotazione delle pale, fermare le pale durante i periodi di intensa migrazione, ecc., che sono davvero capaci di minimizzare il rischio di collisione.

Tali metodi di mitigazione, la cui adozione effettiva è opportuno prevedere a valle delle sopra richiamate attività di monitoraggio e dell'applicazione del modello (Paragrafo 7.1.1), stando ai risultati degli studi effettuati negli Stati Uniti da Erikson e altri, hanno dimostrato che la collisione con gli aerogeneratori si abbassa al punto di interferire la massimo per lo 0,01 - 0,02% nella mortalità per collisioni dei volatili.

Si ricorda, poi, che lo sviluppo del parco di aerogeneratori è previsto in un'area che può essere considerata a mare aperto per cui non sussistono le condizioni ideali per la presenza di avifauna stanziale e nidificante, ma interessa prevalentemente solo i potenziali flussi migratori e l'avifauna acquatica in fase di ricerca di cibo, che normalmente però vola ad altezze minori rispetto all'altezza dei rotori delle pale eoliche.

È inoltre plausibile che la presenza degli aerogeneratori diventi con il tempo una presenza riconosciuta e che le specie presenti si abituino alla loro esistenza.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-13 - BIODIVERSITÀ. AMBIENTE TERRESTRE. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI ESERCIZIO

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Disturbo della fauna terrestre (avifauna)	1	-1	3	2	2	-7	Lieve

4.3.2.2 Ambiente marino costiero

I giudizi sotto riportati dipendono principalmente dal valore della componente biotica in argomento, riferita alla presenza nell'area di progetto.

L'elemento principale che caratterizza la fase di esercizio consiste nella presenza della nuova diga e nei conseguenti fenomeni di ricolonizzazione.

Questo sorgitore, più a mare della diga foranea attualmente esistente, rappresenta certamente un elemento di attrazione nei confronti di organismi incrostanti che potranno insediarsi secondo le diverse profondità e dell'ittiofauna, sempre attratta dalla struttura, specialmente nei tratti interessati dai massi di mantellata che offrono un'articolata serie di tane, rifugi e passaggi riparati.

Numerosi lavori scientifici hanno infatti evidenziato il fondamentale ruolo svolto dalle strutture artificiali che, in alcuni casi, presentano una comunità ittica paragonabile a quella di aree rocciose naturali protette.

A questo si aggiunge che tra alcune delle specie ittiche delle barriere (es.: corvina, sarago sparaglione, sarago fasciato, perchia o scorfanotto) e le comunità bentoniche presenti sia sulle strutture e nel fondale circostante si instaurano strette relazioni trofiche.

Biocenosi bentoniche

Biocenosi bentoniche di substrato duro

Pur nella valutazione di un limitato pregio della componente bentonica incrostante esistente nell'area, la realizzazione della nuova diga, in posizione leggermente più a mare e su batimetrie più sostenute, porta alla presenza di vaste superfici di insediamento, sia verticali che strutturate lungo le previste mantellate in massi.

Questi organismi incrostanti, avvantaggiati dalla presenza di nuovi substrati di insediamento in un ambiente ragionevolmente favorevole al loro sviluppo, sono in grado di ricoprire fittamente, a partire dalla superficie e per gran parte delle quote, i massi naturali ed artificiali utilizzati per la posa delle mantellate.

Si stima che tutto ciò possa tradursi, progressivamente, nell'instaurarsi di una catena trofica viepiù arricchita.

Tenuto conto della loro presenza sulle strutture superficiali del paraggio, è inoltre auspicabile la colonizzazione da parte di alghe brune frondose nei primi metri maggiormente interessati dalla penetrazione della radiazione luminosa, a formare praterie, alla base di un processo di attrazione, da parte della struttura, nei confronti di altre alghe, di organismi animali che vivono tra le fronde algali e, da ultimo, di una componente ittica non trascurabile per qualità e quantità.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-14 - BIODIVERSITÀ. BIOCENOSI BENTONICHE DI SUBSTRATO DURO. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI ESERCIZIO

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Creazione di habitat -Biocenosi bentoniche di substrato duro	1	2	3	3	2	16	Basso

Biocenosi bentoniche di substrato molle

Rispetto alla condizione attuale, non si stima che la presenza della nuova diga possa modificare significativamente i livelli di abitabilità, la struttura e le funzioni di queste comunità nel complesso dell'area di intervento.

Non sono dunque identificabili impatti potenziali per questo aspetto.

Fanerogame marine

Nelle condizioni di esercizio è ragionevole ritenere che permanga l'assenza di fanerogame marine nell'area di interesse dell'opera e che le praterie più vicine, a circa 2 Km di distanza, siano quelle poste a levante tra Sturla e Quinto (*Cymodocea nodosa* e *Posidonia oceanica*).

Nelle condizioni di esercizio, la presenza della nuova diga non viene stimata come elemento alteratore nei confronti delle praterie più vicine, a levante del sito.

Non sono dunque identificabili impatti potenziali per questo aspetto.

Fauna ittica

Si stima che in un tempo non brevissimo, dopo l'allontanamento forzato della comunità ittica residente sulla diga esistente, la nuova struttura in corso di realizzazione potrà già essere oggetto di colonizzazione da parte delle medesime specie. Le dimensioni della nuova diga, la profondità più incisiva dei fondali e la maggiore lontananza dalle strutture portuali, infatti, costituiscono elementi in grado di favorire la colonizzazione.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-15 - BIODIVERSITÀ. FAUNA ITTICA. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI ESERCIZIO

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Creazione di habitat - Fauna ittica	1	2	3	3	2	16	Basso

4.4. Suolo

4.4.1. Stima degli impatti in fase di cantiere

Nella fase di realizzazione, gli impatti potenziali sulla componente in esame sono indotti dalla riprofilatura, o meglio approfondimento, dei fondali nel bacino di Sampierdarena e nell'avamposto.

Tale attività determina una progressiva variazione delle caratteristiche morfologiche dei fondali, sino al raggiungimento delle quote di dragaggio previste in progetto e può

determinare una variazione della qualità dei sedimenti e della qualità delle acque marino costiere, quest'ultima in relazione alla potenziale protrazione di torbidità.

Per quanto riguarda la qualità delle acque marino costiere, si rimanda al Paragrafo 4.7.1.2 per la relativa analisi e valutazione degli impatti.

Per quanto riguarda la qualità dei sedimenti, in ragione delle informazioni disponibili e nelle more dell'attività di caratterizzazione sito specifica in corso di esecuzione (Volume 2, Paragrafo 3.1.3.2) sarà possibile rimuovere eventuali locali "spot" di contaminazione, sino alle profondità interessate, contribuendo ad un miglioramento della qualità ambientale.

Per la variazione delle caratteristiche morfologiche, invece, si tratta sostanzialmente di una condizione intermedia con la fase di esercizio, indotta dalla progressiva realizzazione dei dragaggi.

La configurazione dei fondali da approfondire durante la fase di costruzione è dunque di transizione tra quella attuale e di esercizio, e interesserà il solo tempo di realizzazione; si è dunque ritenuto ragionevole non effettuare l'analisi e la valutazione degli impatti, rimandando al Paragrafo successivo per la trattazione propria della fase di esercizio.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-16 - SUOLO. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI ESERCIZIO

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Modifica della qualità dei sedimenti	1	1	3	3	2	8	Lieve

4.4.2. Stima degli impatti in fase di esercizio

La presenza della nuova diga nel contesto territoriale di riferimento non costituisce un elemento in grado di determinare un peggioramento della qualità e delle caratteristiche morfologiche dei fondali.

Il previsto reimpiego dei sedimenti dragati nei cassoni della diga, inoltre, favorisce la mitigazione dello sfruttamento della risorsa suolo in termini di approvvigionamento da cava. Infine, si specifica che, l'eventuale materiale di cui non sarà possibile prevedere il reimpiego, sarà conferito in apposita discarica autorizzata nel rispetto della normativa di settore

Non sono dunque identificabili impatti potenziali per questi due aspetti.

Tuttavia, nell'ambito del progetto e del presente Studio sono stati analizzati e valutati gli effetti indotti dalla nuova diga e dai fondali approfonditi sia in termini di sedimentazione nelle aree portuali sia in termini di dinamica delle coste. Si rimanda al Paragrafo 4.6.2.2 ed al Paragrafo 4.7.2.3 per l'analisi e valutazione dei relativi impatti potenziali.

4.5. Geologia

4.5.1. Stima degli impatti in fase di cantiere

La prima attività di costruzione della nuova diga consisterà nel consolidamento con colonne in ghiaia dei fondali, ovvero dei terreni di fondazione, al fine di fornire adeguata stabilità alla nuova struttura.

Tale attività costituisce una modifica locale dell'assetto stratigrafico; sarà svolta progressivamente, lungo lo sviluppo planimetrico della nuova diga ed interesserà solamente l'ingombro in pianta della stessa.

Trattandosi di un'attività progressiva, può essere ritenuta come una condizione intermedia con quella di esercizio; la modifica dell'assetto stratigrafico durante la fase di costruzione è dunque di transizione tra la configurazione nello stato attuale e quella di esercizio.

Si è dunque ritenuto ragionevole non effettuare l'analisi e la valutazione degli impatti, rimandando al Paragrafo successivo per la trattazione propria della fase di esercizio.

4.5.2. Stima degli impatti in fase di esercizio

La presenza della nuova diga comporta una variazione locale dell'assetto stratigrafico dei fondali, ovvero dei terreni di fondazione, a causa del necessario trattamento con colonne in ghiaia per fornire adeguata stabilità alla nuova struttura.

La variazione è però locale, ovvero limitata allo sviluppo planimetrico ed all'ingombro in pianta della nuova opera.

I terreni di fondazione sono caratterizzati dalla presenza di uno strato coesivo usualmente di 5-10 m di spessore, di composizione variabile da limo/limo sabbioso alle batimetriche superiori a -35 m s.l.m.m. a limo argilloso a batimetriche inferiori.

L'estensione di tale tipologia di terreni è ben superiore all'ingombro della nuova diga.

Per quanto sopra, non sono identificabili impatti potenziali in termini di caratteristiche geologiche e stratigrafiche dei fondali.

4.6. Acque dolci superficiali

4.6.1. Stima degli impatti in fase di cantiere

Per quanto attiene le acque dolci superficiali, non sono prevedibili impatti sulla qualità delle acque, in quanto tutte le lavorazioni saranno eseguite a mare e non è prevista l'installazione di aree di cantiere in prossimità dei corsi d'acqua che insistono sull'area portuale di Genova (Torrente Polcevera e Torrente Bisagno in primis).

In termini di effetti potenziali sulle caratteristiche idrodinamiche delle foci e sulla conseguente sedimentazione nel bacino portuale, si tratta sostanzialmente di una condizione intermedia con la fase di esercizio, indotta dalla progressiva realizzazione della nuova diga e dalla progressiva demolizione dei tratti di diga esistente.

La configurazione della nuova diga durante la fase di costruzione è dunque di transizione tra quella attuale e di esercizio, e interesserà il solo tempo di realizzazione; si è dunque ritenuto ragionevole non effettuare l'analisi e la valutazione degli impatti, rimandando al Paragrafo successivo per la trattazione propria della fase di esercizio.

4.6.2. Stima degli impatti in fase di esercizio

4.6.2.1 Qualità delle acque

La nuova diga è ubicata tra 400 e 800 m dall'attuale linea di costa e dunque non interessa direttamente i corsi d'acqua che insistono sull'area portuale.

Non sono dunque identificabili impatti potenziali in termini di qualità delle acque.

4.6.2.2 Idrodinamica delle foci e della sedimentazione nelle aree portuali

La valutazione dei potenziali impatti delle nuove opere foranee previste dalla Soluzione S3 (in fase realizzativa a) e b)) sull'idrodinamica e il trasporto solido alla foce dei torrenti Bisagno e Polcevera è stata analizzata nell'ambito delle attività di progetto in uno specifico studio specialistico (cod. elaborato: MI046R-PF-D-I-R-023-00)².

L'obiettivo dello studio è stato quello di valutare le problematiche relative agli aspetti di idrodinamica e di sedimentazione nelle aree portuali prossime alla foce dei torrenti Polcevera e Bisagno in relazione alla nuova configurazione portuale prevista dalla realizzazione della nuova diga foranea del Porto di Genova.

² Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, "Realizzazione della nuova diga foranea del Porto di Genova, ambito bacino di Sampierdarena". Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica. Seconda Fase. Studio dell'idrodinamica delle foci fluviali e della sedimentazione nelle aree portuali (Aprile 2021).

Come già illustrato in precedenza per caratterizzare il deflusso e la sedimentazione in prossimità delle foci si è posta l'attenzione ad eventi di piena tali da presentare il doppio requisito di risultare sufficientemente rilevanti dal punto di vista delle portate liquide e solide immesse in mare e sufficientemente frequenti per poter influenzare l'operatività del porto. Pertanto, gli eventi di piena esaminati, assunti simultanei, sono stati selezionati assumendo un tempo di ritorno di 10 anni, tali da risultare significativi ai fini dell'operatività e manutenzione del bacino portuale.

In particolare, per il Polcevera si è esaminata una piena con tempo di ritorno decennale avente una portata al colmo pari a 939 m³/s, al quale è associato un trasporto solido sospensione che determina un apporto di sedimenti a mare complessivo di circa 18.000 m³. Per il torrente Bisagno si è esaminata una portata al colmo con tempo di ritorno decennale di 416 m³/s alla quale è associato un apporto complessivo di circa 3150 m³.

Lo studio è stato condotto con il modello numerico di idrodinamica e trasporto solido Delft3D-FLOW. I risultati ottenuti hanno permesso un confronto relativo con i risultati ottenuti in precedenza per lo stato di fatto in modo da poter quantificare le variazioni relative indotte dalle nuove opere.

Le condizioni di calcolo, le caratteristiche della griglia di calcolo e le condizioni al contorno applicate per le simulazioni sono state già illustrate nel Volume 2, Paragrafo 3.1.5.2, per le simulazioni relative all'analisi dello stato di fatto.

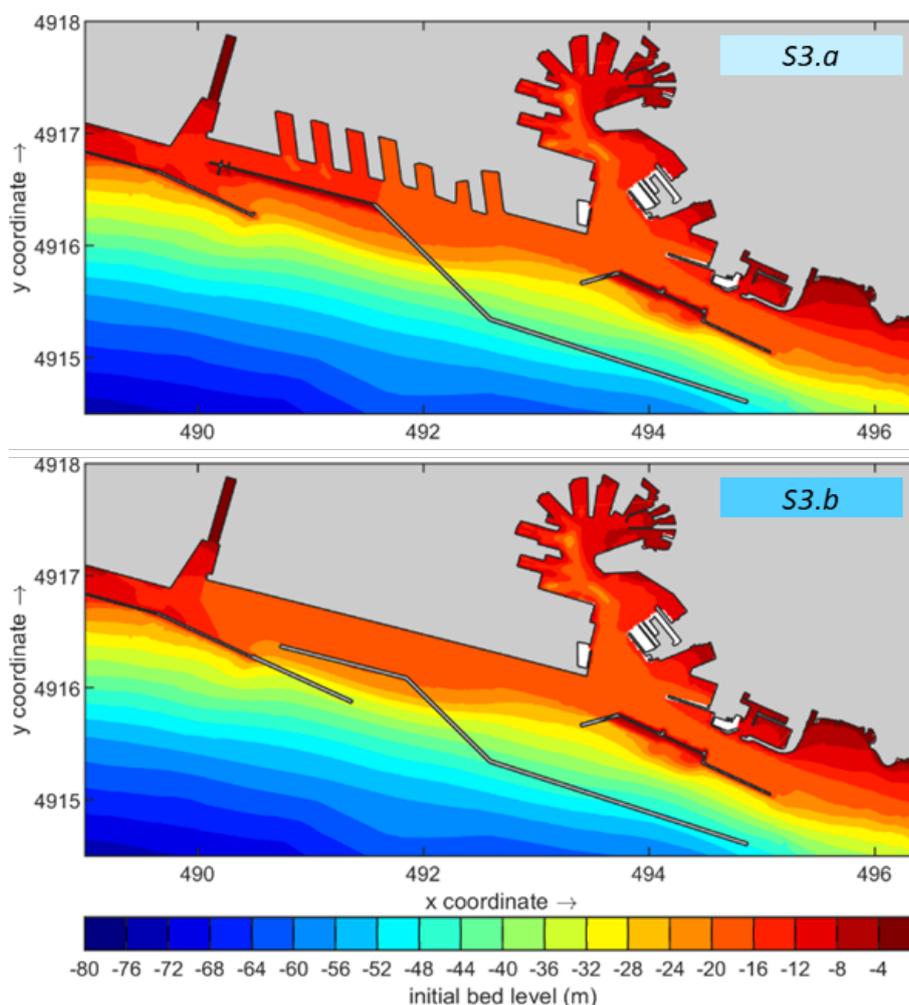


FIGURA 4-9 - DOMINIO DI CALCOLO RAPPRESENTATIVO DELLA SOLUZIONE DI PROGETTO IN ALTO FASE A (S3.A), IN BASSO FASE B (S3.B)

Le simulazioni per lo scenario di intervento sono state condotte considerando i necessari interventi di dragaggio previsti in futuro per adeguare le profondità degli specchi acquei all'interno del bacino portuale alle nuove esigenze operative dettate dalla nave di progetto.

Nello specifico, a seguito della fase costruttiva a), sono state previste le seguenti profondità di progetto:

- lungo il canale d'accesso: -20 m s.l.m.m.;
- all'interno dell'avamposto: -18.5 m s.l.m.m.;
- nella parte a levante del bacino Sampierdarena: -17.0 m s.l.m.m.;
- nella parte a ponente del bacino Sampierdarena: -15.5 m s.l.m.m.

Per la fase costruttiva b), a seguito dello spostamento della diga foranea verso mare, è stato previsto un ulteriore approfondimento alla quota di -18.5 m s.l.m.m. dell'intero specchio acqueo del bacino di Sampierdarena.

Le configurazioni delle opere foranee, delle opere interne e l'approfondimento dei fondali all'interno del dominio di calcolo previsti per la soluzione di progetto in fase a) e in fase b), sono mostrati in Figura 4-9.

I risultati delle simulazioni relative agli eventi piena dei torrenti Polcevera e Bisagno con tempo di ritorno 10 anni per la soluzione di progetto in fase a) e in fase b) sono mostrati nei grafici di Figura 4-10.

I grafici mostrano i campi di velocità in corrispondenza del colmo di piena del Polcevera (ore 24:00).

Il confronto con i risultati ottenuti con le simulazioni relative allo stato attuale consente di giungere alle seguenti conclusioni di carattere generale:

- la soluzione di progetto assicura il deflusso dei due corsi d'acqua presi in esame anche in occasione di eventi di piena significativi caratterizzati da tempi di ritorno di 10 anni;
- i risultati ottenuti mostrano che il campo idrodinamico non viene alterato in modo significativo dalla configurazione delle nuove opere foranee tale da comportare interferenze con l'operatività portuale o le condizioni di sicurezza per la navigazione;
- le variazioni del campo idrodinamico alla foce dei due torrenti in occasione degli eventi di piena, dovute alla nuova configurazione portuale prevista dalla soluzione S3, non vanno ad interferire in alcun modo con la navigazione.

I risultati ottenuti a seguito delle simulazioni riguardanti la soluzione di progetto in fase a) hanno evidenziato che la formazione dell'ampio bacino di evoluzione, previsto nello specchio acqueo prospiciente alla Calata Bettolo, favorisce il richiamo delle acque del Bisagno all'interno del porto.

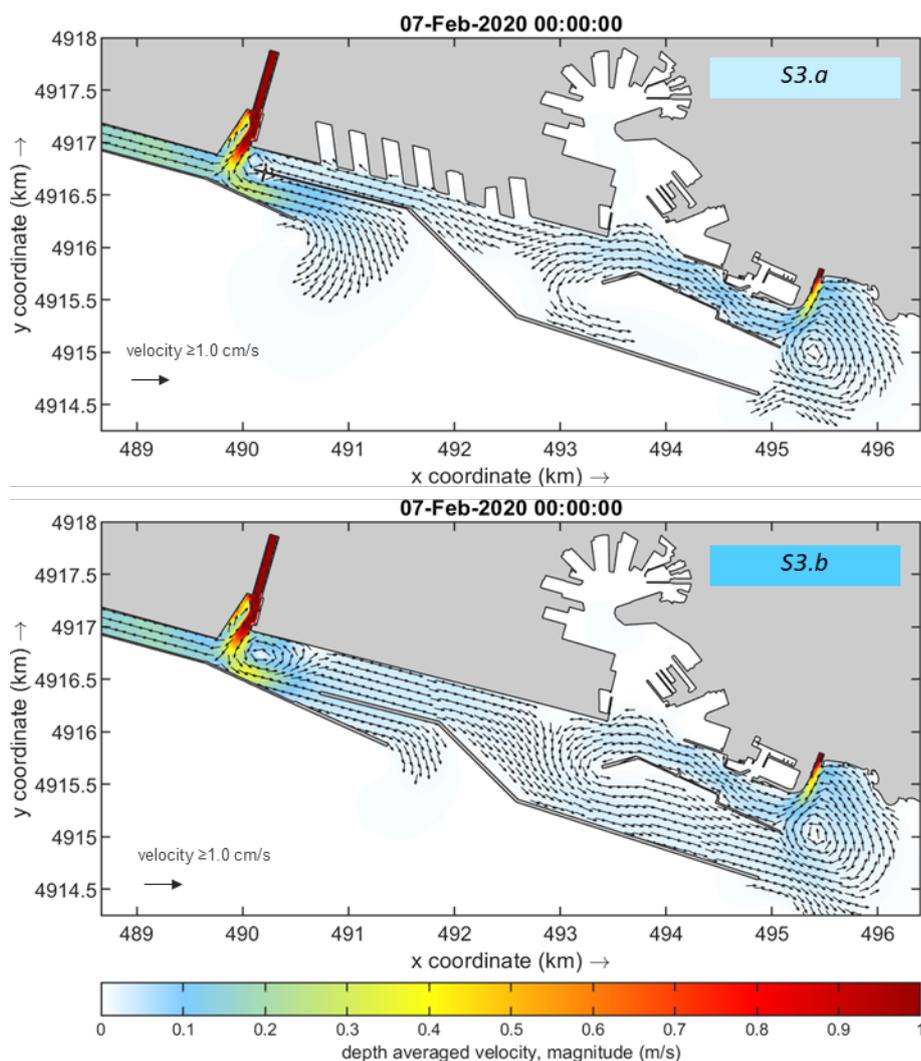


FIGURA 4-10 - SOLUZIONE DI PROGETTO - FASE A). CAMPO DI VELOCITÀ OTTENUTO PER GLI EVENTI DI PIENA DEI TORRENTI POLCEVERA E BISAGNO CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI. ORE 24:00 (COLMO DI PIENA POLCEVERA)

La portata entrante nel bacino portuale, che risulta più elevata rispetto allo stato attuale, si ripartisce in due flussi: uno diretto verso Ovest, che si sviluppa all'interno del bacino di Sampierdarena, come avviene attualmente, ma con una portata inferiore; l'altro esce dalla nuova imboccatura e si ricongiunge alla circolazione antioraria che si instaura alla foce del Bisagno.

La corrente del Polcevera, come per lo stato attuale, defluisce inizialmente attraverso l'imboccatura di Ponente e il bacino di Sampierdarena per poi trovare sbocco all'interno del canale di calma dell'aeroporto.

Le variazioni di portata, rispetto allo stato attuale, ottenute nelle sezioni di controllo in prossimità del Polcevera, sono marginali.

Le variazioni di velocità ottenute rispetto alla situazione attuale (rif. Figura seguente) sono molto modeste (dell'ordine di 5.0-10.0 cm/s) e si verificano in maggior misura all'imboccatura di levante e alla foce del Polcevera. La riduzione del flusso all'interno del bacino di Sampierdarena riduce la velocità nel canale di calma dell'aeroporto e allo stesso tempo incrementa il flusso attraverso la bocca di ponente.

Si osserva anche un aumento della velocità all'imboccatura di levante, dovuto alla maggiore portata in ingresso, e una riduzione nel bacino di Sampierdarena, più importante in corrispondenza di Ponte San Giorgio e Ponte Ex Idroscalo.

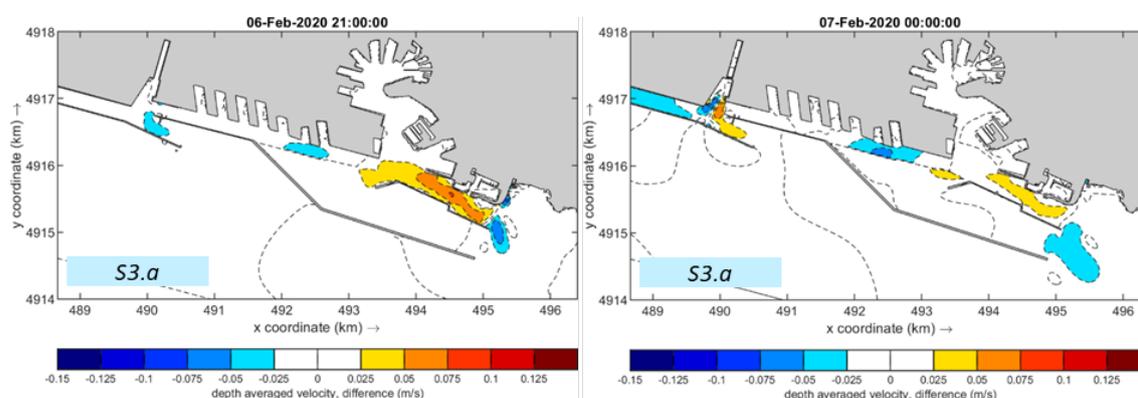


FIGURA 4-11 - DIFFERENZA DEL CAMPO IDRODINAMICO TRA LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A) E LO STATO ATTUALE PER GLI EVENTI DI PIENA CON $T_r = 10$ ANNI IN CORRISPONDENZA DEL COLMO DEL BISAGNO ALLE ORE 21:00 (SINISTRA) E DEL POLCEVERA ALLE ORE 24:00 (DESTRA)

L'ampliamento del bacino Sampierdarena, l'approfondimento dei fondali e il prolungamento della diga dell'aeroporto verso levante previsti per la realizzazione della soluzione di progetto in fase b) contribuiscono a modificare le condizioni di deflusso alla foce del Polcevera. Il flusso ottenuto a seguito delle simulazioni risulta deviato verso levante, all'interno del bacino di Sampierdarena, dove la portata viene quasi raddoppiata, con un aumento delle velocità dell'ordine di 10-15 cm/s (rif. Figura seguente).

La portata attraverso l'imboccatura di ponente si riduce di circa il 40% (da circa 650 m³/s a poco meno di 400 m³/s) mentre nel canale di calma si mantiene praticamente invariata, con una lieve riduzione del valore al colmo di piena che determina una riduzione della velocità all'interno del canale dell'ordine di 5 cm/s.

La fase b), non prevede variazioni dell'assetto planimetrico delle opere foranee alla foce del Bisagno; di conseguenza in quest'area non si riscontrano variazioni significative rispetto a quanto già osservato per la fase realizzativa a).

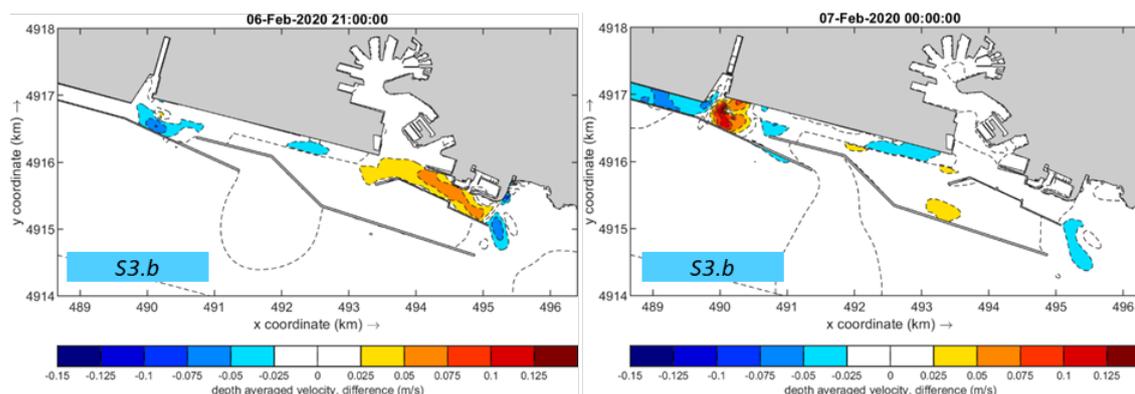


FIGURA 4-12 - DIFFERENZA DEL CAMPO IDRODINAMICO TRA LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE B) E LO STATO ATTUALE PER GLI EVENTI DI PIENA CON $T_R = 10$ ANNI IN CORRISPONDENZA DEL COLMO DEL BISAGNO (SINISTRA) E DEL POLCEVERA (DESTRA).

La sedimentazione e l'erosione cumulata ottenuta a seguito delle simulazioni alla foce del Polcevera e del Bisagno è mostrata rispettivamente nei diagrammi di Figura 4-13 e Figura 4-14. I diagrammi riportano i risultati ottenuti per la fase a) e per la fase b).

Per quanto riguarda i processi di trasporto solido fluviale, e la valutazione dei potenziali impatti dell'opere in relazione ai processi di sedimentazione ed erosione è possibile giungere alle seguenti conclusioni:

- gli apporti solidi dei torrenti Polcevera e Bisagno, dovuti in prevalenza al trasporto di sospensione, sono generalmente molto modesti e assumono rilevanza solo in occasione di eventi di piena contraddistinti da un tempo di ritorno dell'ordine di 5-10 anni.
- le variazioni del campo idrodinamico indotte dalle nuove opere foranee in occasione di eventi di piena con tempo di ritorno 10 anni sono di scarsa entità ed hanno di conseguenza un'influenza marginale sui processi di trasporto solido in sospensione;
- le variazioni ottenute per i processi di trasporto e sedimentazione si manifestano in prevalenza in prossimità delle foci del Bisagno e del Polcevera ma risultano nel complesso di modesta entità.

- al colmo dell'evento di piena del Polcevera, all'interno del bacino di Sampierdarena, la concentrazione del sedimento in sospensione risulta più elevata per la soluzione di progetto rispetto allo stato attuale (con un aumento di 0.1 Kg/m^3 pari a una variazione di circa il 5%). Contestualmente si osserva una riduzione della concentrazione del sedimento in sospensione all'interno del canale di calma (vedi Figura 4-15). La variazione della concentrazione dei sedimenti in sospensione alla foce del Bisagno risulta molto modesta (inferiore al 2%);
- la sedimentazione risulta più elevata rispetto allo stato attuale in corrispondenza della porzione più occidentale del bacino di Sampierdarena, dell'imboccatura di ponente e dell'imboccatura di levante del porto. Allo stesso tempo, all'interno del canale di calma, si osserva una riduzione dei processi di sedimentazione (Figura 4-16). L'incremento degli spessori di sedimentazione all'interno del bacino di Sampierdarena e dell'imboccatura di ponente, in occasione di un evento di piena con $T_r = 10$ anni, risulta, per la fase a) dell'ordine di $1.0 \div 3.0$ cm, mentre, all'imboccatura di levante, in prossimità della foce del Bisagno, l'incremento ottenuto risulta dell'ordine di 1.0 cm;
- per la fase realizzativa b) la sedimentazione risulta più marcata in corrispondenza della porzione più occidentale del bacino di Sampierdarena, presenta un incremento dello spessore dei sedimenti depositati compreso tra 1.0 e 5.0 cm.

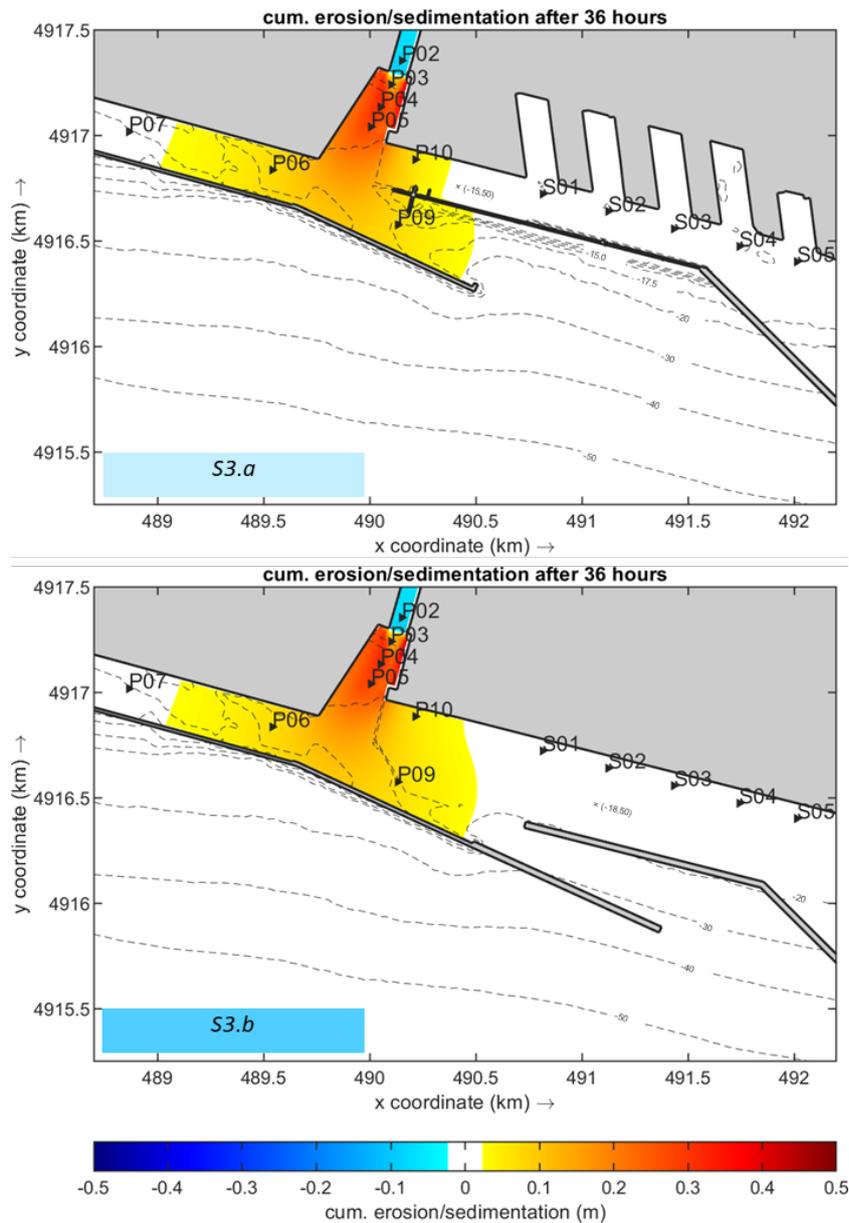


FIGURA 4-13 - SEDIMENTAZIONE ED EROSIONE CUMULATA OTTENUTA ALLA FOCE DEL POLCEVERA PER LA PORTATA CON $T_r = 10$ ANNI DOPO 36 ORE DI SIMULAZIONE. IN ALTO SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A (S3.A), IN BASSO IN FASE B (S3.B)

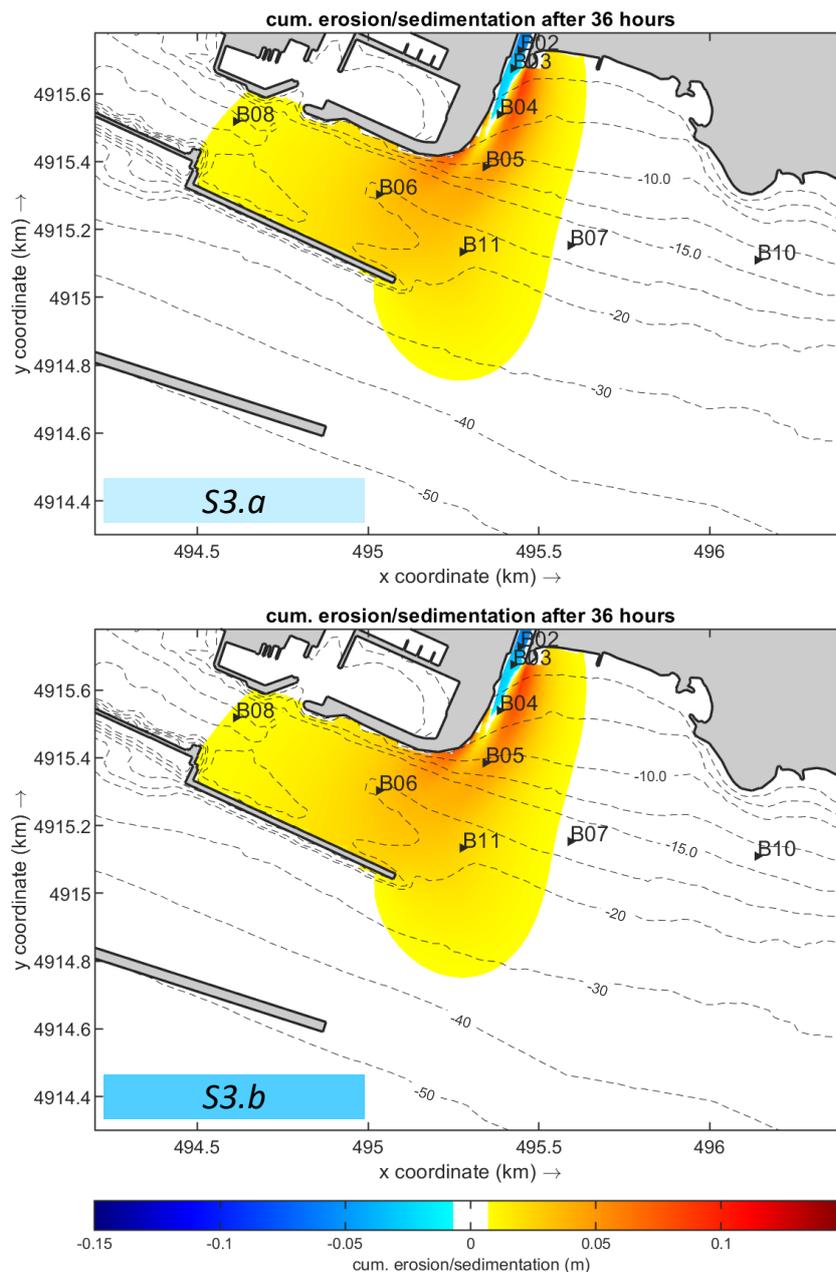


FIGURA 4-14 - SEDIMENTAZIONE ED EROSIONE CUMULATA OTTENUTA ALLA FOCE DEL BISAGNO PER LA PORTATA CON $TR = 10$ ANNI DOPO 36 ORE DI SIMULAZIONE. (DIAGRAMMA A SINISTRA) SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A, (DIAGRAMMA A DESTRA) SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE B (S3.B)

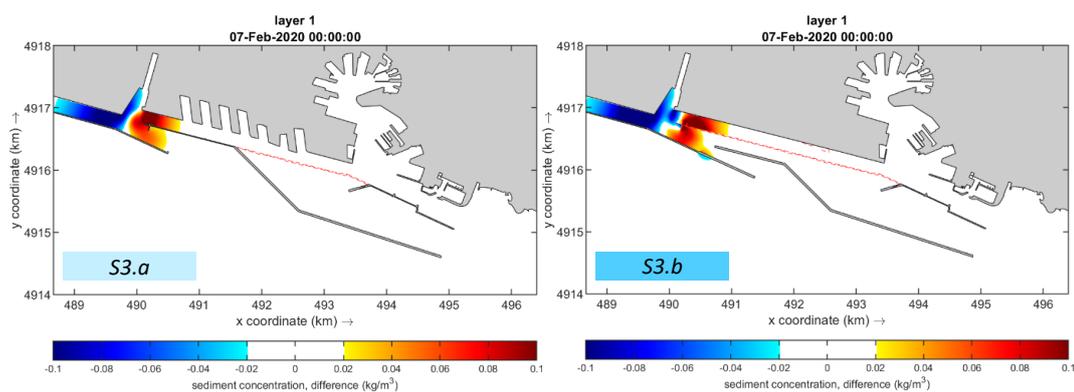


FIGURA 4-15 - VARIAZIONE, RISPETTO ALLO STATO ATTUALE, DELLA CONCENTRAZIONE DEL SEDIMENTO IN SOSPENSIONE (AL COLMO DI PIENA DEL POLCEVERA) OTTENUTA PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN OCCASIONE DI UN EVENTO DI PIENA SIMULTANEA DEL POLCEVERA E DEL BISAGNO CON TR = 10 ANNI. FASE A) (A SINISTRA) E FASE B) (A DESTRA)

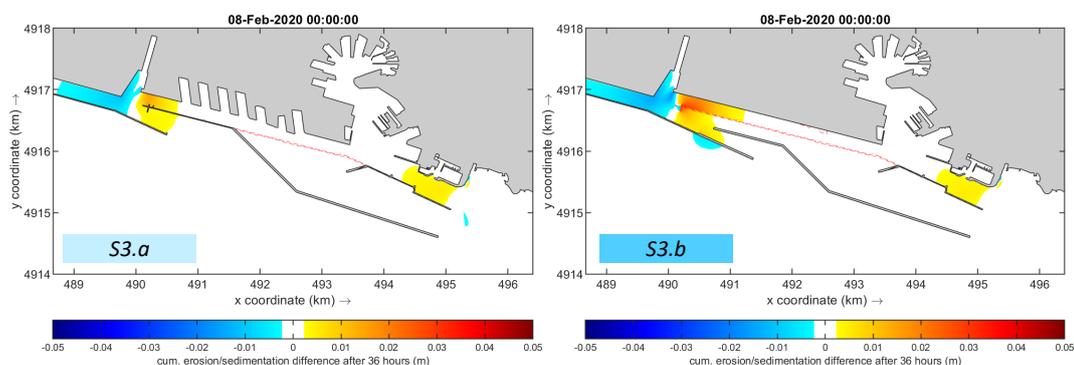


FIGURA 4-16 - VARIAZIONE, RISPETTO ALLO STATO ATTUALE, DELLA SEDIMENTAZIONE E DELL'EROSIONE CUMULATA ALL'INTERNO DEL DOMINIO DI CALCOLO OTTENUTA PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO AL TERMINE DELLE 36 ORE DI SIMULAZIONE IN OCCASIONE DI UN EVENTO DI PIENA SIMULTANEO DEL POLCEVERA E DEL BISAGNO CON TR = 10 ANNI. FASE A) (A SINISTRA) E FASE B) (A DESTRA)

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-17 - ACQUE DOLCI SUPERFICIALI. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI ESERCIZIO

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Variazione dell'idrodinamica delle foci e della sedimentazione nel bacino portuale	1	-1	3	3	2	-8	Lieve

4.7. Acque marino costiere

4.7.1. Stima degli impatti in fase di cantiere

4.7.1.1 Qualità delle acque

Per quanto attiene le acque marino costiere, le lavorazioni più critiche sono costituite dal consolidamento dei fondali, dalla movimentazione del materiale sciolto (pietrame) e dalla presenza dei mezzi e macchinari d'opera.

Il consolidamento dei fondali mediante colonne in ghiaia, la posa, la sagomatura e lo spianamento del materiale sciolto (pietrame) per la realizzazione dello scanno di imbasamento dei cassoni, date le caratteristiche granulometriche del fondale (strato superficiale di materiali prevalentemente argillosi), possono determinare la sospensione di materiale fine ed il potenziale aumento della torbidità nella colonna d'acqua.

Si rimanda al Paragrafo successivo per l'analisi e la valutazione di tale impatto potenziale.

Per il rilascio accidentale di sostanze pericolose dai mezzi e macchinari d'opera, si ritiene che l'utilizzo di mezzi recenti ed adeguatamente gestiti e mantenuti, consentirà di tenere sotto controllo il fenomeno.

Nel caso, dovranno comunque essere adottate le procedure e le prescrizioni tipicamente previste nel Piano di Sicurezza e Coordinamento, che sarà redatto nelle successive fasi progettuali, e nel Piano di Gestione Ambientale del Cantiere che sarà predisposto dall'Appaltatore.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-18 - ACQUE MARINO COSTIERE. QUALITÀ DELLE ACQUE. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Inquinamento delle acque marino costiere	1	-1	2	2	2	-6	Lieve

4.7.1.2 Propagazione di torbidità

Sorgenti di risospensione dei sedimenti

Le attività di cantiere che possono determinare la generazione di nuvole di torbida e, a seguito di processi di dispersione e diffusione, la propagazione verso le aree sensibili prossime all'area di intervento sono:

- il consolidamento dei terreni di fondazione con colonne in ghiaia (nel seguito indicato semplicemente come “consolidamento”);
- la rimozione dello scanno di imbasamento della diga attuale (nel seguito indicato semplicemente come “rimozione”);
- il dragaggio del Bacino Sampierdarena e dell’avamporto ed il conseguente refluento del sedimento dragato nei cassoni cellulari della nuova diga foranea (nel seguito indicato semplicemente come “dragaggio”).

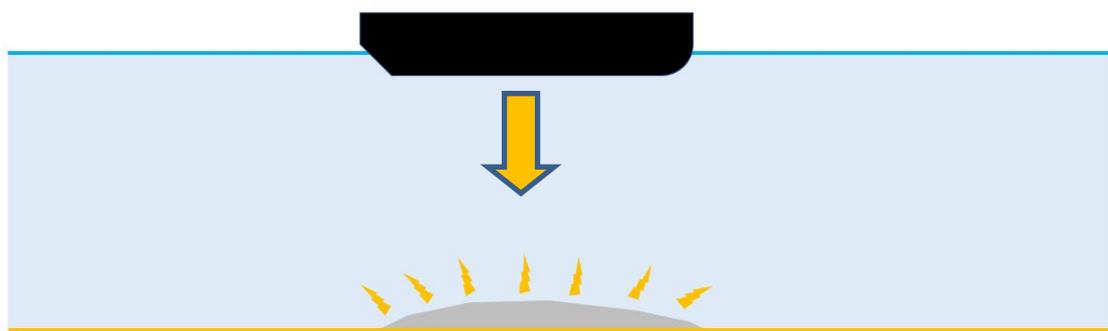


FIGURA 4-17 - SCHEMATIZZAZIONE QUALITATIVA DEL PROCESSO DI RISOSPENSIONE PER ATTIVITÀ DI CONSOLIDAMENTO DEL FONDALE

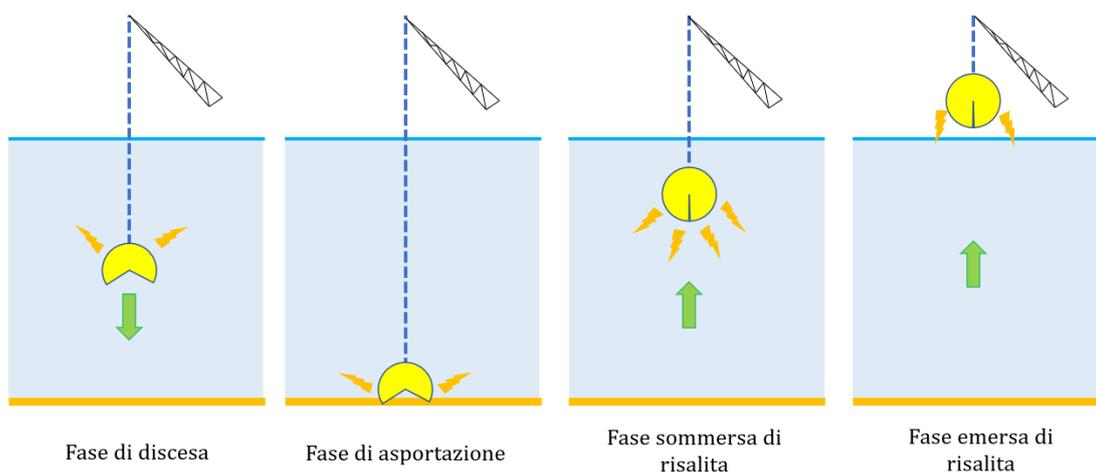


FIGURA 4-18 - SCHEMATIZZAZIONE QUALITATIVA DEL PROCESSO DI RISOSPENSIONE PER ATTIVITÀ DI RIMOZIONE O DRAGAGGIO

Da un punto di vista fisico, il fenomeno dell’evoluzione della torbidità a seguito di attività che inducono la risospensione della componente a grana fine del sedimento è legato alla dispersione che si verifica a causa della presenza di un campo idrodinamico

legato alle condizioni meteomarine. Al fenomeno di dispersione, si affianca il fenomeno della diffusione legato alle fluttuazioni turbolente del campo idrodinamico.

La quantità di sedimento disponibile alla dispersione nel cosiddetto campo lontano, è legato alle caratteristiche (intensità e geometria) della sorgente di risospensione e dalle caratteristiche granulometriche della miscela sedimentaria oggetto di movimentazione.

In particolare, per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, è di cruciale importanza la percentuale di sedimento appartenente alle classi dei limi e delle argille (diametro inferiore a 74 μm secondo la classificazione USCS - Unified Soil Classification System - oppure inferiore a 63 μm secondo la scala Wentworth).

Con l'obiettivo di sintetizzare il fenomeno, senza pretesa di completezza, esso può essere schematizzato in una serie di macrofenomeni descritti nel seguito.

- Fenomeno di risospensione. Dipendentemente dalle modalità operative e dalla tipologia di attività di movimentazione del sedimento, una frazione della componente a grana fine del sedimento è risospesa in colonna d'acqua e abbandona il cosiddetto campo vicino ancor prima di tornare sul fondo. La quantità di sedimento risospeso dipende dalla curva granulometrica (Becker *et al.* 2015).
- Fenomeno di dispersione. La frazione fine a disposizione del campo lontano viene trasportata dal campo idrodinamico dell'area. La dispersione è correlata alle caratteristiche del cosiddetto moto medio per cui, in condizioni ragionevolmente stazionarie, non si osservano fenomeni diffusivi legati al campo idrodinamico medio potenzialmente responsabili di diminuzione della concentrazione di sedimenti sospesi.
- Fenomeno di diffusione. In funzione dell'intensità del campo idrodinamico, è noto che esso è dato dalla sovrapposizione del moto medio (responsabile del fenomeno della dispersione) e di fluttuazioni che, pur non contribuendo al moto medio (poiché caratterizzate da una media nulla), influenzano l'evoluzione della nuvola di torbidità. Nella sostanza, le fluttuazioni del campo idrodinamico, dalle spiccate caratteristiche stocastiche, inducono un processo diffusivo dei sedimenti sospesi la cui concentrazione in colonna d'acqua, pertanto, tende a diminuire all'aumentare della distanza dalla sorgente di risospensione. È bene sottolineare che il fenomeno diffusivo avviene sia nel piano orizzontale, sia lungo la direzione verticale.
- Fenomeno di deposizione. Pur in assenza di un marcato processo di sedimentazione, a causa della limitata velocità di sedimentazione della componente di grana fine dei

sedimenti disponibili alla dispersione e diffusione nel campo lontano, le fluttuazioni stocastiche del percorso compiuto dalle singole particelle può portare i singoli grani di sedimento a raggiungere il fondale. Tale processo è, a tutti gli effetti, inquadrabile nell'ambito di un processo di deposizione che sottrae una frazione di sedimento sospeso al processo di dispersione e diffusione della nuvola di torbidità.

Aree sensibili

Nei dintorni dell'area di intervento sono presenti alcune aree potenzialmente sensibili alla propagazione della torbidità conseguente alle attività di consolidamento dei fondali, rimozione dello scanno di imasamento e dragaggio.

- Zona Speciale di Conservazione (ZSC, IT1332576) denominata “Fondali Boccadasse - Nervi”, il cui contorno più vicino al Porto è localizzato a circa 2 km a Est dall'imboccatura di levante;
- Zona Speciale di Conservazione (ZSC, IT1332477) denominata “Fondali Arenzano - Punta Ivrea”, localizzato a circa 10 Km a Ovest dall'imboccatura di Ponente.

A queste due aree si aggiungono alcuni siti di interesse sociale e ambientale costituiti da spiagge “cittadine” presenti sia a Ovest (spiaggia di Voltri) sia a Est (spiagge di Albaro e di Quarto dei Mille) del Porto.

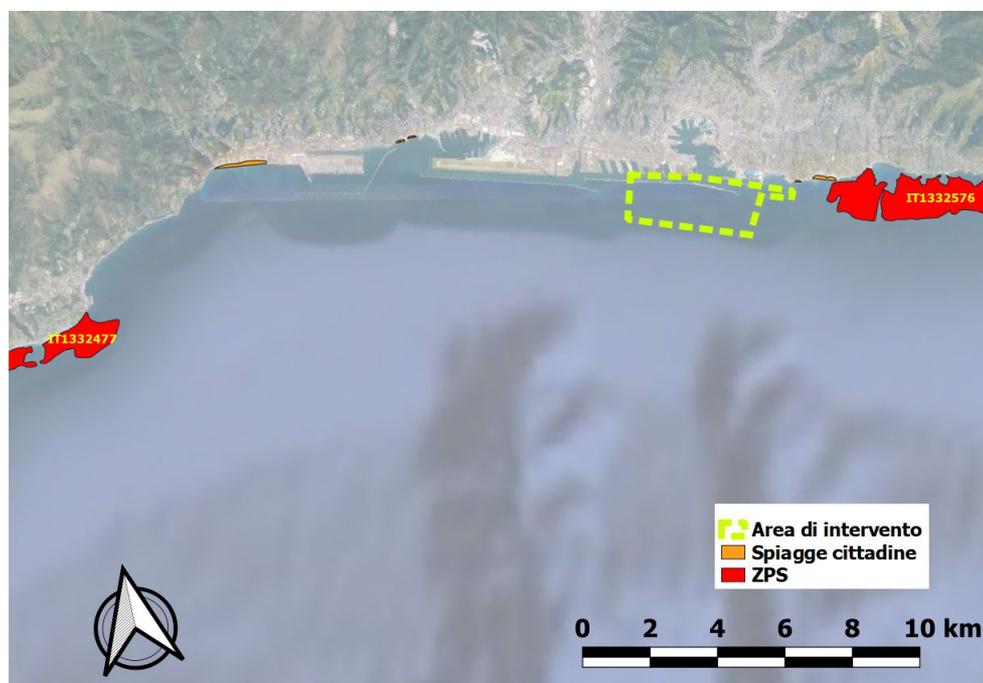


FIGURA 4-19 - LOCALIZZAZIONE DELLE AREE SENSIBILI

Analisi della propagazione della torbidità indotta dalle lavorazioni

Al fine di fornire una stima qualitativa e quantitativa delle caratteristiche dei processi di dispersione e diffusione delle nuvole di torbida è stato effettuato uno studio specifico che ha previsto l'esecuzione di 40 simulazioni numeriche.

Nel seguito sono sintetizzate le analisi condotte; si rimanda allo studio riportato in Allegato B, per approfondimenti e dettagli in merito

L'obiettivo dell'analisi è la valutazione quantitativa dell'entità della concentrazione di sedimenti sospesi generati dalle tre lavorazioni (consolidamento terreni di fondazione, rimozione scanno della diga esistente, dragaggio nel bacino di Sampierdarena e nell'attuale avamporto), che possono potenzialmente avere effetti sulle aree sensibili poste nei dintorni dell'area di intervento.

È stata dunque valutata la concentrazione di sedimenti sospesi in colonna d'acqua, ovvero della corrispondente torbidità, riconducibile direttamente alle suddette lavorazioni previste per la realizzazione della nuova opera.

A tal fine, le stime quantitative dei sedimenti sospesi in colonna d'acqua devono essere confrontate con i valori normalmente osservabili nelle aree di interesse.

Questi ultimi, in prima approssimazione, possono essere desunti dalla rete regionale di monitoraggio dell'ecosistema marino che, tra i tanti parametri misurati, fornisce una stima che normalmente caratterizza la torbidità delle acque nell'area di interesse (rif. Volume 02, Paragrafo 3.1.6.2).

L'evoluzione spazio-temporale della nuvola di torbidità è stata quantificata tramite l'analisi del percorso di una serie di traccianti passivi trasportato da un campo idrodinamico predeterminato e soggetto ad un fenomeno diffusivo legato alle sue fluttuazioni turbolente.

Modello numerico utilizzato

Lo studio si fonda sull'utilizzo di un modello del tipo "random walk", tipicamente utilizzato in casi simili a quello in esame (Linee Guida ISPRA, Lisi *et al.*, 2017).

L'approccio numerico utilizzato, di tipo lagrangiano, ha permesso di riprodurre l'effetto delle modalità operative relative alle attività di cantiere che possono determinare propagazione di torbidità: rimozione dello scanno di imbasamento della diga esistente, consolidamento dei terreni di fondazione con colonne in ghiaia, dragaggio del bacino di Sampierdarena e dell'attuale avamporto.

È stato così possibile ricostruire la distribuzione spazio-temporale della concentrazione di solidi sospesi per la valutazione degli impatti attesi.

La ricostruzione tiene conto delle caratteristiche stocastiche del processo di diffusione, anche lungo la direzione verticale, della nube di torbida, proporzionale alle intensità delle correnti responsabili della dispersione dei sedimenti sospesi.

Allo stesso modo, la descrizione del processo di diffusione permette di valutare l'entità della deposizione sul fondo.

Si sottolinea che l'approccio utilizzato, a favore di sicurezza, non mira a riprodurre il fenomeno della flocculazione per cui, all'aumentare della concentrazione, aumenta la velocità di sedimentazione dei flocculi.

È stato inoltre trascurato l'effetto di risospensione (cioè di generazione della torbida) legato alla presenza delle eliche dei mezzi marittimi, poiché, alla luce delle alte profondità (superiori ai 15 m in tutte le aree di intervento) e del limitato valore del pescaggio dei mezzi marittimi di cantiere utilizzati, si ritiene tale contributo del tutto trascurabile.

Scenari di simulazione

Sono stati riprodotti diversi scenari, considerando due condizioni di vento (Libeccio, direzione di provenienza del vento 230°N; Scirocco, direzione di provenienza del vento 115°N) e due frequenze di superamento (vento frequente e vento raro).

La scelta degli scenari è stata effettuata con il fine di fornire i risultati per condizioni piuttosto frequenti (frequenze di non superamento superiori a 9 mesi/anno) e per condizioni rare, ma che accadono almeno con frequenza annuale (frequenze di superamento di poche ore anno).

Nella seguente Tabella sono sintetizzate le caratteristiche delle forzanti meteomarine.

La velocità del vento per le simulazioni di "Libeccio" è pari a 4 m/s (VLF - Vento Libeccio Frequente) e 12.5 m/s (VLR - Vento Libeccio Raro). La relativa frequenza di superamento è pari a 85 gg/anno e 20 ore/anno rispettivamente.

La velocità del vento per le simulazioni di "Scirocco" è pari a 6 m/s (VSF - Vento Scirocco Frequente) e 12.5 m/s (VSR - Vento Scirocco Raro). La relativa frequenza di superamento è pari a 40 gg/anno e 10 ore/anno rispettivamente.

TABELLA 4-19 - SCENARI METEOMARINI UTILIZZATI PER L'ANALISI DELLA PROPAGAZIONE DELLA TORBIDITÀ

Scenario meteomarino	VL-R	VL-F	VS-R	VS-F
Settore di provenienza del vento	Libeccio		Scirocco	
Direzione di provenienza del vento (°N)	230	230	115	115
Velocità del vento (m/s)	12.5	4.0	12.5	6.0
Frequenza di superamento (gg/anno)	≈0.8	≈85	≈0.4	≈40
Frequenza di non superamento (gg/anno)	≈364.4	≈280	≈364.8	≈325

Per ogni lavorazione, sono state considerate tre diverse aree di operatività, con l'obiettivo di identificare le condizioni peggiori rispetto alla migrazione della nube di torbida:

- in Figura 4-20 l'ubicazione delle tre sorgenti di risospensione (C-P1, C-P2, C-P3) utilizzate per l'analisi della lavorazione di consolidamento dei terreni di fondazione;
- in Figura 4-21 l'ubicazione delle tre sorgenti di risospensione (R-P1, R-P2, R-P3) utilizzate per l'analisi della lavorazione di rimozione dello scanno di imbasamento della diga attuale;
- in Figura 4-22 l'ubicazione delle tre sorgenti di risospensione (D-P1, D-P2, D-P3) utilizzate per l'analisi della lavorazione di dragaggio.

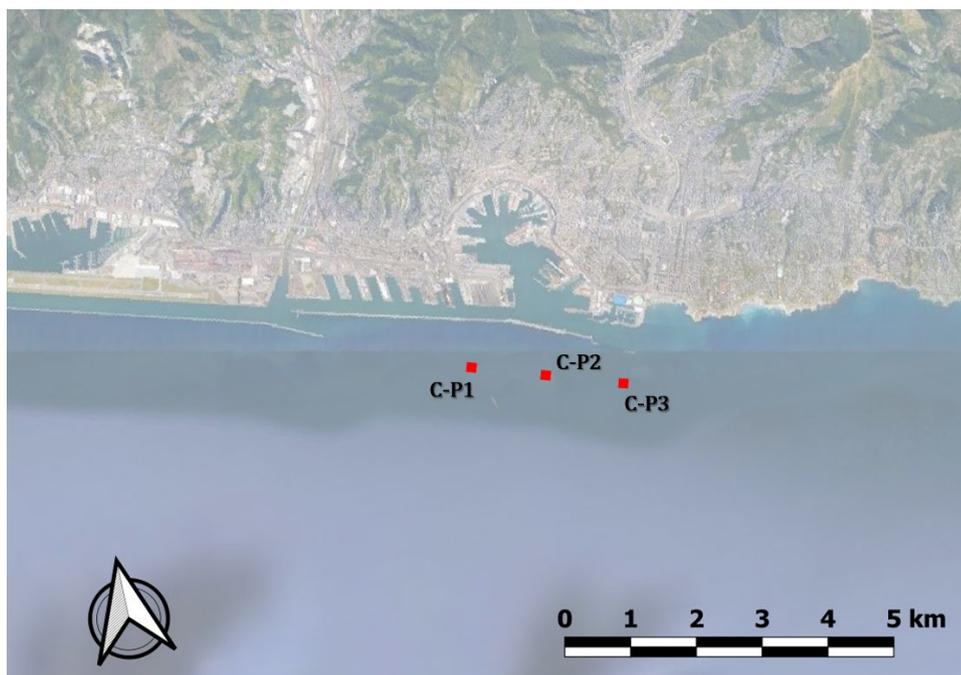


FIGURA 4-20 - UBICAZIONE DELLE SORGENTI DI RISOSPENSIONE UTILIZZATE PER L'ANALISI DELLA LAVORAZIONE DI CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI DI FONDAZIONE



FIGURA 4-21 - UBICAZIONE DELLE SORGENTI DI RISOSPENSIONE UTILIZZATE PER L'ANALISI DELLA LAVORAZIONE DI RIMOZIONE DELLO SCANNO DI IMBASAMENTO DELLA DIGA ATTUALE

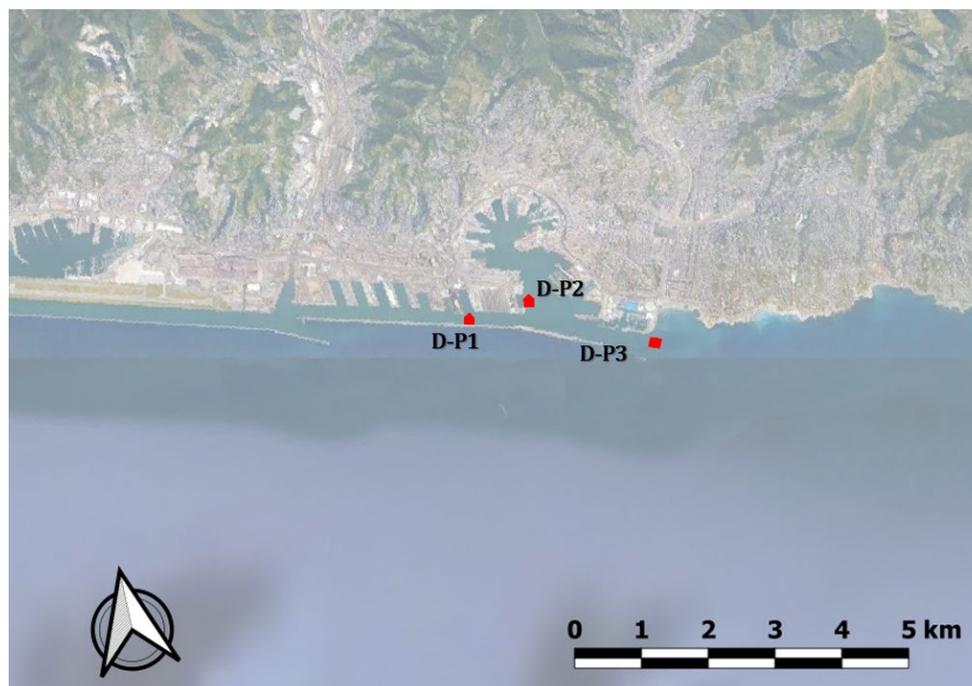


FIGURA 4-22 - UBICAZIONE DELLE SORGENTI DI RISOSPENSIONE UTILIZZATE PER L'ANALISI DELLA LAVORAZIONE DI DRAGAGGIO DEL BACINO DI SAMPIERDARENA E NELL'AVAMPORTO

Sintesi dei risultati delle simulazioni

Nel seguito sono illustrati sinteticamente i risultati delle analisi condotte; si rimanda allo studio riportato in Allegato B per approfondimenti e dettagli in merito.

Innanzitutto, si mostrano i risultati più significativi ottenuti con il modello idrodinamico in condizioni frequenti di vento da scirocco e libeccio, con riferimento alle configurazioni delle opere d'interesse per le tre lavorazioni di cantiere (Figura 4-23 e Figura 4-24).

Poi nella Figura 4-25 e Figura 4-26, a titolo di esempio dei fenomeni in gioco, si mostrano i risultati ottenuti per la lavorazione di consolidamento dei terreni di fondazione e vento frequente da libeccio/scirocco.

Le Figure mostrano l'evoluzione spazio-temporale qualitativa della dispersione dei sedimenti risospesi e della deposizione al fondo di parte degli stessi sedimenti, con riferimento a tre istanti di tempo: a 1 ora e 40 minuti, 5 ore e 10 ore dal tempo di rilascio dei traccianti passivi.

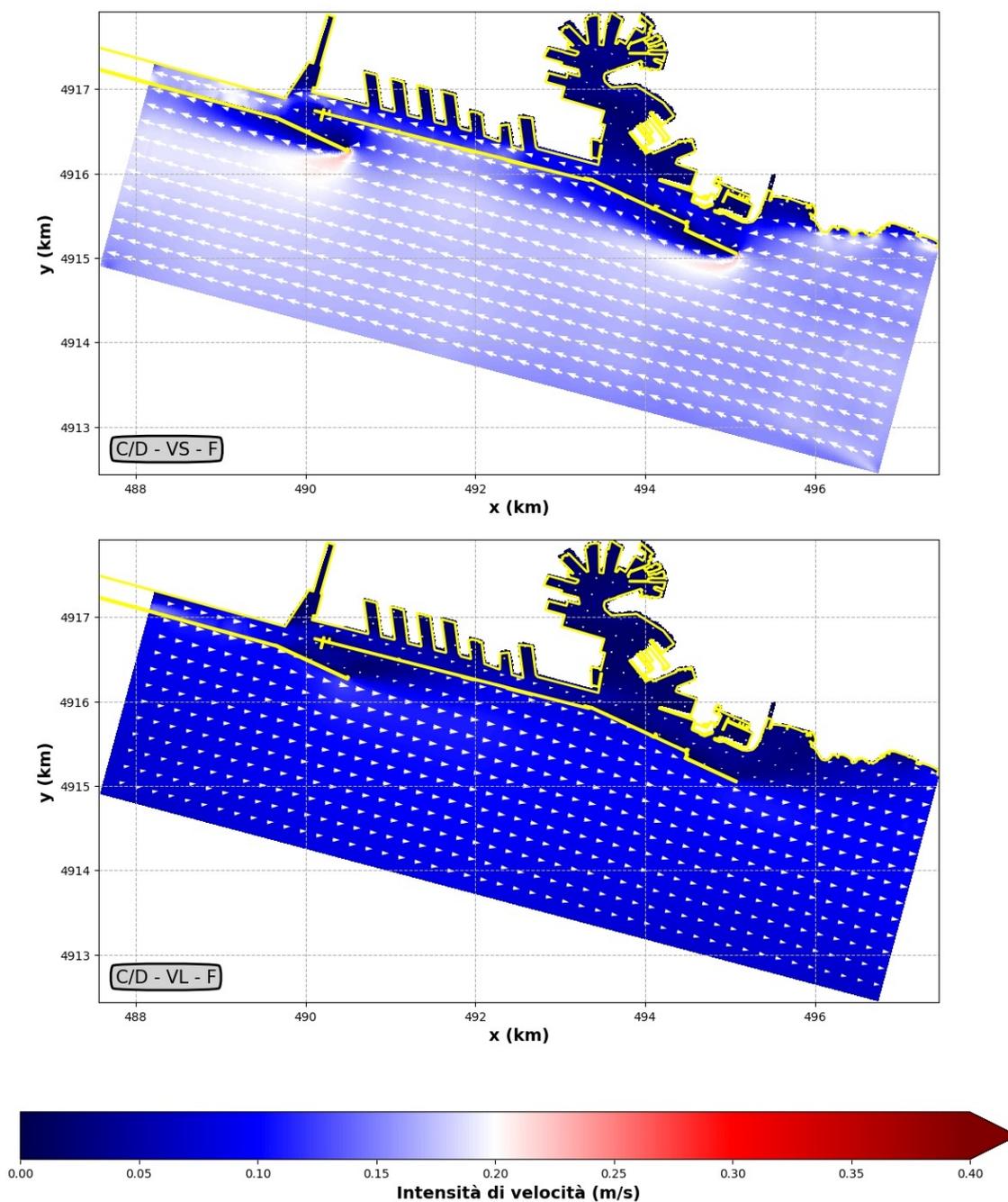


FIGURA 4-23 - CAMPI IDRODINAMICI RELATIVI AL VENTO FREQUENTE DI SCIROCCO (IN ALTO) E DI LIBECCIO (IN BASSO) UTILIZZATI PER GLI SCENARI DELLE LAVORAZIONI DI CONSOLIDAMENTO E DRAGAGGIO

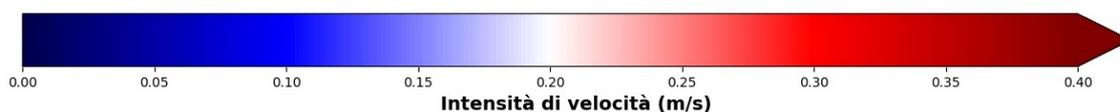
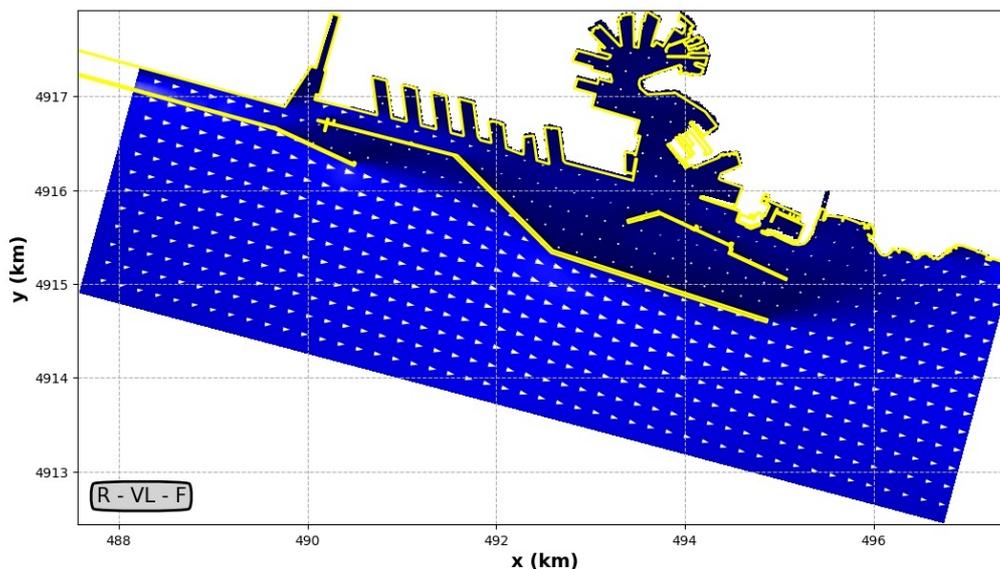
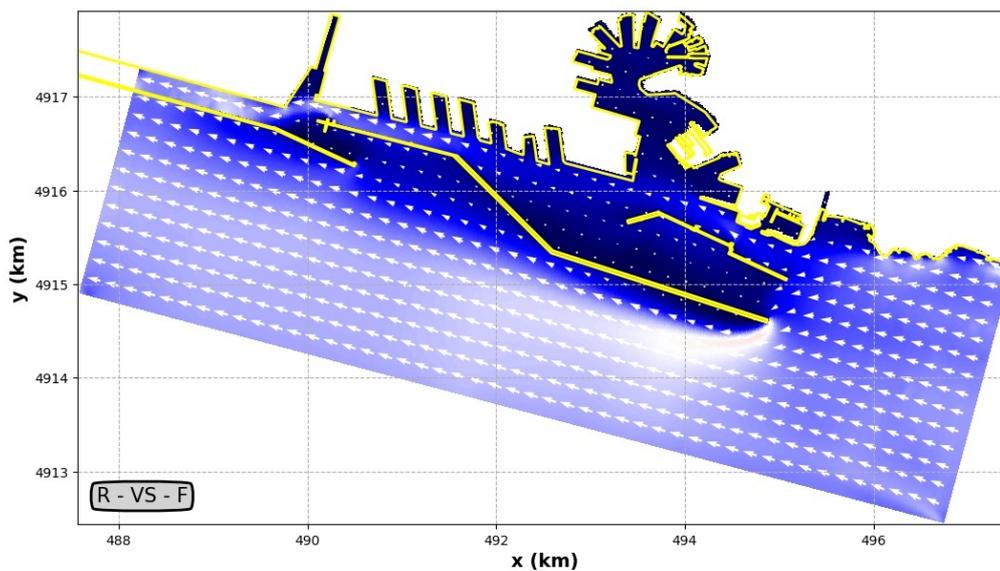


FIGURA 4-24 - CAMPI IDRODINAMICI RELATIVI AL VENTO FREQUENTE DI SCIROCCO (IN ALTO) E DI LIBECCIO (IN BASSO) UTILIZZATI PER GLI SCENARI DELLE LAVORAZIONI DI RIMOZIONE DELLO SCANNO DI IMBASAMENTO DELLA DIGA ESISTENTE

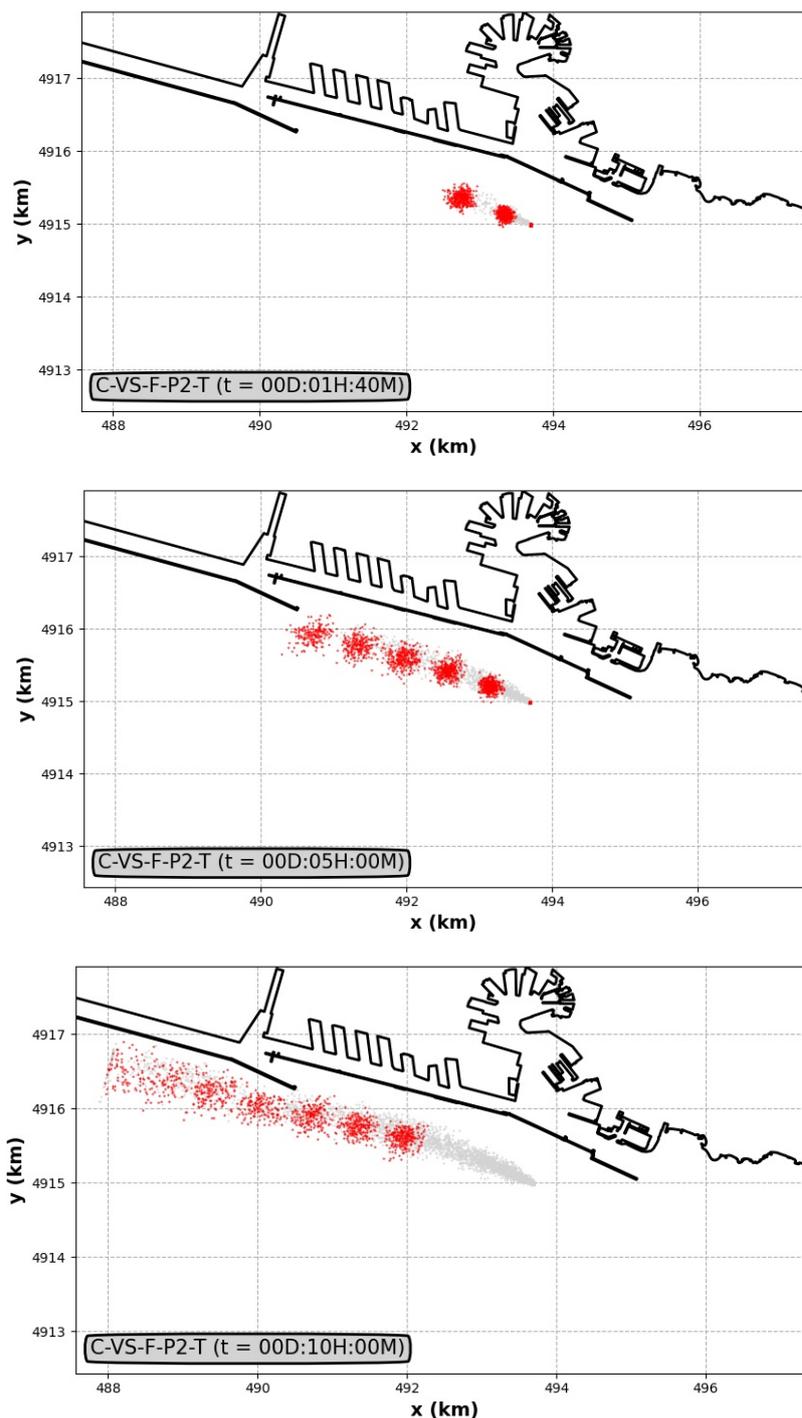


FIGURA 4-25 - ESEMPIO DI PROPAGAZIONE DI TORBIDITÀ PER IL CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI DI FONDAZIONE NEL CASO DI VENTO FREQUENTE PROVENIENTE DA SCIROCCO. I SIMBOLI CHIARI INDICANO I TRACCIANTI PASSIVI DEPOSITATI SUL FONDO

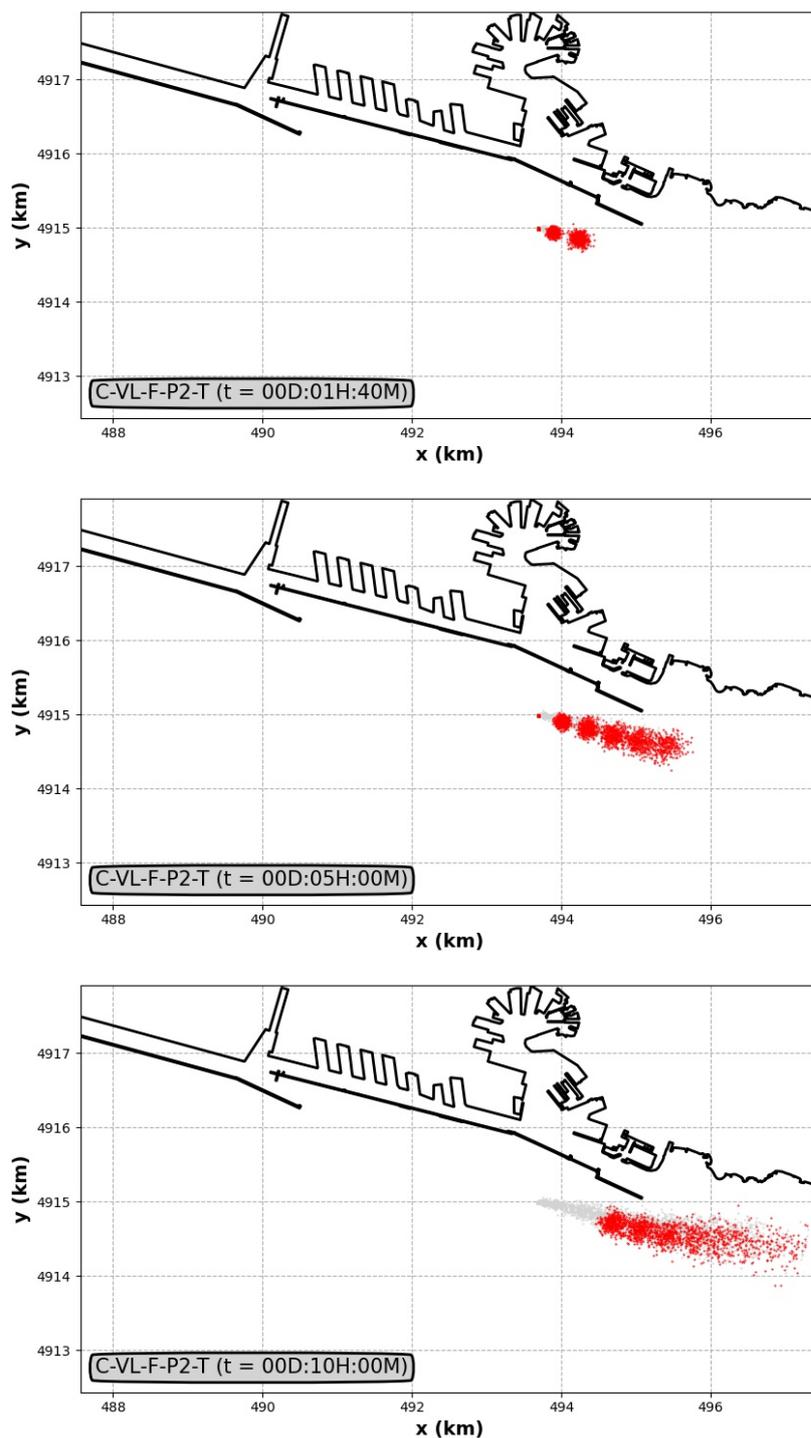


FIGURA 4-26 - ESEMPIO DI PROPAGAZIONE DI TORBIDITÀ PER IL CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI DI FONDAZIONE NEL CASO DI VENTO FREQUENTE PROVENIENTE DA LIBECCIO. I SIMBOLI CHIARI INDICANO I TRACCIANTI PASSIVI DEPOSITATI SUL FONDO.

Nelle Figure seguenti, invece, sono riportati i risultati più significativi per le tre lavorazioni previste che inducono torbidità.

L'analisi dei risultati ottenuti permette di osservare quanto segue.

- l'attività di consolidamento dei terreni di fondazione, in linea generale, induce la generazione e successiva migrazione di una nuvola di torbida caratterizzata da una concentrazione trascurabile rispetto alla torbidità attuale delle acque, come desunta dalla rete regionale di monitoraggio (rif. Volume 02, Paragrafo 3.1.6.2);
- l'attività di rimozione dello scanno di imbasamento della diga attuale induce una concentrazione mediamente molto limitata, pur se superiore a quella ottenuta per l'attività di consolidamento. I sedimenti sospesi rimangono confinati all'interno della nuova area portuale e, pertanto, sono destinati ad essere drenati verso il largo in relazione ai meccanismi di ricambio idrico del bacino portuale (Paragrafo 4.7.2.4);
- l'attività di dragaggio induce concentrazioni superiori rispetto alle lavorazioni di consolidamento dei terreni di fondazione e rimozione dello scanno di imbasamento della diga attuale. Tuttavia, le concentrazioni stimate risultano limitate ed accettabili già a distanza ridotta dalle aree di scavo. I sedimenti sospesi rimangono sostanzialmente confinati all'interno dell'area portuale per cui possono escludersi fenomeni di eventuale sovrapposizione con i sedimenti risospesi a causa delle attività di consolidamento del fondale previsti a largo della diga attuale. Fa eccezione, nel caso di venti provenienti dal settore di Libeccio, il dragaggio dell'area dell'avamposto. In tal caso, i sedimenti sospesi sono dispersi e diffusi al di fuori dell'area portuale, ma raggiungono velocemente la costa prima di dirigersi verso le aree sensibili localizzate più a Est. Al fine di limitare i sedimenti risospesi causati dal dragaggio dell'avamposto che riescono a spostarsi verso Est in presenza di vento di Libeccio, si è verificato che l'impiego di una draga meccanica di tipo ambientale (Figura 4-30) riesce a ridurre drasticamente la quantità di materiale disponibile al campo lontano riducendo di conseguenza eventuali impatti sulle coste adiacenti.

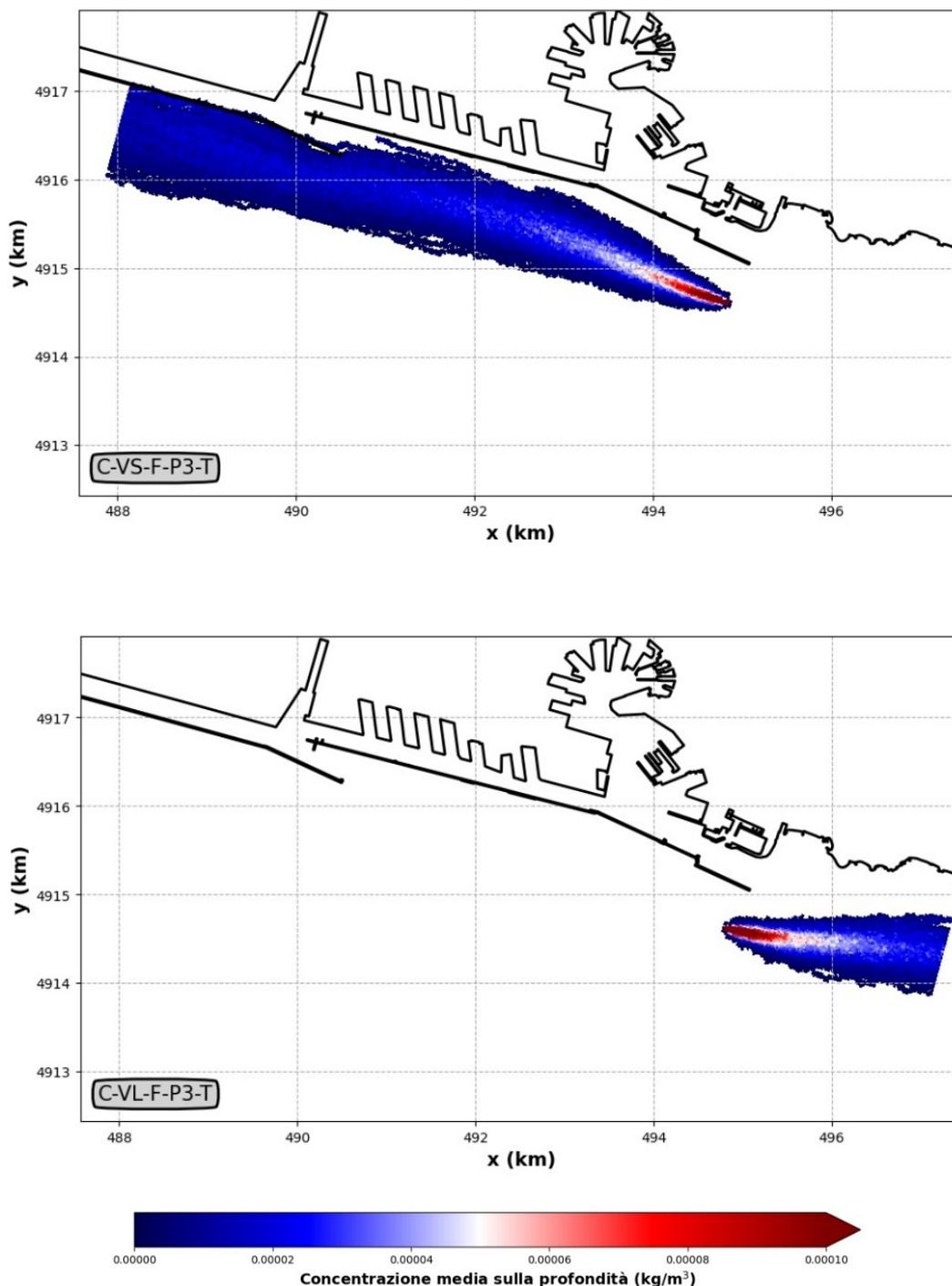


FIGURA 4-27 - CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI DI FONDAZIONE. RISULTATI NUMERICI IN TERMINI DI CONCENTRAZIONE MEDIA SULLA PROFONDITÀ (kg/m^3). VENTO FREQUENTE DA SCIROCCO (IN ALTO) E DA LIBECCIO (IN BASSO)

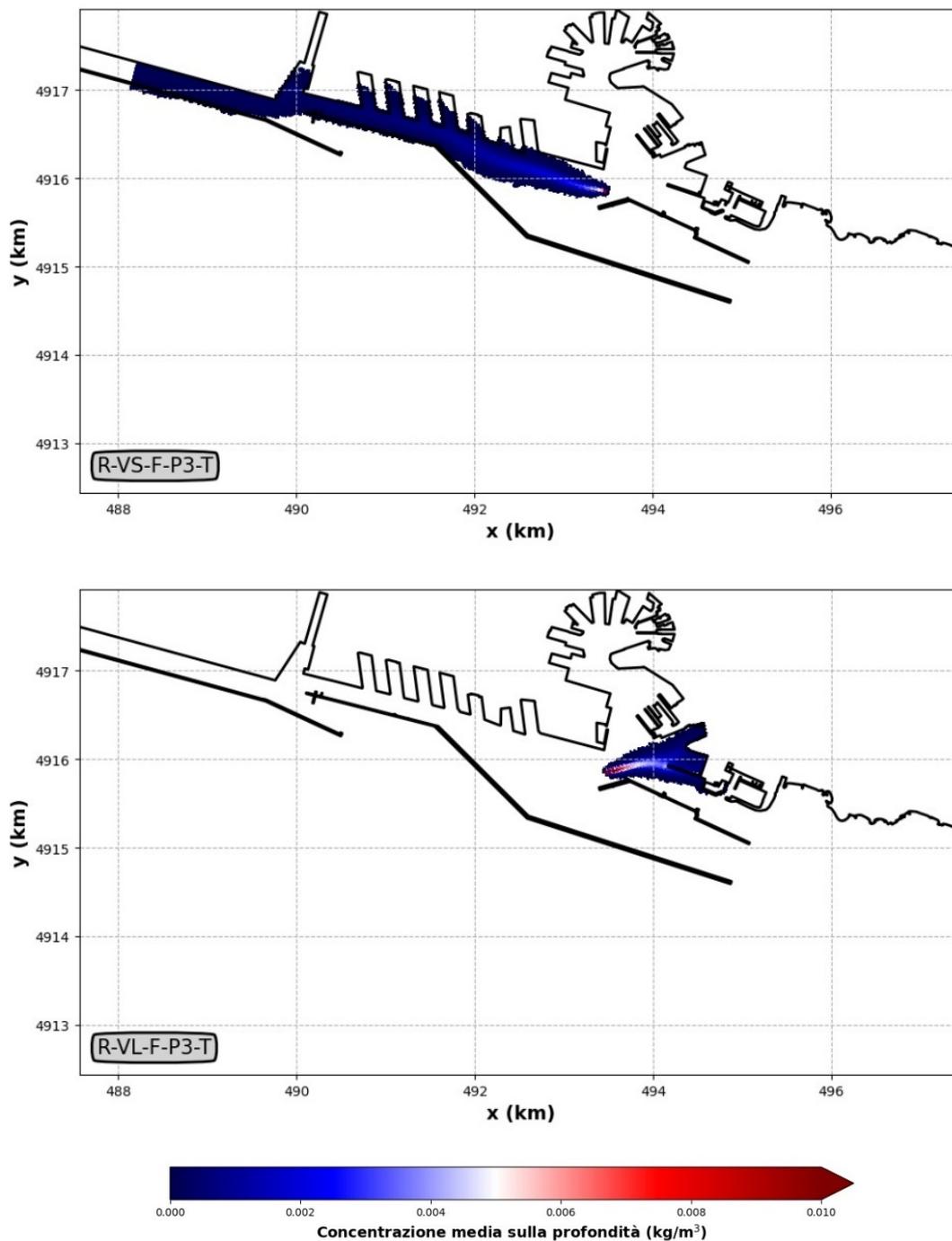


FIGURA 4-28 - RIMOZIONE DELLO SCANNO D'IMBASAMENTO DELLA DIGA ESISTENTE. RISULTATI NUMERICI IN TERMINI DI CONCENTRAZIONE MEDIA SULLA PROFONDITÀ (KG/M³). VENTO FREQUENTE DA SCIROCCO (IN ALTO) E DA LIBECCIO (IN BASSO)

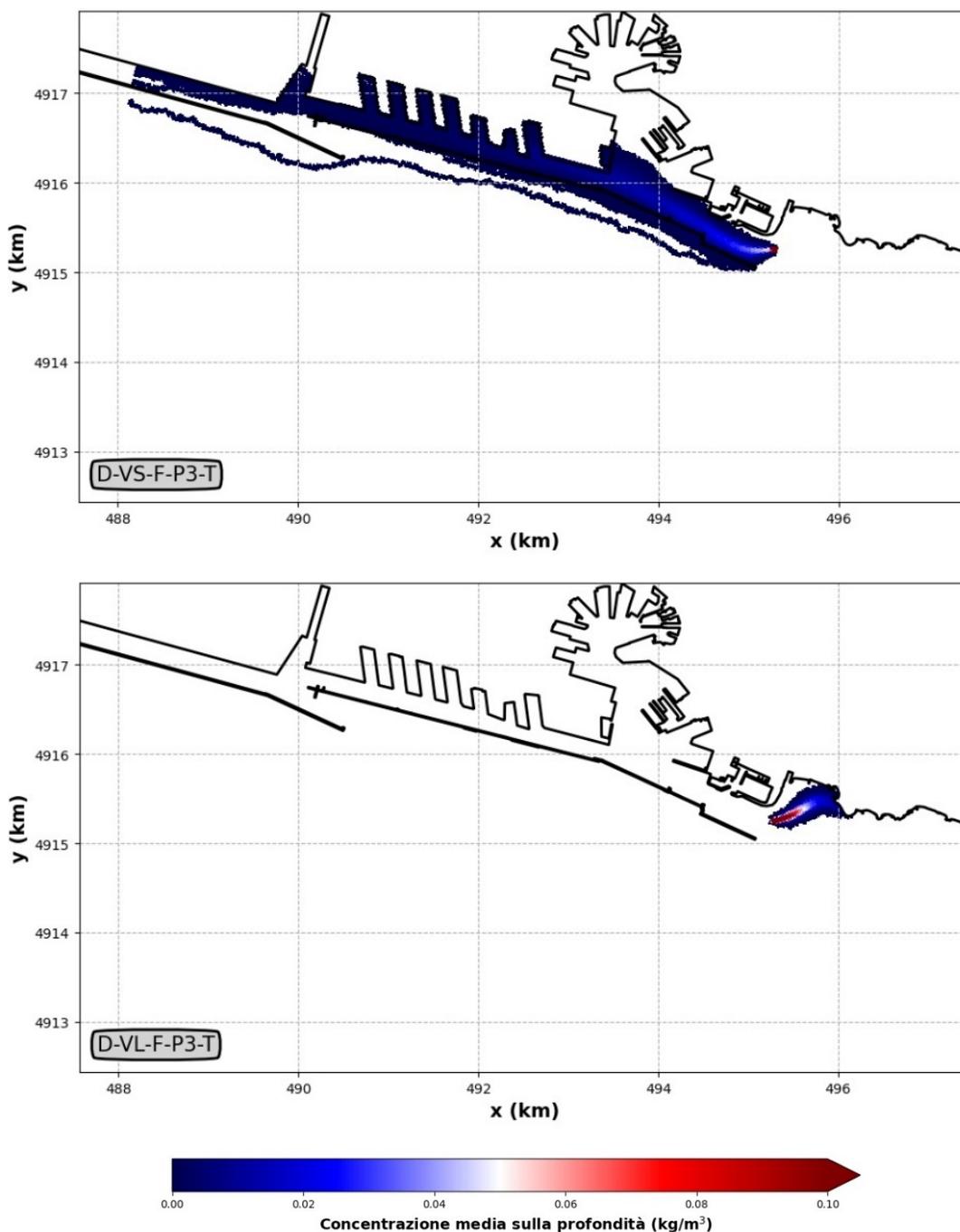


FIGURA 4-29 - DRAGAGGIO CON TECNICA TRADIZIONALE CON BENNA. RISULTATI NUMERICI IN TERMINI DI CONCENTRAZIONE MEDIA SULLA PROFONDITÀ (KG/M^3). VENTO FREQUENTE DA SCIROCCO (IN ALTO) E DA LIBECCIO (IN BASSO)

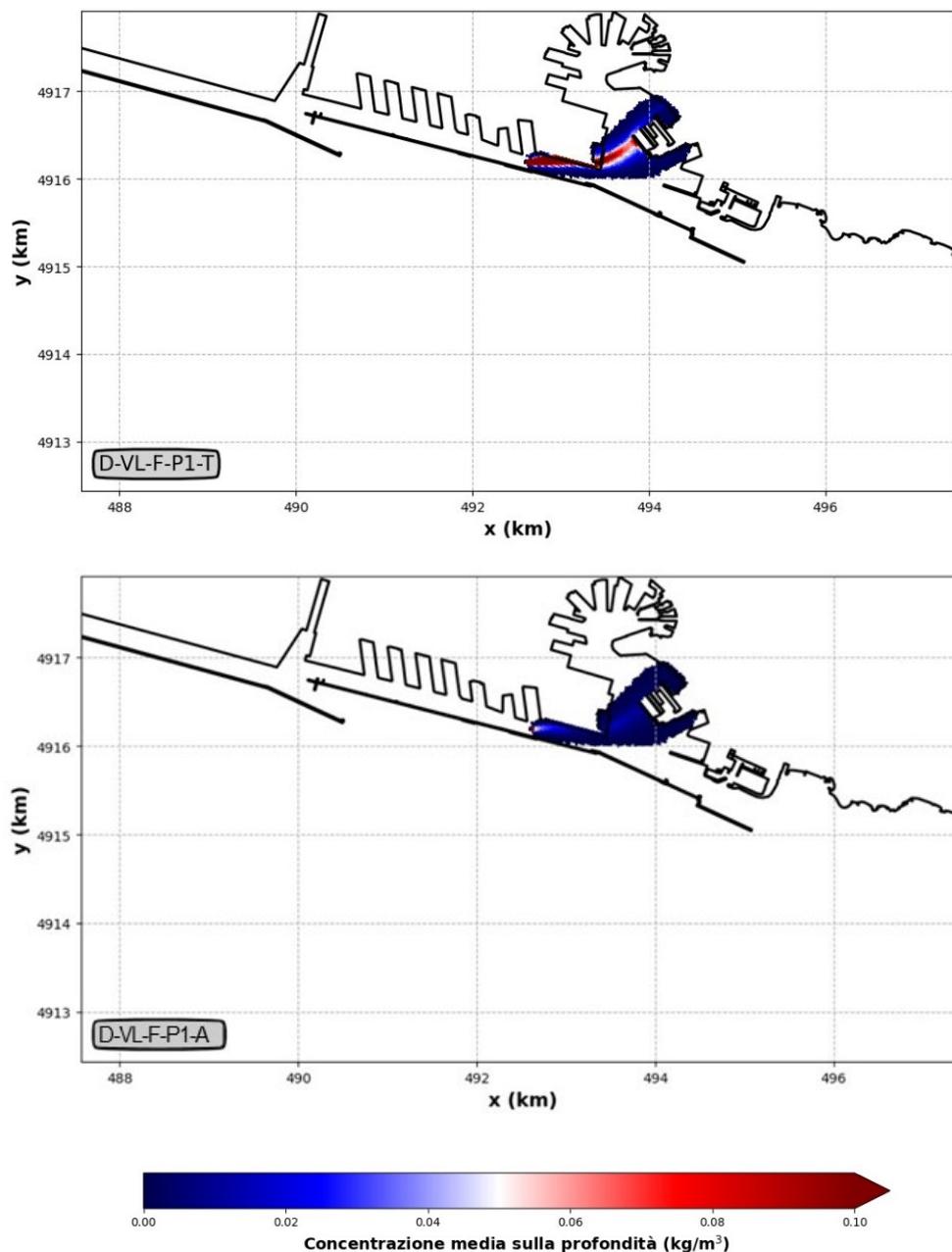


FIGURA 4-30 - DRAGAGGIO CON TECNICA TRADIZIONALE CON BENNA (IN ALTO) E CON TECNICA AMBIENTALE (IN BASSO). RISULTATI NUMERICI IN TERMINI DI CONCENTRAZIONE MEDIA SULLA PROFONDITÀ (KG/M³). VENTO FREQUENTE DA LIBECCIO

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-20 - ACQUE MARINO COSTIERE. PROPAGAZIONE DI TORBIDITÀ. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Propagazione di torbidità	1	-1	2	2	2	-6	Lieve

4.7.2. Stima degli impatti in fase di esercizio

4.7.2.1 Qualità delle acque

La presenza della nuova diga nel contesto territoriale di riferimento non costituisce un elemento in grado di determinare un peggioramento della qualità delle acque marino costiere

Ciò vale anche in relazione al previsto spostamento della condotta di scarico gestita da IRETI S.p.A. (rif. Volume 1, Paragrafo 2.5.1); lo scarico a mare, infatti, avverrà sempre a norma di legge e sarà su fondali più profondi.

Non sono dunque identificabili impatti potenziali per tale aspetto.

Tuttavia, nell'ambito del progetto e del presente Studio sono stati analizzati e valutati gli effetti indotti dalla nuova diga e dai fondali approfonditi in termini di ricambio idrico all'interno del bacino portuale ed all'esterno. Si rimanda al Paragrafo 4.7.2.4 ed al Paragrafo 4.7.2.5 per l'analisi e valutazione dei relativi impatti potenziali.

4.7.2.2 Condizioni idrodinamiche e moto ondoso

La realizzazione delle opere foranee previste dal progetto della nuova diga foranea di Genova non può certamente avere alcun'influenza sulla circolazione generale delle masse d'acqua all'interno del Golfo di Genova illustrata al Volume 2, Paragrafo 3.1.6.3, nell'ambito dell'analisi dello stato attuale.

Localmente, in prossimità della costa e in maggior misura all'interno del bacino portuale, la nuova conformazione delle opere foranee, unitamente agli interventi di approfondimento dei fondali nel bacino Sampierdarena, può determinare una variazione della circolazione idrica.

Lo studio idrodinamico condotto per la definizione delle condizioni meteomarine necessarie per l'esecuzione delle prove di navigabilità con il simulatore di manovra in

“real time” (cod. elaborato: MI046R-PF-D-I-R-026-01)³, si è rivolto alla valutazione della circolazione idrica per la configurazione di progetto determinata dalla marea astronomica in presenza di un vento intenso, di velocità pari a 12.5 m/s.

Lo studio è stato condotto con il modello numerico di idrodinamica Delft3D-Flow utilizzando la griglia di calcolo e le condizioni al contorno già applicate per la valutazione dello stato di fatto (rif. Volume 2, Paragrafo 3.1.5.2).

La configurazione delle opere foranee prevista da progetto, sia per la fase a) che per la fase b), e la batimetria all'interno del dominio di calcolo adottata per le simulazioni è rappresentata nei grafici di Figura 4-9 riportati al precedente Paragrafo 4.6.2.2.

Sono stati analizzati i campi idrodinamici determinati dalle seguenti condizioni meteomarine:

- Scenario 2: marea astronomica (come per Scenario 1) e vento proveniente da Scirocco/Mezzogiorno 115° N di velocità 12.5 m/s e durata 24 ore;
- Scenario 3: marea astronomica (come per Scenario 1) e vento proveniente da Libeccio 230° N di velocità 12.5 m/s e durata 24 ore.

Le correnti indotte dal vento possono presentare una significativa stratificazione sulla verticale. Per questo motivo, al fine di valutare con maggior dettaglio il campo di velocità superficiale, sono state condotte simulazioni numeriche in 3D.

I risultati ottenuti per lo stato di fatto per lo Scenario 1 (solo marea astronomica) hanno mostrato che la circolazione idrica nel porto di Genova determinata dalla sola marea astronomica risulta molto modesta. Pertanto, nell'ambito dello studio idrodinamico rivolto alla caratterizzazione dei campi di corrente per effettuare le prove con il simulatore queste condizioni non sono state prese in considerazione.

Tale aspetto è stato oggetto di valutazione nell'ambito dello studio finalizzato alla valutazione della capacità di ricambio idrico del bacino portuale (Paragrafo 4.7.2.4).

I risultati ottenuti per la soluzione di progetto mostrano che lungo la rotta di accesso alla nuova imboccatura portuale di levante la corrente indotta da un vento intenso di Scirocco (Scenario 2) mantiene una traiettoria pressoché rettilinea e parallela alla costa, con valori di velocità compresi tra 0.20 e 0.30 m/s. La grande massa d'acqua contenuta

³ Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, “Realizzazione della nuova diga foranea del Porto di Genova, ambito bacino di Sampierdarena”. Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica. Seconda Fase. Le Condizioni Meteomarine e i Test di Manovra di Navigazione con Simulatore per le Soluzioni d'Intervento (Giugno 2021).

nel nuovo avamposto non favorisce il deflusso all'interno del porto; in prossimità dell'imboccatura, al pari di quanto osservato per lo stato attuale, il flusso devia verso largo aumentando la sua velocità fino a valori di 0.40 m/s.

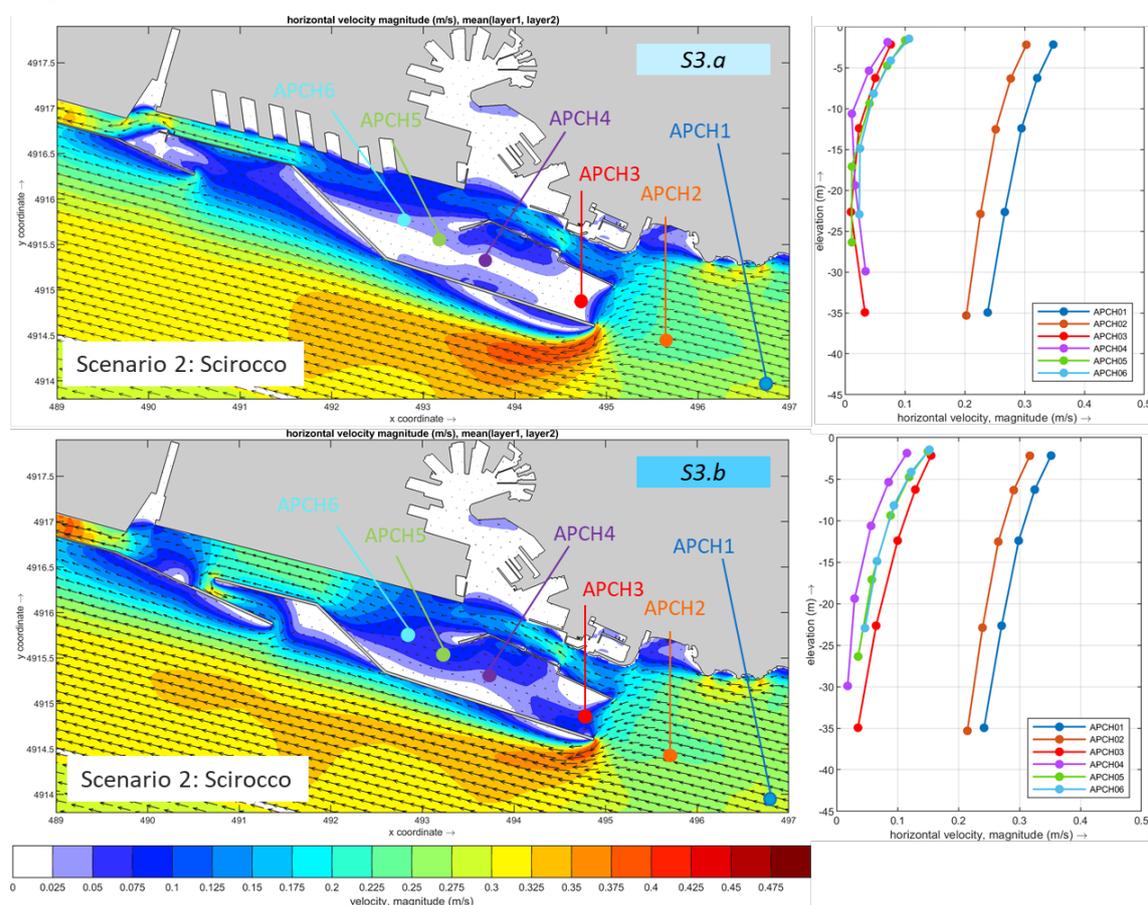


FIGURA 4-31 - VENTO DI SCIROCCO (SCENARIO 2). CAMPO DI VELOCITÀ MEDIATO SULLA VERTICALE OTTENUTO PER LA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO IN FASE A) (IN ALTO) E IN FASE B) (IN BASSO). I GRAFICI DI DESTRA MOSTRANO LA VARIAZIONE DI VELOCITÀ CON LA PROFONDITÀ NEI PUNTI DI CONTROLLO LUNGO LA NUOVA ROTTA DI ACCESSO

Lo Scirocco contribuisce a generare una corrente diretta verso Ponente all'interno del Bacino Sampierdarena, dove, in fase a) si raggiungono velocità comprese tra 0.10 e 0.20 m/s con valori massimi in prossimità di ponte Canepa dell'ordine di 0.30 m/s.

L'ampliamento del bacino di Sampierdarena, previsto dalla fase b), comporta una maggiore uniformità del flusso e una riduzione delle velocità massime che non superano la velocità di 0.25 m/s.

In presenza di vento proveniente da Libeccio (Scenario 3) si instaura una circolazione idrica oraria all'interno del golfo di Genova, la corrente risulta più intensa lungo la

riviera di Ponente e tende a ridursi lungo la riviera di Levante. In prossimità del porto di Genova la corrente si mantiene parallela alla costa con velocità comprese tra 0.20 e 0.30 m/s.

Lungo la rotta di accesso alla nuova imboccatura orientata verso Levante i valori della corrente ottenuti risultano compresi tra 0.15 e 0.25 m/s. All'interno del porto la corrente risulta più debole con valori mai superiori a 0.20 m/s.

I profili verticali della componente orizzontale di velocità, ottenuti nei punti di osservazione all'esterno e all'interno del porto, hanno mostrato che, a causa dell'azione del vento, le velocità in superficie risultano superiori del 20-30% rispetto ai valori medi integrati sulla verticale.

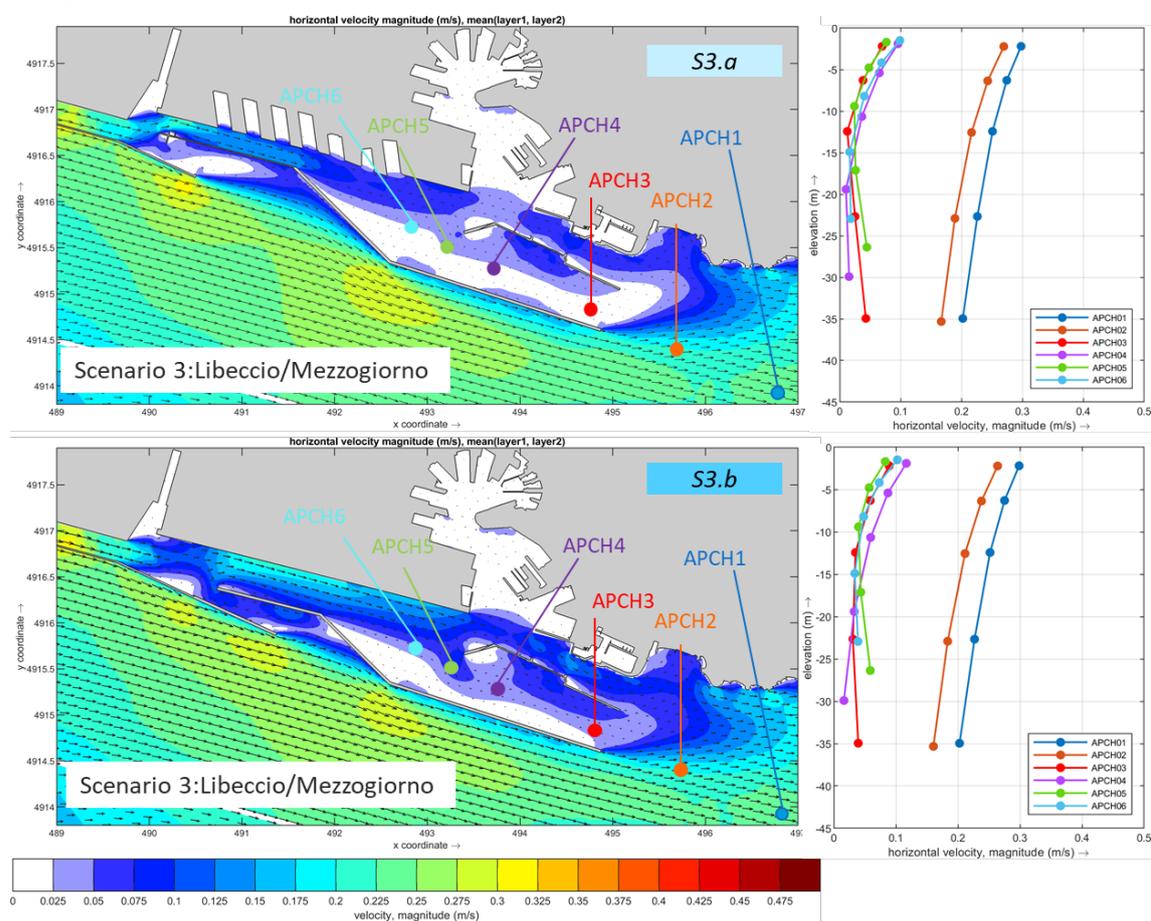


FIGURA 4-32 - VENTO DI LIBECCIO (SCENARIO 3). CAMPO DI VELOCITÀ MEDIATO SULLA VERTICALE OTTENUTO PER LA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO IN FASE A) (IN ALTO) E IN FASE B) (IN BASSO). I GRAFICI DI DESTRA MOSTRANO LA VARIAZIONE DI VELOCITÀ CON LA PROFONDITÀ NEI PUNTI DI CONTROLLO LUNGO LA NUOVA ROTTA DI ACCESSO

I risultati ottenuti mostrano che, a seguito della realizzazione delle nuove opere previste dal progetto della nuova diga foranea di Genova, la circolazione delle masse d'acqua in prossimità e all'interno del porto, generata da condizioni meteomarine significative, che si presentano in media 10-20 ore/anno, contraddistinte da venti di scirocco o libeccio con una velocità 12.5 m/s e una durata di 24 ore, rimane per lo più invariata rispetto allo stato attuale.

Le variazioni del campo idrodinamico sono localizzate all'interno del nuovo bacino portuale e in corrispondenza della nuova testata della diga foranea. La circolazione della massa d'acqua presente all'interno del nuovo avamposto è molto ridotta e presenta velocità molto modeste. In corrispondenza della nuova testata della diga foranea si verifica una concentrazione del flusso della corrente diretta da est verso ovest con un incremento della velocità. Tale effetto, che è stato osservato anche per la diga attuale, non presenta particolari criticità in quanto le velocità massime risultano comunque dell'ordine di 50 cm/s.

Le condizioni di moto ondoso che si verificano all'interno del bacino portuale a seguito della realizzazione della nuova diga foranea del porto di Genova sono state analizzate nell'ambito dello studio specialistico di agitazione ondosa (cod. elaborato: MI046R-PF-D-I-R-021-01)⁴.

Come mostrato in seguito, l'apertura di una nuova imboccatura portuale determina inevitabilmente, e comunque per definizione, un maggior ingresso del moto ondoso nel bacino portuale rispetto alla situazione attuale.

Con riferimento al clima del moto ondoso all'esterno del porto di Genova, la nuova imboccatura aperta a Levante comporta, in misura comunque compatibile con gli standard di operatività e sicurezza, la penetrazione degli stati di mare provenienti da Scirocco e Levante.

La configurazione di progetto della nuova diga foranea è stata definita per consentire l'accesso al porto di Genova anche alle più grandi navi portacontenitori attualmente in circolazione.

La rotta, la larghezza e la lunghezza del canale di accesso al porto, nonché la dimensione dell'area di evoluzione interna, sono state definite sulla base delle

⁴ Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, "Realizzazione della nuova diga foranea del Porto di Genova, ambito bacino di Sampierdarena". Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica. Seconda Fase. Studio dell'Agitazione Ondosa nell'Area Portuale (Giugno 2021).

dimensioni della nave di progetto (portacontaineri da 24.000 TEU) che risultano essere: lunghezza 400 m e larghezza 62 m.

Le verifiche preliminari di agitazione ondosa, condotte nella prima fase del progetto di fattibilità tecnico economica per la selezione delle soluzioni alternative, hanno mostrato che l'apertura di una nuova imboccatura aperta a Levante comporta una rilevante penetrazione del moto ondoso rispetto alla situazione attuale, specialmente per gli stati di mare provenienti dal settore di Scirocco.

La soluzione di progetto S3 è stata quindi ottimizzata, prevedendo un allungamento della diga foranea rispetto alla configurazione preliminare, allo scopo di proteggere al meglio il nuovo bacino portuale e il canale di accesso dal moto ondoso incidente senza introdurre alcuna forma di impatto morfologico delle nuove opere sulle coste adiacenti al porto.

La valutazione dell'agitazione ondosa all'interno del bacino portuale per la soluzione di progetto è stata eseguita prendendo in esame i tempi medi annuali di non operatività ("downtime") delle banchine portuali e le condizioni di moto ondoso estreme che si determinano lungo le banchine portuali con stati di mare incidenti caratterizzati da un tempo di ritorno $T_r = 10$ anni.

Le stesse valutazioni sono state eseguite per la situazione attuale allo scopo di verificare rispetto a quest'ultima le variazioni in termini di agitazione ondosa residua apportate dalle nuove opere foranee (rif. Volume 2, Paragrafo 3.1.6.3).

Per condurre lo studio è stato utilizzato il codice numerico CGWAVE che risolve l'equazione detta di "mild-slope", di tipo ellittico, mediante la tecnica numerica degli elementi finiti utilizzando, per discretizzare l'area di calcolo, elementi di forma triangolare con geometria comunque variabile nello spazio. Il modello consente la riproduzione dei fenomeni combinati di diffrazione, riflessione e rifrazione di stati di mare irregolari di moto ondoso.

Nella seguente Figura è rappresentata la batimetria all'interno dei domini di calcolo utilizzati per la simulazione della soluzione di progetto, in fase a) e in fase b).

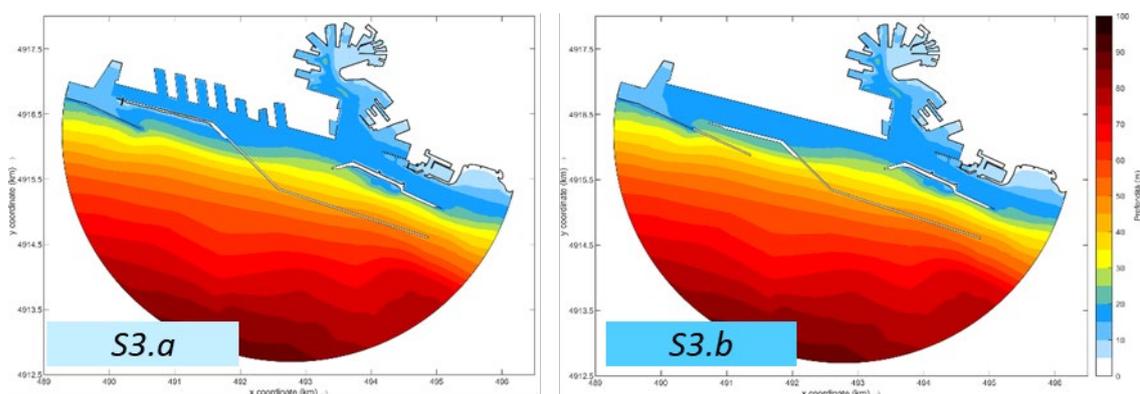


FIGURA 4-33 - AREA SIMULATA CON IL MODELLO NUMERICO CGWAVE E BATIMETRIA PER LA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO IN FASE A) E IN FASE B)

Le condizioni di moto ondoso all'interno del porto sono state valutate a seguito di numerose simulazioni condotte con il modello CGWAVE utilizzando come forzanti condizioni rappresentative del clima di moto ondoso e delle condizioni estreme di moto ondoso all'esterno del porto di Genova.

Nelle seguenti Figure sono mostrati a titolo di esempio risultati della propagazione di stati di mare estremi provenienti da Scirocco e Libeccio, associati ad un tempo di ritorno di 10 anni, in relazione alla configurazione di progetto in fase a) e in fase b).

Soluzione 3 – Fase a

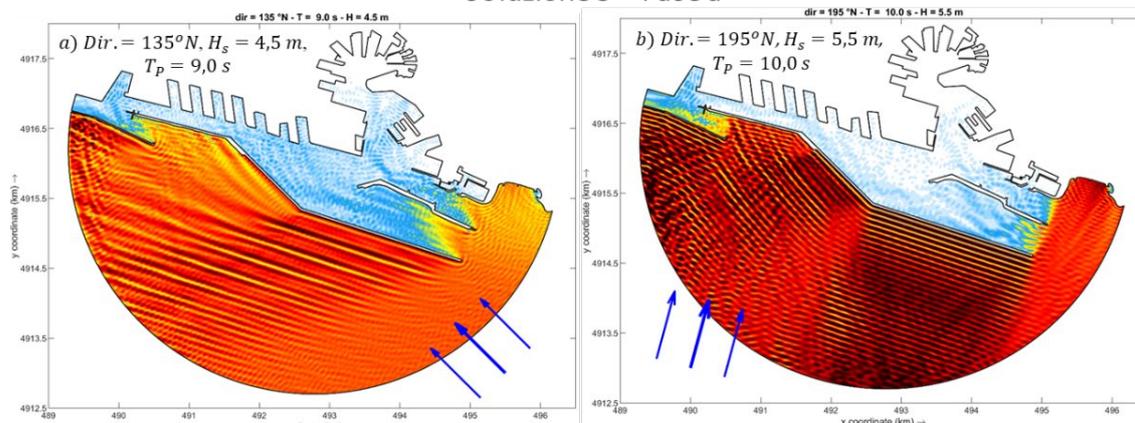


FIGURA 4-34 - RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO IN RELAZIONE ALLA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A) PER STATI DI MARE CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI. (A) STATO DI MARE DA LIBECCIO/MEZZOGIORNO (B) STATO DI MARE DA SCIROCCO

Soluzione 3 – Fase b

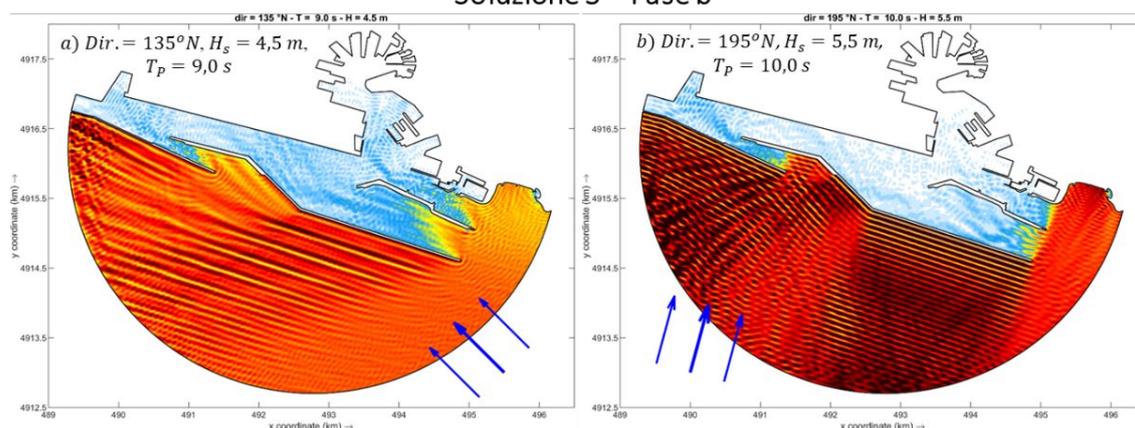


FIGURA 4-35 - RISULTATI DELLE SIMULAZIONI DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO IN RELAZIONE ALLA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE B) PER STATI DI MARE CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI. (A) STATO DI MARE DA LIBECCIO/MEZZOGIORNO (B) STATO DI MARE DA SCIROCCO

I valori massimi di altezza d'onda significativa ottenuti lungo le banchine del bacino Sampierdarena e all'interno del porto di Genova per lo stato attuale e per la configurazione di progetto in fase a) e in fase b), in occasione di eventi estremi con tempo di ritorno elevati (rif. 10 anni), sono mostrati nei diagrammi riportati nella Figura seguente.

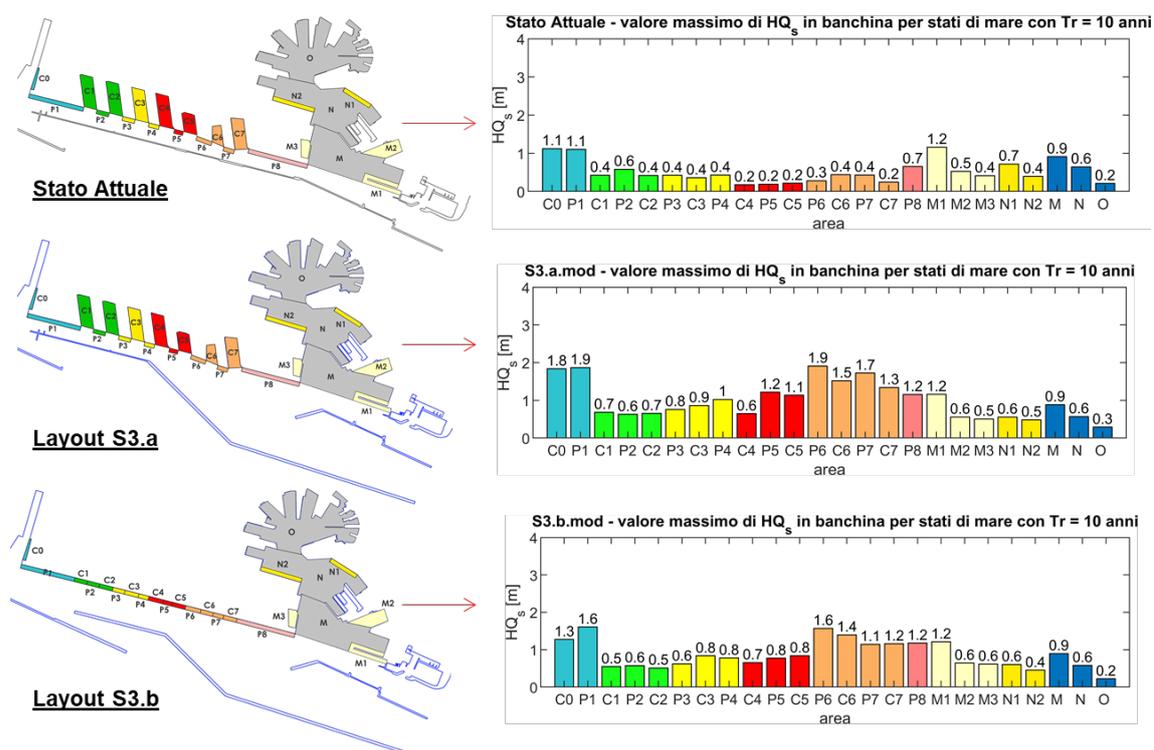


FIGURA 4-36 - VALORI MASSIMI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA ALL'INTERNO DEL PORTO DI GENOVA PER STATI DI MARE CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI. COMPARAZIONE TRA LO STATO ATTUALE E LA SOLUZIONE DI PROGETTO

I valori di altezza d'onda ottenuti per la configurazione di progetto, sebbene moderatamente più elevati rispetto alla situazione attuale, risultano comunque compatibili con i criteri e le procedure di sicurezza.

La ragione per cui la soluzione di progetto dà luogo ad una agitazione ondosa portuale marginalmente più elevata rispetto alla situazione attuale, è dovuta alla ridotta differenza angolare tra l'orientamento dell'imboccatura portuale ($115^\circ N$) e quella più angolata del moto ondoso proveniente da Levante-Scirocco ($120^\circ N$).

Anche l'imboccatura secondaria è aperta al moto ondoso proveniente da Levante e risulta inoltre soggetta all'ingresso del moto ondoso riflesso dalla nuova diga foranea e per questa ragione si ottiene una agitazione interna portuale più elevata anche lungo le banchine poste in prossimità della foce del Polcevera.

I valori massimi di altezza d'onda ottenuti per eventi estremi con $Tr = 10$ anni sono risultati compresi tra 1,5 e 1,9 m; si sottolinea che tali eventi costituiscono estremi di brevissima durata e altissima probabilità di non superamento e non implicano allagamenti di banchina, né sollecitazioni strutturali incompatibili per le banchine moderne congruamente dimensionate.

Le simulazioni condotte hanno inoltre mostrato che la fase realizzativa b), contraddistinta da un ampliamento degli specchi acquei interni e dalla realizzazione di un fronte di banchina continuo dotato di celle antiriflettenti, consentirà una attenuazione del moto ondoso residuo all'interno del bacino di Sampierdarena con una conseguente riduzione del "downtime" e un aumento delle condizioni di sicurezza all'ormeggio.

Un'ultima osservazione riguarda la penetrazione del moto ondoso nell'attuale avamporto, nel bacino delle Grazie e nel Porto Vecchio. I risultati ottenuti hanno permesso di verificare che le nuove opere in progetto, previste per la realizzazione della nuova diga foranea del Porto di Genova, non comportano un aumento dell'agitazione ondosa nei suddetti specchi acquei.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-21 - ACQUE MARINO COSTIERE. CONDIZIONI IDRODINAMICHE E MOTO ONDOSI NEL BACINO PORTUALE. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Variazione della circolazione idrica	1	-1	3	3	2	8	Lieve
Variazione delle condizioni di moto ondoso all'interno del bacino portuale	1	-1	3	3	2	-8	Lieve

4.7.2.3 Dinamica della costa

La valutazione del possibile impatto sulle coste adiacenti in relazione alla configurazione portuale della nuova diga foranea del Porto di Genova prevista da progetto è stata oggetto dello studio specialistico (cod. elaborato: MI046R-PF-D-I-R-024-01)⁵ già richiamato in precedenza per l'analisi dello stato attuale (rif. Volume 2, Paragrafo 3.1.6.5).

In particolare, è stato analizzato come le nuove opere foranee previste dalla soluzione progettuale selezionata, possano modificare, rispetto alla situazione attuale:

- le condizioni di moto ondoso sottocosta, che rappresentano la principale forzante per la messa in sospensione e per il trasporto dei sedimenti;

⁵ Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, "Realizzazione della nuova diga foranea del Porto di Genova, ambito bacino di Sampierdarena". Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica. Seconda Fase. Studio degli Effetti sulle Coste Adiacenti (Giugno 2021)

- le correnti litoranee indotte dal moto ondoso incidente e il conseguente trasporto solido longitudinale potenziale.

Si tratta quindi non di una valutazione assoluta, ma relativa rispetto alla situazione attuale.

Come già illustrato in precedenza, in ragione della natura prevalentemente rocciosa della costa e dei fondali elevati che contraddistinguono l'ambito portuale di Genova, il trasporto solido costiero parallelo alla costa indotto dal moto ondoso frangente risulta trascurabile. Il sistema portuale di Genova disconnette dal punto di vista del trasporto solido costiero potenziale, il litorale posto a Levante da quello posto a Ponente di esso.

A Levante ed a Ponente delle opere foranee del Porto di Genova sorgono alcune piccole insenature delimitate da promontori rocciosi o da elementi di natura antropica costituite per lo più da sedimenti di natura ciottolosa anche di provenienza antropica. Gli apporti solidi fluviali sono infatti molto scarsi e non contribuiscono ad alimentare le suddette spiagge che hanno richiesto in passato interventi di ripascimento da parte della Regione Liguria.

La conformazione delle nuove opere foranee, l'assenza del trasporto solido longitudinale e l'esposizione al moto ondoso, consentono di stimare una limitata, se non addirittura trascurabile, interferenza delle nuove opere sulla dinamica costiera, che può interessare esclusivamente il tratto di costa posto immediatamente a Levante dell'imboccatura portuale, in prossimità della foce del Bisagno.

Nella Figura seguente sono mostrate, mediante la campitura in rosa, le aree costiere schermate dal moto ondoso incidente relative alla soluzione progetto.

Il confronto tra la soluzione di progetto e la situazione attuale mostra chiaramente che le nuove opere portuali previste non sono in grado di modificare, rispetto alla situazione attuale, l'area di costa schermata dal moto ondoso incidente e pertanto si può escludere che le nuove opere possano modificare l'attuale morfodinamica costiera. Possibili variazioni sul campo di moto ondoso dietro alla nuova diga foranea possono determinare una locale variazione della circolazione indotta dal moto ondoso frangente.

Tale aspetto è stato investigato con l'ausilio del modello numerico integrato di propagazione del moto ondoso e circolazione idrodinamica Deflt3D sviluppato dall'istituto olandese Deltares implementato e applicato in precedenza per la valutazione dello stato di fatto.

Il modello integrato Delft3D consente l'accoppiamento dei processi di propagazione del moto ondoso, risolti dal modello D-WAVES (SWAN), con i processi di idrodinamica, risolti dal modello D-FLOW-FM.

Come forzante di moto ondoso è stata presa in esame l'onda climatica equivalente, $H_s = 2.0$ m, periodo di picco $T_p = 8.0$ s e direzione di provenienza $199^\circ N$ definita nel punto sottocosta P1 all'esterno del porto di Genova. Per la descrizione delle griglie di calcolo e per ulteriori indicazioni sulla metodologia di calcolo e sulle condizioni al contorno adottate si rimanda al Volume 2, Paragrafo 3.1.6.5.

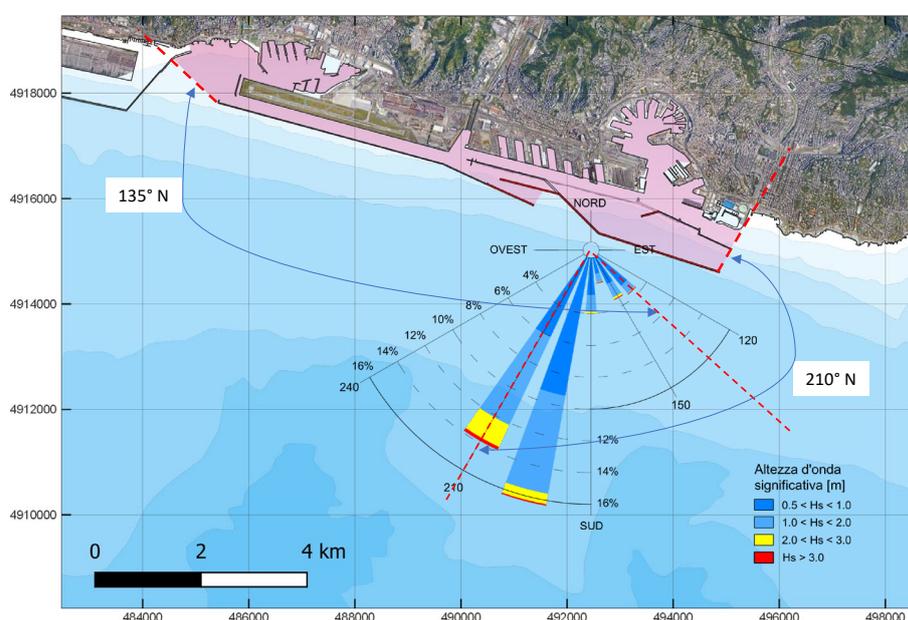


FIGURA 4-37 - CLIMA ONDAMETRICO SOTTOCOSTA E AREA COSTIERA SCHERMATA DAL MOTO ONDOSO INCIDENTE AD OPERA DELLE DIGHE FORANEE (AREA CAMPITA IN ROSA) NELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

Nella Figura seguente sono mostrati i risultati delle simulazioni condotte in relazione al campo di altezza d'onda e al campo di circolazione idrodinamica per la configurazione di progetto indotto dallo stato di mare rappresentativo della risultante del clima di moto ondoso.

Le correnti indotte dal moto ondoso frangente si concentrano all'interno delle insenature situate lungo il litorale presentando una circolazione a "celle" che, anche per la modesta entità, non determina un significativo trasporto solido potenziale.

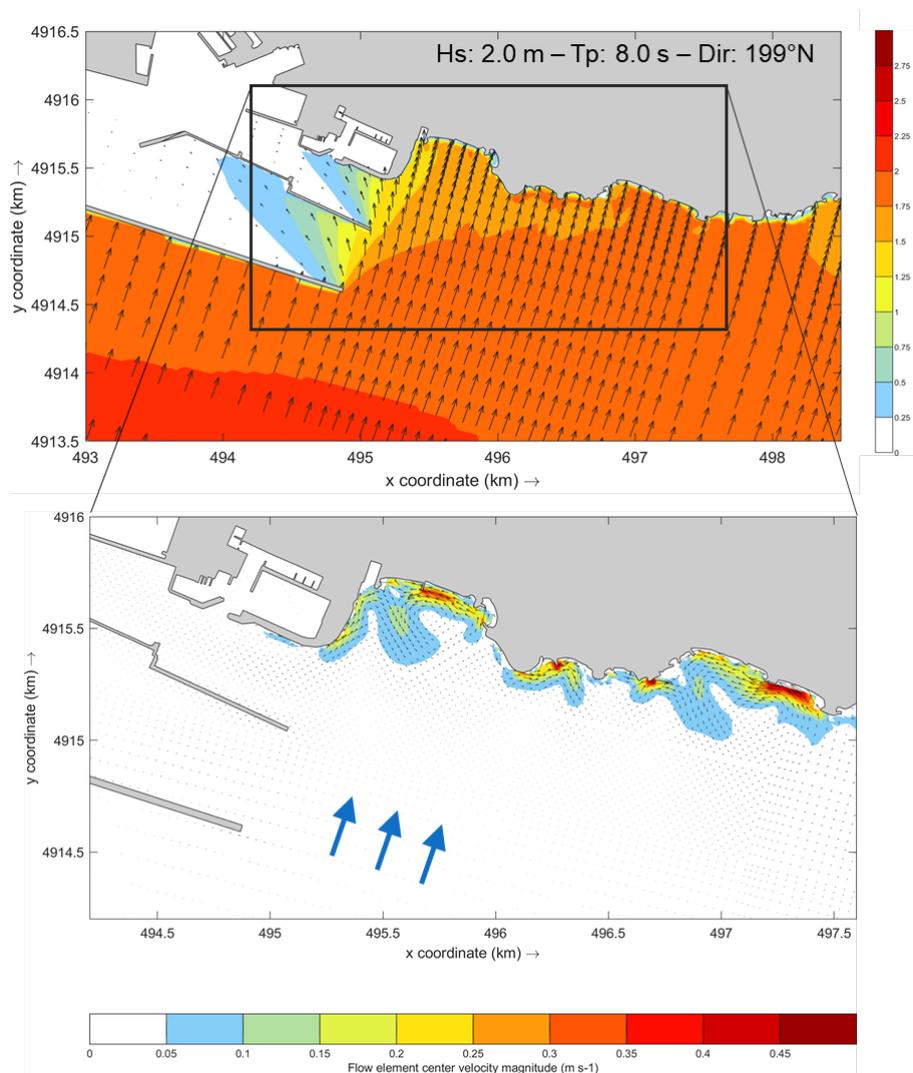


FIGURA 4-38 - RISULTATI DELLE SIMULAZIONI CONDOTTE PER LA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO CON IL MODELLO INTEGRATO DI PROPAGAZIONE DEL MOTO ONDOSO E CIRCOLAZIONE IDRODINAMICA DELFT3D. (IN ALTO) CAMPO DI MOTO ONDOSO OTTENUTO PER LO STATO DI MARE RAPPRESENTATIVO DELL'ONDA CLIMATICA EQUIVALENTE. (IN BASSO) CIRCOLAZIONE IDRODINAMICA INDOTTA DAL MOTO ONDOSO FRANGENTE

Le simulazioni hanno confermato che la nuova diga foranea prevista dalla soluzione di progetto, relativamente allo stato di mare rappresentativo della risultante del clima di moto ondoso, proveniente da Libeccio, determina una variazione del moto ondoso in termini di H_s , dell'ordine del 5-10%, limitatamente allo specchio acqueo compreso tra l'imboccatura di Levante e Punta Vagno (si veda la Figura seguente).

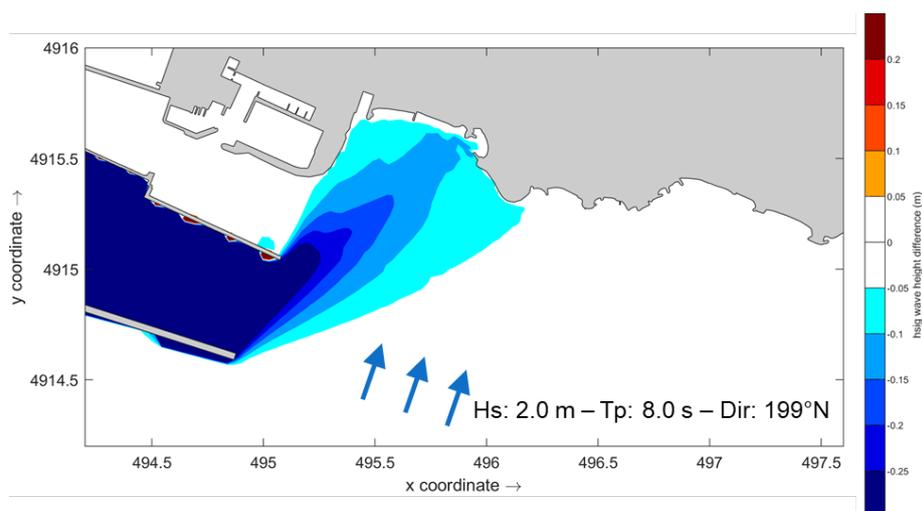


FIGURA 4-39 - VARIAZIONE DEL CAMPO DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA OTTENUTO PER LO STATO DI MARE RAPPRESENTATIVO DELL'ONDA CLIMATICA EQUIVALENTE SOTTOFLUTTO ALL'IMBOCCATURA DI LEVANTE IN PRESENZA DELLA NUOVA DIGA FORANEA

Di conseguenza, come mostrato nella Figura seguente, l'influenza della nuova diga foranea si esaurisce in prossimità della foce del Torrente Bisagno, dove è presente una piccola spiaggia, di estensione longitudinale di circa 500 m. La variazione della corrente longitudinale indotta dal moto ondoso prevalente, presenta un incremento del flusso diretto verso Ovest, da Punta Vagno alla foce, molto contenuto, pari a circa 6-8 cm/s.

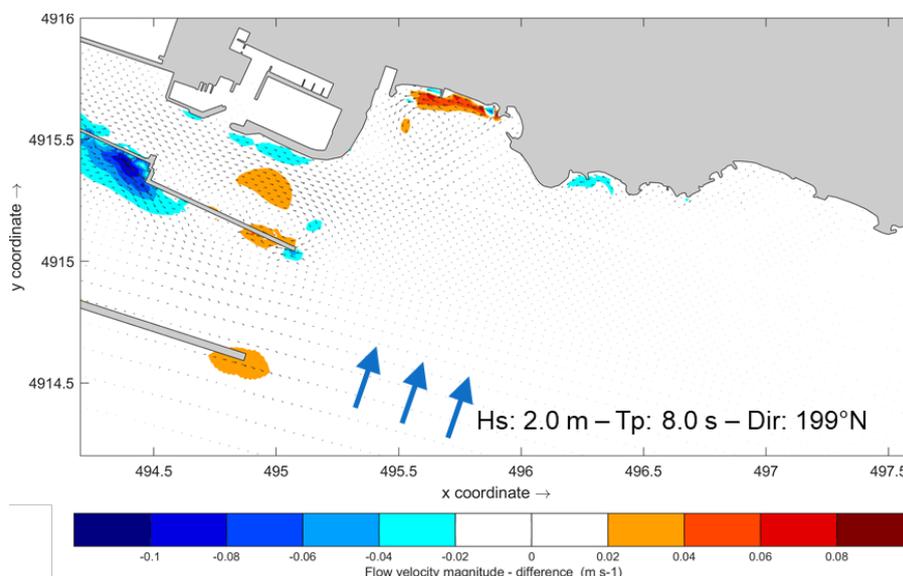


FIGURA 4-40 - VARIAZIONE DELLA CIRCOLAZIONE IDRODINAMICA INDOTTA DALLO STATO DI MARE RAPPRESENTATIVO DELL'ONDA CLIMATICA EQUIVALENTE IN PRESENZA DELLA NUOVA DIGA FORANEA

La possibile variazione della linea di riva, a seguito della realizzazione della nuova diga foranea, è stata successivamente investigata applicando il modello parabolico di equilibrio di spiaggia di Silvester e Hsu (1987), che consente di valutare l'evoluzione di una litorale sabbioso confinato ad un estremo da un punto di controllo in grado di schermare il moto ondoso.

Il modello, come proposto da Medina e Gonzales (2001), è stato prima calibrato sulla base delle foto storiche del litorale, e successivamente facendo riferimento al nuovo posizionamento planimetrico del punto di controllo determinato dalla testata della nuova diga foranea, è stata calcolata la possibile configurazione della linea di riva futura, mostrata nella Figura seguente.



FIGURA 4-41 - TRACCIAMENTO DELLA CURVA PARAMETRICA RAPPRESENTATIVA DEL PROFILO DI EQUILIBRIO DI SILVESTER E HSU PER LO STATO ATTUALE E PER LA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

I risultati ottenuti confermano che, sotto l'ipotesi che il clima di moto ondoso non subisca variazioni significative nel prossimo futuro, la variazione della linea di riva attesa a seguito della realizzazione della nuova diga foranea è molto modesta.

Le variazioni più significative si potranno verificare in prossimità della foce del Torrente Bisagno, nella zona più ridossata dalla nuova diga foranea, dove, se fosse

presente un sufficiente volume di sedimenti, la posizione potenziale della linea di riva di equilibrio risulterebbe avanzata di circa 5-15 m rispetto alla situazione attuale.

Ciò nonostante, considerata la natura prettamente grossolana dei sedimenti che costituiscono la spiaggia in esame, gli scarsi apporti solidi al litorale in esame, e la presenza delle opere di difesa radente esistenti, si ritiene che tali variazioni saranno più contenute.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-22 - ACQUE MARINO COSTIERE. DINAMICA DELLA COSTA. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO.

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Variazione delle condizioni di moto ondoso lungo il litorale	1	-1	3	3	2	-8	Lieve
Alterazione del trasporto solido litoraneo	1	-1	3	3	2	-8	Lieve
Variazione dell'equilibrio della linea di costa	1	-1	3	3	2	-8	Lieve

4.7.2.4 Ricambio idrico all'interno del bacino portuale

Per valutare i potenziali impatti della nuova configurazione portuale, sulla capacità di ricambio idrico dello specchio acqueo portuale, è stato effettuato, nell'ambito del presente Studio di Impatto Ambientale, uno specifico studio specialistico.

Per analizzare la capacità di ricambio idrico del bacino portuale, seguendo la metodologia già applicata per analizzare lo stato di fatto, a cui si rimanda ulteriori dettagli (rif. Volume 2, Paragrafo 3.1.6.6), si è fatto ricorso alla valutazione del "tempo di ricambio".

Il tempo di ricambio T_f è un parametro indicatore della capacità di ricambio idrico di un bacino semichiuso. Tipicamente viene calcolato valutando il tempo necessario per ridurre una concentrazione iniziale di una sostanza conservativa introdotta all'interno di un corpo idrico semichiuso ad un valore prestabilito. È possibile inoltre fare riferimento, sotto alcune ipotesi semplificative, a metodi globali, come ad esempio il metodo del prisma di marea, che consente una prima valutazione del tempo di ricambio basandosi esclusivamente sulla geometria del sistema in esame e sulla variazione di livello dovuta alla marea astronomica.

Le stesse valutazioni sono state eseguite in precedenza per la configurazione attuale del Porto di Genova (rif. Volume 2, Paragrafo 3.1.6.6) allo scopo di verificare, rispetto ad esso, le variazioni in termini di tempo di ricambio del nuovo bacino portuale.

Occorre infatti precisare che le elaborazioni condotte hanno consentito di effettuare una valutazione parametrica della capacità di ricambio idrico e di valutarne le differenze relative in relazione allo stato attuale.

Gli interventi previsti per la realizzazione della nuova diga foranea, unitamente agli interventi di adeguamento dei fondali nel bacino di Sampierdarena, determinano un significativo incremento dello specchio acqueo portuale e contestualmente un aumento della massa d'acqua contenuta all'interno del bacino portuale, che risulta raddoppiata rispetto a quella attuale (si veda la Tabella seguente).

Una prima valutazione dell'impatto della nuova configurazione sul ricambio idrico può essere effettuata applicando il metodo semplificato del "prisma di marea".

Prendendo in esame la geometria della nuova configurazione portuale e rapportando il volume del prisma di marea, ossia il volume idrico che entra nel porto ad ogni ciclo di marea, con il volume della massa d'acqua contenuta dal bacino è possibile stimare in prima approssimazione un tempo di ricambio di circa 48-50 giorni che risulta superiore a quello stimato per la configurazione attuale.

TABELLA 4-23 - CONFRONTO TRA IL TEMPO DI RICAMBIO STIMATO CON IL METODO GLOBALE DEL PRISMA DI MAREA PER LA CONFIGURAZIONE ATTUALE E QUELLO OTTENUTO PER LA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO IN FASE A) E IN FASE B)

	Superficie specchio acqueo (m²)	Volume bacino (m³)	Prisma di marea (m³)	Tempo di ricambio Tf (giorni)
Stato attuale	4.785×10^6	6.094×10^7	9.57×10^5	33
Configurazione di progetto fase a)	6.842×10^6	12.672×10^7	13.68×10^5	48
Configurazione di progetto fase b)	6.915×10^6	13.216×10^7	13.83×10^5	50

Questa stima preliminare effettuata con il metodo del prisma di marea mette in evidenza che l'aumento della massa idrica del bacino portuale, a fronte di un limitato incremento di superficie, non favorisce la capacità di ricambio idrico.

Il calcolo effettuato con questo metodo semplificato non può tenere conto della variazione del campo idrodinamico indotta dall'apertura della nuova imboccatura portuale aperta a levante, che presenta una larghezza di 465 m ed una sezione idraulica

di oltre 16000 m², ne può tenere conto degli apporti idrici del Torrente Polcevera, il quale contribuisce, seppur in misura inferiore, al ricambio idrico portuale.

Per questa ragione, al fine di effettuare una valutazione più approfondita del tempo di ricambio, è stato applicato, al pari di quanto già effettuato per lo stato attuale, il metodo “*e*-folding”.

Il metodo è basato sul calcolo del tempo necessario ad una sostanza conservativa uniformemente miscelata all’interno di un corpo idrico, per raggiungere un livello di diluizione desiderato pari al valore percentuale ($1/e$), ossia pari a circa il 37%.

Per effettuare tale valutazione sono state condotte delle simulazioni con modelli numerici applicando il pacchetto applicativo Surface Water Modeling System (SMS) sviluppato dal U.S. Army Corps of Engineers.

In particolare, i campi idrodinamici sono stati calcolati con il codice RMA-2, i cui risultati sono stati successivamente utilizzati come forzanti per il modello di dispersione e diffusione RMA-4.

È stato preso a riferimento un unico scenario di simulazione, contraddistinto dalla presenza della sola marea astronomica. È opportuno sottolineare che dal punto di vista del ricambio idrico questo scenario rappresenta la condizione più gravosa che può verificarsi durante la stagione estiva, quando in generale si manifestano le maggiori criticità per le problematiche connesse al ristagno e alla qualità delle acque portuali. Trattandosi di un confronto parametrico tra la configurazione di progetto e lo stato attuale questa scelta non condiziona la valutazione comparativa.

Il dominio di calcolo utilizzato per le simulazioni relative alla configurazione di progetto in fase a) è rappresentato nella Figura seguente. La Figura mostra inoltre l’ubicazione dei punti controllo selezionati per l’estrazione dei risultati e un dettaglio della discretizzazione del dominio di calcolo effettuata con elementi finiti di forma triangolare. Complessivamente il dominio di calcolo è stato suddiviso in 7532 elementi, per un numero complessivo di 16317 nodi di calcolo.

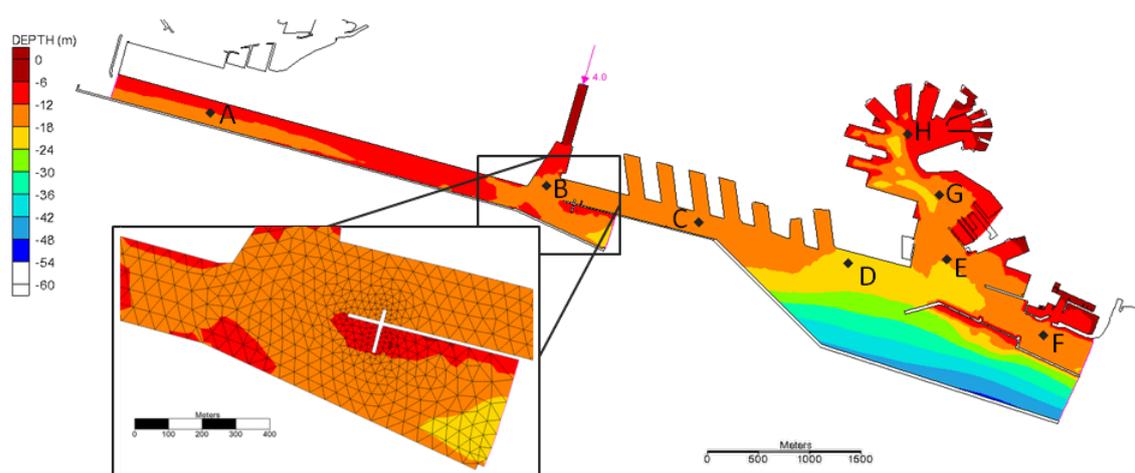


FIGURA 4-42 - DOMINIO DI CALCOLO UTILIZZATO PER LE SIMULAZIONI CON I MODELLI NUMERICI DI IDRODINAMICA RMA-2 E DI QUALITÀ DELLE ACQUE RMA-4 IN RELAZIONE ALLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO IN FASE A)

Per la fase di realizzazione b), che prevede un ulteriore ampliamento del bacino Sampierdarena, con lo spostamento verso largo della diga foranea e l'approfondimento dei fondali alla quota -18.50 m, e il prolungamento della diga dell'aeroporto, è stato applicato il dominio di calcolo mostrato nella Figura seguente.

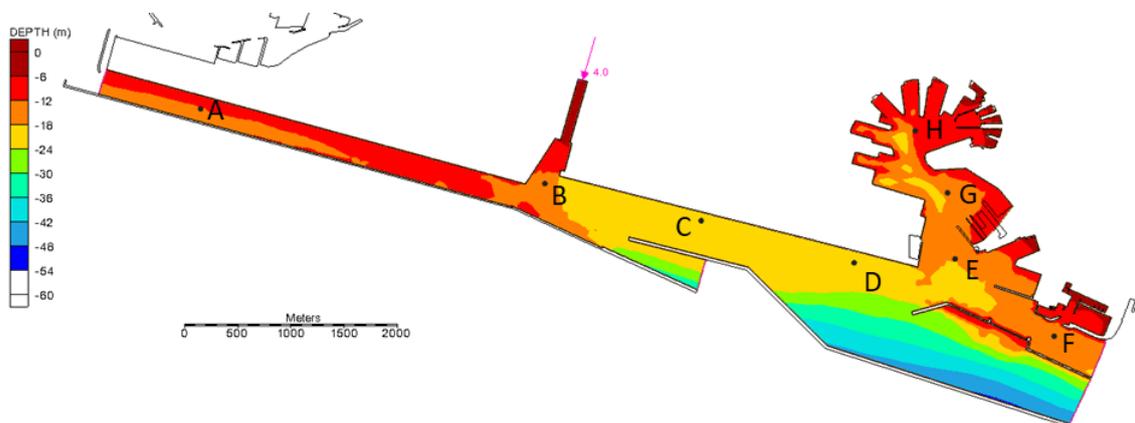


FIGURA 4-43 - DOMINIO DI CALCOLO UTILIZZATO PER LE SIMULAZIONI CON I MODELLI NUMERICI DI IDRODINAMICA RMA-2 E DI QUALITÀ DELLE ACQUE RMA-4 IN RELAZIONE ALLA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE B)

Come condizione al contorno, in corrispondenza delle imboccature portuali (Bocca di Levante, Bocca di Ponente, bocca del canale di calma e nuova imboccatura di Levante), è stata applicata l'oscillazione del livello idrico dovuta ad una marea astronomica in fase di sizigia con un'ampiezza di +/-15 cm.

È stata inoltre assegnata una portata entrante alla foce del Torrente Polcevera di 4 m³/s assunta come portata media per il corso d'acqua.

Le simulazioni condotte con il modello numerico di idrodinamica RMA-2 hanno riguardato una finestra di simulazione di 48 ore con un passo temporale $\Delta t = 30$ min di cui le prime 24 ore sono servite per consentire al modello di avviare la circolazione idrica partendo da una situazione di quiete.

Le correnti di marea ottenute per la configurazione di progetto come mostrato nei diagrammi delle Figure seguenti risultano di modesta entità. Durante le fasi di flusso e riflusso di marea si verificano delle correnti, rispettivamente in ingresso e in uscita dal bacino portuale, che presentano i massimi valori di velocità in corrispondenza della Bocca di Levante esistente e della Bocca di Ponente. La grande massa d'acqua contenuta nel nuovo avamposto e nel nuovo bacino di evoluzione presenta un'elevata inerzia, di conseguenza le correnti indotte dalla marea al loro interno presentano valori di velocità molto ridotti.

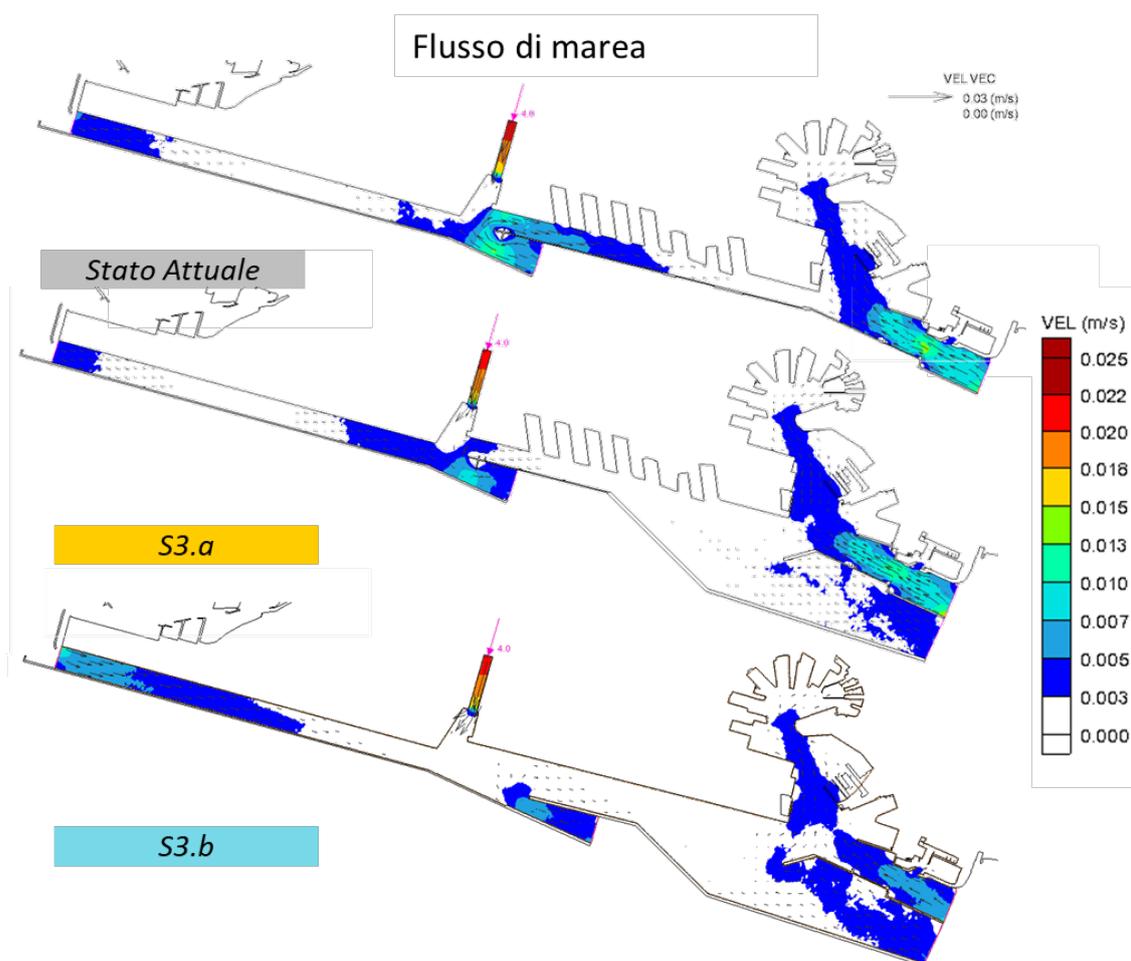


FIGURA 4-44 - CONFRONTO DEI CAMPI IDRODINAMICI OTTENUTI PER LO STATO ATTUALE E PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A) E IN FASE B) IN PRESENZA DELLA SOLA MAREA ASTRONOMICA DURANTE LA FASE DI FLUSSO

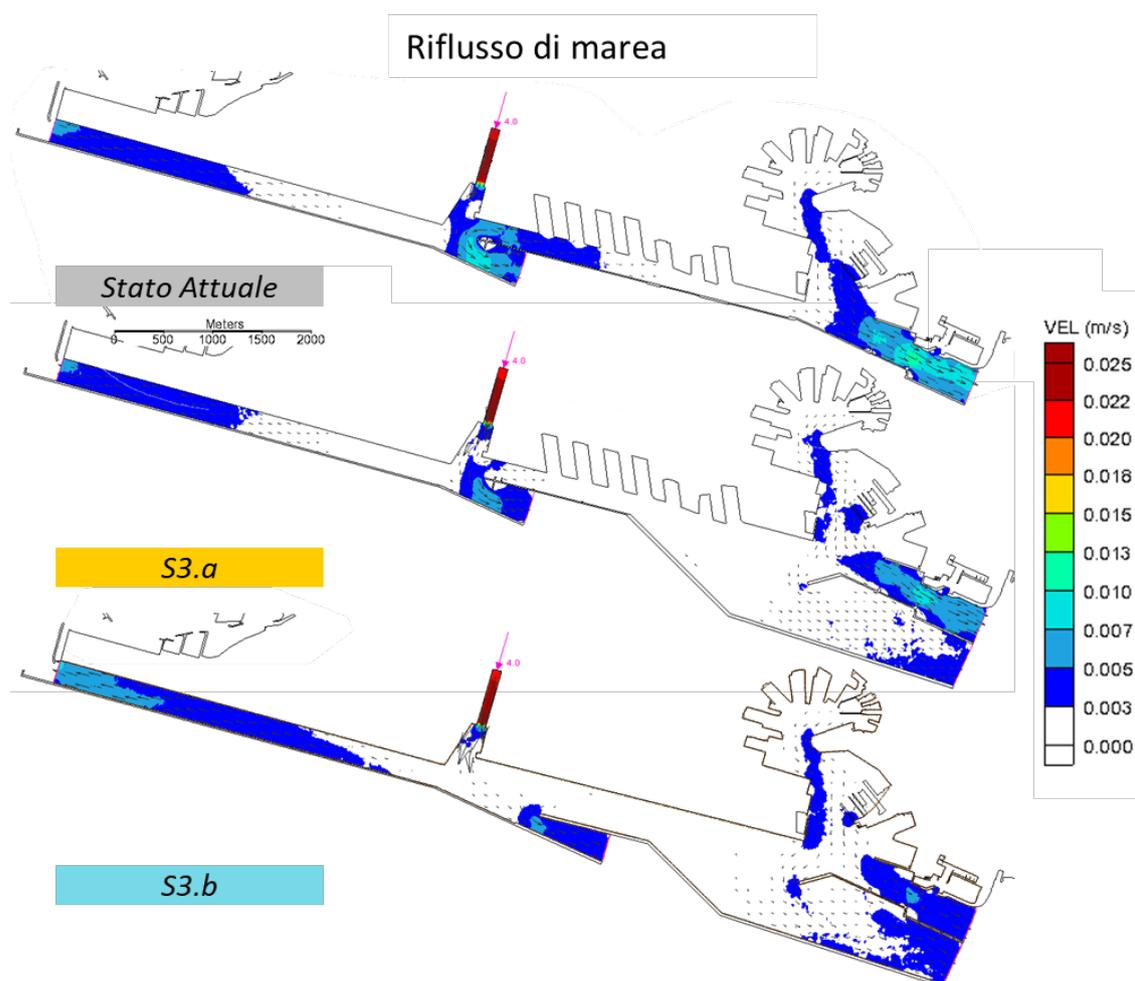


FIGURA 4-45 - CONFRONTO DEI CAMPI IDRODINAMICI OTTENUTI PER LO STATO ATTUALE E PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A) E IN FASE B) IN PRESENZA DELLA SOLA MAREA ASTRONOMICA DURANTE LA FASE DI RIFLUSSO

Dal confronto con i risultati ottenuti per lo stato attuale si può osservare che gli interventi previsti dalla prima fase realizzativa (fase a) determinano una variazione del campo di velocità poco significativa. La seconda fase di attuazione (fase b) determina una variazione della circolazione idrica indotta dalla marea più importante. Questo è dovuto in parte al prolungamento della diga dell'aeroporto, che comporta uno spostamento verso Est della Bocca di Ponente, in parte all'ampliamento del bacino di Sampierdarena.

I risultati ottenuti con le simulazioni idrodinamiche sono stati in seguito utilizzati come forzante per condurre le simulazioni con il modello numerico di qualità delle acque RMA-4.

Le simulazioni hanno permesso di determinare la variazione nel tempo della concentrazione di una sostanza conservativa (nel seguito indicata come contaminante) inizialmente miscelata uniformemente all'interno del dominio di calcolo, a seguito di numerosi cicli di marea, applicando in corrispondenza delle imboccature portuali una condizione al contorno di concentrazione nulla. Le simulazioni hanno riguardato una finestra temporale di 100 giorni con un passo temporale di 1 ora.

Lo scenario di simulazione ha inoltre attribuito al torrente Polcevera la capacità di contribuire al ricambio idrico portuale, associando alla portata media del corso d'acqua (assunta pari a $4 \text{ m}^3/\text{s}$) una concentrazione del contaminante in ingresso nulla.

Nei diagrammi nella Figura seguente sono mostrati, a titolo di esempio, i risultati ottenuti per la simulazione relativa alla configurazione di progetto in fase a) in diversi istanti temporali ($t=0, 10, 40$ e 80 giorni). La Figura consente inoltre di confrontare qualitativamente i risultati della simulazione con quelli ottenuti per lo stato attuale.

Allo stesso modo i diagrammi riportati in Figura 4-47 mostrano il confronto tra lo stato attuale e la soluzione di progetto in fase b).

I risultati ottenuti, in accordo al metodo “*e*-folding”, permettono di stimare il tempo di ricambio T_f nei punti di controllo andando ad individuare l'istante in cui la concentrazione del contaminante si riduce ad un valore inferiore a $(1/e) \cdot 100$, ossia pari a circa il 37%.

I grafici di Figura 4-48 presentano il confronto dell'evoluzione temporale della concentrazione del contaminante ottenuta nei punti di controllo per lo stato attuale e per la configurazione di progetto, in fase a) e in fase b).

La Tabella 4-24 riporta infine, sia per lo stato attuale che per la configurazione di progetto in fase a) e in fase b), il valore medio del tempo di ricambio su tutto il bacino, calcolato come media pesata sul volume, e i valori puntuali del tempo di ricambio ottenuti nei diversi punti di controllo. La Tabella riporta inoltre la variazione relativa del tempo di ricambio calcolata rispetto allo stato attuale.

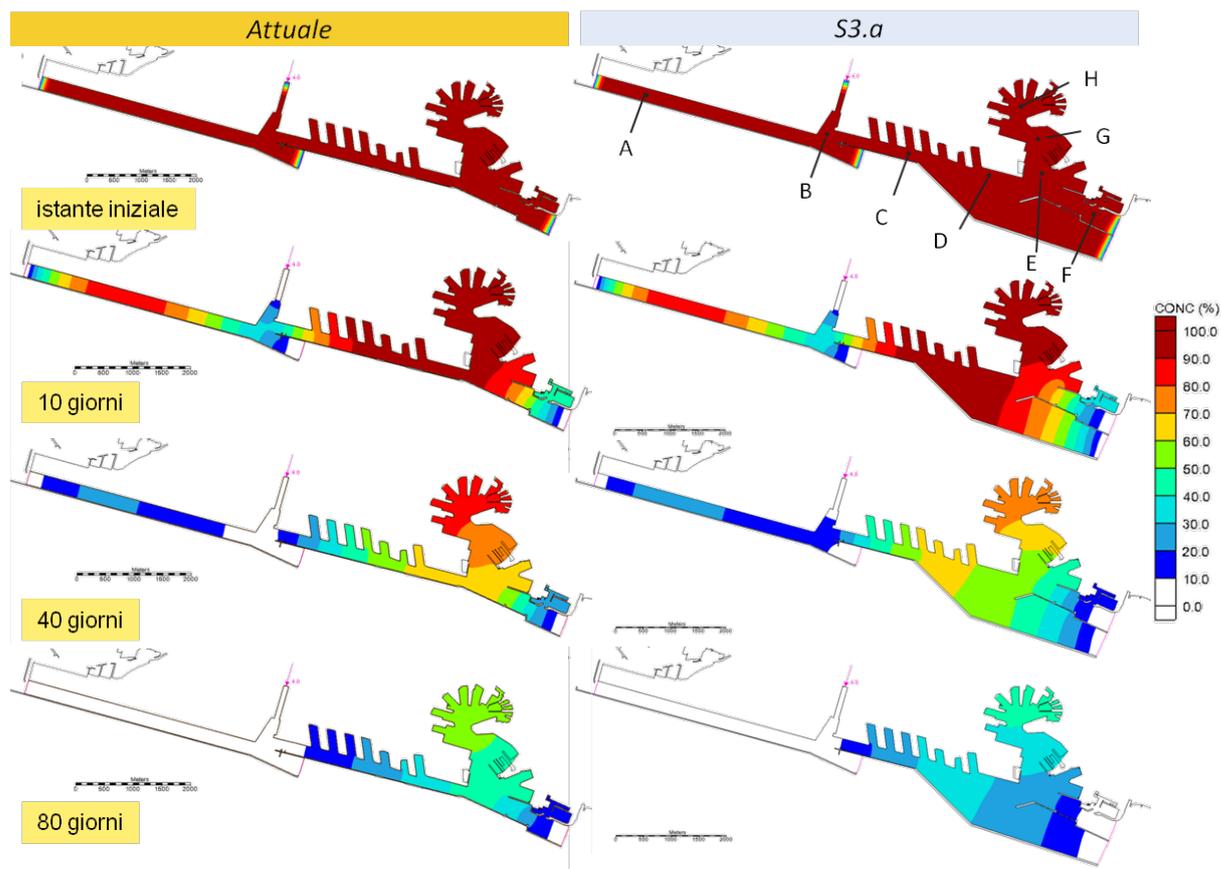


FIGURA 4-46 - CONFRONTO TRA LA CONCENTRAZIONE DEL CONTAMINANTE CONSERVATIVO OTTENUTA PER LO STATO ATTUALE E PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A) DOPO 10, 40 E 80 GIORNI DI SIMULAZIONE, IN PRESENZA DELLA SOLA MAREA ASTRONOMICA

I risultati mostrano che l'apertura della nuova imboccatura portuale prevista dalla soluzione di progetto determina un maggiore scambio con il mare aperto e induce una circolazione idrica che favorisce il ricambio idrico del bacino portuale.

Con riferimento ai risultati ottenuti per la fase a) di realizzazione si osserva che in corrispondenza della Bocca di Levante e all'interno della darsena Fiera di Genova il tempo di ricambio presenta una riduzione di circa il 70%, mentre nell'avamposto, e più all'interno nel Bacino delle Grazie e nel Porto Vecchio, il tempo di ricambio si riduce in media del 25% ÷ 30%.

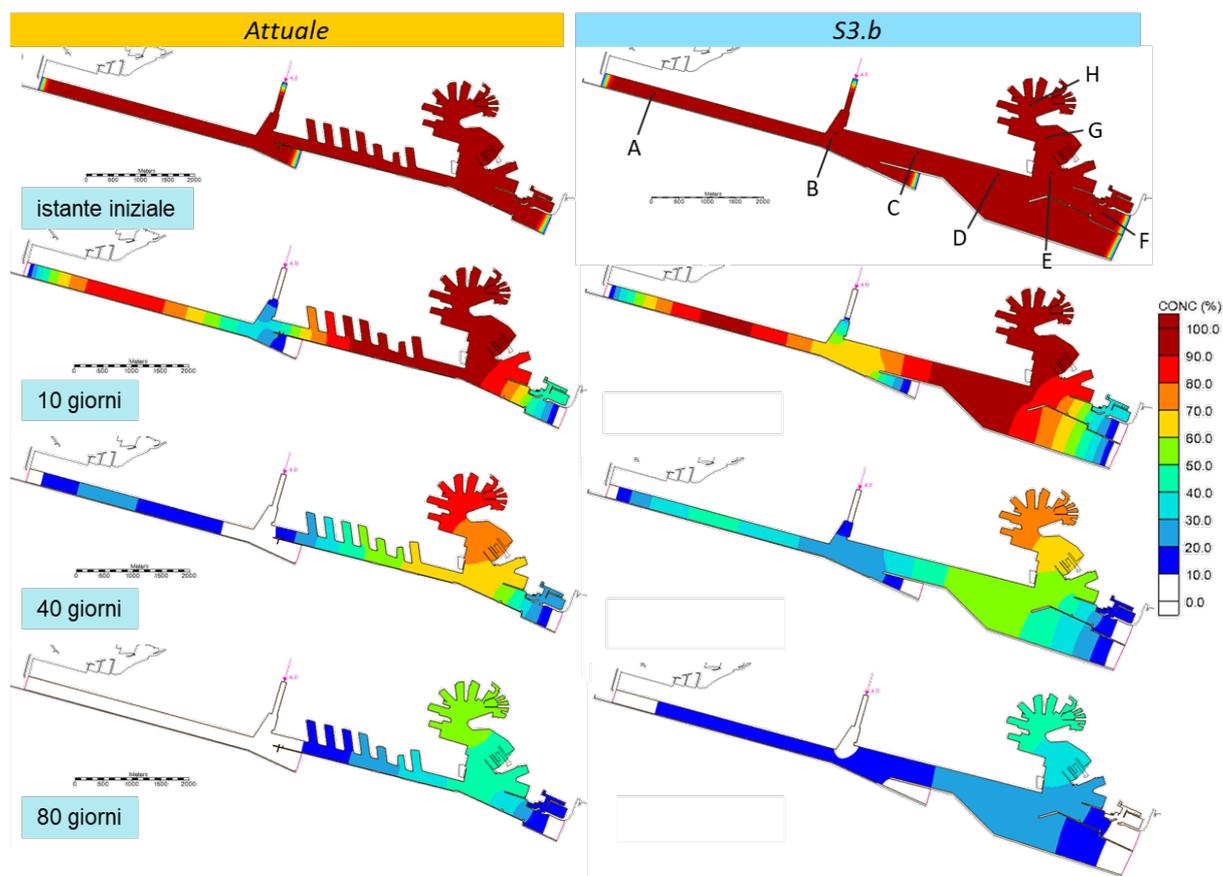


FIGURA 4-47 - CONFRONTO TRA LA CONCENTRAZIONE DEL CONTAMINANTE CONSERVATIVO OTTENUTA PER LO STATO ATTUALE E PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A) DOPO 10, 40 E 80 GIORNI DI SIMULAZIONE, IN PRESENZA DELLA SOLA MAREA ASTRONOMICA

Diversamente la circolazione indotta dalla nuova configurazione delle opere foranee determina, in prossimità della Bocca di Ponente, una modesta riduzione della capacità di ricambio idrico. Il tempo di ricambio in corrispondenza della Bocca di Ponente subisce un aumento relativo del 20%, ma rimane comunque inferiore a 10 giorni e pertanto nettamente più basso rispetto al tempo di ricambio ottenuto mediamente all'interno del bacino pari a circa 50 giorni.

La riduzione delle correnti di marea all'interno del bacino di Sampierdarena, determinata dall'apertura della nuova imboccatura portuale e dalla realizzazione del nuovo ampio bacino di evoluzione, ha come conseguenza un aumento del tempo di ricambio dell'ordine del 30% alla quale è associata una riduzione di capacità di ricambio idrico.

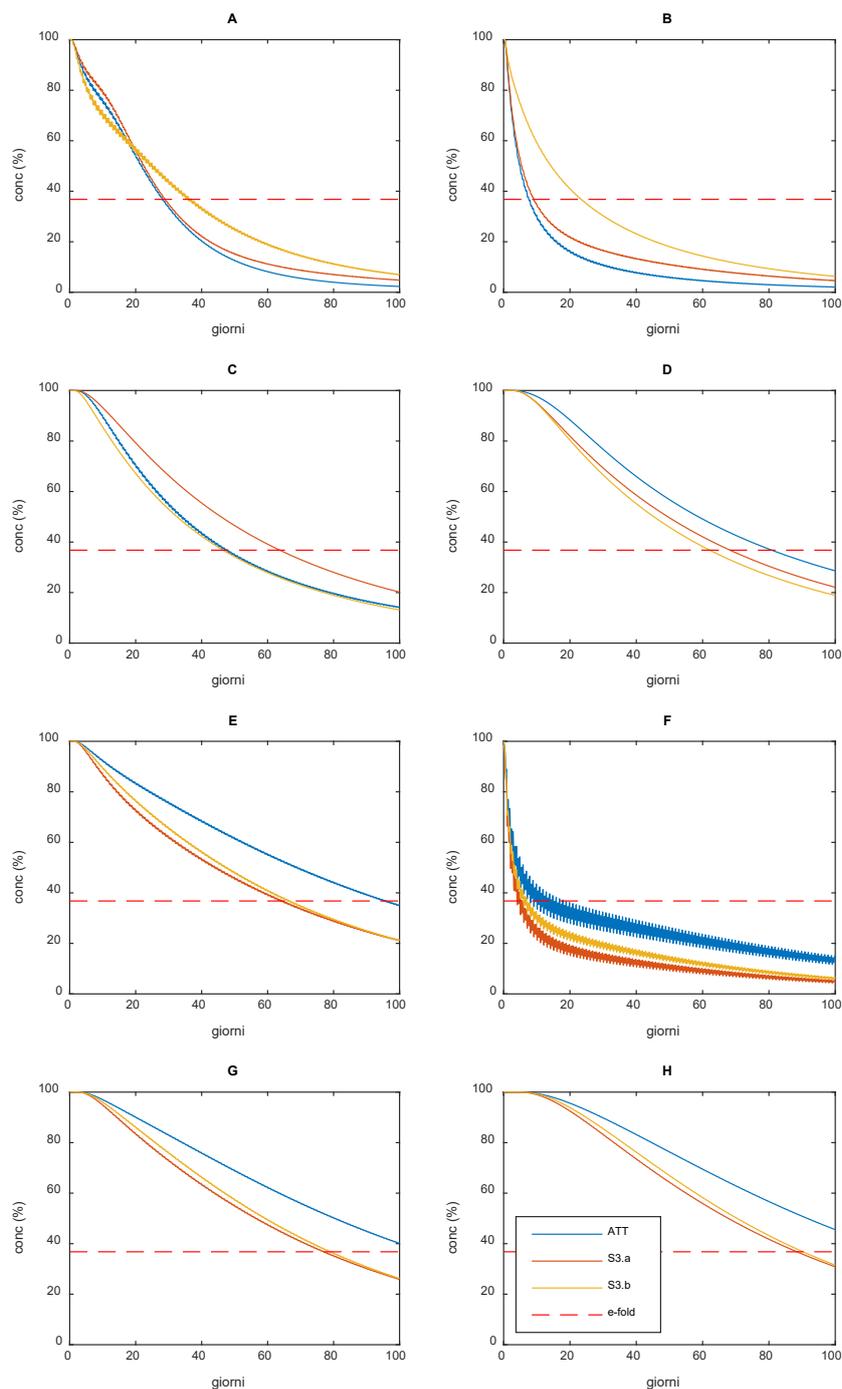


FIGURA 4-48 - CONFRONTO DELL'EVOLUZIONE TEMPORALE DELLA CONCENTRAZIONE DEL SOLUTO PASSIVO OTTENUTA CON IL MODELLO DI SIMULAZIONE RMA-4 NEI PUNTI DI CONTROLLO LOCALIZZATI ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE PER LA CONFIGURAZIONE ATTUALE E PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A) IN FASE B)

TABELLA 4-24 - VALORI DEL TEMPO DI RICAMBIO OTTENUTI NEI PUNTI DI CONTROLLO UBICATI ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE PER LO STATO ATTUALE E PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A) E IN FASE B)

Punti di controllo		Tempo di ricambio T_r (giorni)				
		Stato attuale	Soluzione di progetto fase a)	Variazione percentuale	Soluzione di progetto fase b)	Variazione percentuale
A	Canale di calma	28	29	+2%	37	30%
B	Bocca di Ponente Foce Polcevera	8	9	+20%	23	208%
C	Bacino Sampierdarena	48	64	+33%	47	-3%
D	Calata Bettolo	81	68	-15%	62	-23%
E	Avamporto esistente	96	65	-32%	67	-30%
F	Bocca di Levante Darsena "Fiera di Genova"	19	6	-69%	7	-63%
G	Bacino delle Grazie	105	77	-23%	79	-21%
H	Porto Vecchio	120	89	-25%	90	-23%
	Valore medio	64	52	-18%	53	-17%

La variazione più significativa del tempo ricambio, sempre con riferimento allo stato attuale, si è ottenuta per la soluzione di progetto in fase b) in prossimità della foce del Torrente Polcevera dove si è ottenuto un aumento del tempo di ricambio pari a circa 4 volte. Questo effetto è dovuto in parte allo spostamento della Bocca di Ponente verso Ovest, in parte all'ampliamento del bacino Sampierdarena. I valori ottenuti risultano comunque nettamente inferiori rispetto al valore medio ottenuto su tutto il bacino; non comportano dunque un peggioramento generale della qualità delle acque del porto ma solo locale.

Le analisi condotte hanno evidenziato che la capacità di ricambio idrico del bacino del porto di Genova risulta ad oggi decisamente scarsa.

Per lo stato attuale, in presenza della sola marea astronomica, il valore medio del tempo di ricambio ottenuto per il bacino portuale è di circa 65 giorni, con valori superiori a 100 giorni nella parte più interna del porto.

La realizzazione delle nuove opere foranee, la formazione dell'ampio avamporto nello specchio di mare prospiciente alla Calata Bettolo e l'approfondimento dei fondali, determinano un significativo aumento del volume del bacino portuale.

Le simulazioni condotte, assumendo come forzante meteomarina la sola marea astronomica, hanno mostrato che l'apertura di una nuova imboccatura e la variazione delle correnti di marea, indotta dalla nuova configurazione portuale, contribuiscono ad aumentare gli scambi con il mare aperto e determinano una riduzione del tempo di ricambio del bacino portuale che si riduce a 52/53 giorni per la soluzione di progetto con una riduzione relativa del 17/18%.

A fronte dei risultati ottenuti è possibile concludere che, a seguito della realizzazione degli interventi previsti da progetto, è atteso un miglioramento della capacità di ricambio idrico del bacino di lieve entità.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-25 - ACQUE MARINO COSTIERE. RICAMBIO IDRICO DEL BACINO PORTUALE. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Variazione della capacità di ricambio idrico del bacino portuale	1	1	3	3	2	8	Lieve

4.7.2.5 Ricambio idrico e influenza delle acque portuali sulle coste adiacenti

Per l'analisi della capacità di ricambio idrico dello specchio acqueo portuale e del potenziale impatto delle acque portuali sulle aree marine adiacenti alla diga foranea nella configurazione di progetto in relazione alla potenziale immissione e diffusione di un contaminante è stato condotto uno studio specifico (cod. elaborato: MI046R-PF-D-I-R-022-00)⁶ mediante applicazione del medesimo modello numerico di idrodinamica e dispersione/diffusione già applicato per analizzare lo stato attuale (rif. Volume 2, Paragrafo 3.1.6.7).

La valutazione della capacità di ricambio idrico del bacino portuale e dell'influenza delle acque portuali sulle coste adiacenti per la soluzione di progetto in fase di esercizio è stata eseguita analizzando i possibili effetti indotti da una sostanza passiva immessa dalle foci del Torrente Polcevera e del Torrente Bisagno in occasione di eventi di piena con tempo di ritorno di 2 anni.

⁶ Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, "Realizzazione della nuova diga foranea del Porto di Genova, ambito bacino di Sampierdarena". Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica. Seconda Fase. Studio dei Fenomeni Dispensivi e dell'Influenza delle Acque Portuali sulle Coste (Aprile 2021).

Sono stati presi a riferimento quattro scenari meteorologici, tipici della stagione estiva, ovvero quando in generale si manifestano le maggiori criticità per le problematiche connesse alla qualità delle acque marine.

TABELLA 4-26 - SCENARI DI SIMULAZIONE PRESI IN ESAME PER LA VALUTAZIONE DEL RICAMBIO IDRICO IN RELAZIONE ALLA DISPERSIONE DI UN INQUINANTE IMMESSO DAI TORRENTI POLCEVERA E BISAGNO

Scenario di simulazione	Marea astronomica	Portata Polcevera	Portata Bisagno	Vento
Scenario 0	Semidiurna fase sizigiale Ampiezza ±15 cm	340 m ³ /s	175 m ³ /s	assente
Scenario 1				SE, 6 m/s;
Scenario 2				SO, 4 m/s;
Scenario 3				Regime brezze estive NE, 2 m/s SO, 6 m/s

Le stesse valutazioni sono state eseguite in precedenza per lo stato attuale del Porto di Genova allo scopo di verificare rispetto ad esso le variazioni, in termini di concentrazione del tracciante passivo immesso, nei punti di controllo interni al bacino portuale e per i “target ambientali” prescelti posti in prossimità delle aree marine costiere localizzate a levante e a ponente del porto.

Lo studio è stato effettuato utilizzando il codice Surface Water Modeling System (SMS) sviluppato dal U.S. Army Corps of Engineers. In particolare, i campi idrodinamici sono stati calcolati con il codice RMA-2, i cui risultati sono stati successivamente utilizzati come forzanti per il modello di qualità delle acque RMA-4.

I risultati delle simulazioni idrodinamiche, mostrati nei diagrammi riportati nelle Figure seguenti, posti a confronto con lo stato attuale, hanno permesso di valutare quanto segue:

- la conformazione delle nuove opere foranee, unitamente agli interventi di approfondimento dei fondali all'interno del bacino Sampierdarena, non ostacola in modo significativo il deflusso delle portate associate agli eventi di piena del Torrente Polcevera e del Torrente Bisagno che mantengono le caratteristiche riscontrate anche nello stato attuale;

- sia in fase a) che in fase b), l'apertura della nuova imboccatura portuale, la realizzazione dell'ampio avamposto nello specchio di mare prospiciente a Calata Bettolo e l'approfondimento dei fondali, generano una corrente di richiamo diretta verso l'interno del porto che favorisce il deflusso delle acque del Bisagno all'interno del bacino portuale che trovano sbocco nel nuovo avamposto;
- si osserva una netta riduzione, rispetto alla situazione attuale, delle velocità delle correnti all'interno del bacino Sampierdarena. Tale effetto risulta ancor più evidente per la fase realizzativa b) a seguito della quale, con lo spostamento della diga foranea e l'approfondimento dei fondali, si verifica un aumento significativo della sezione idraulica del bacino.

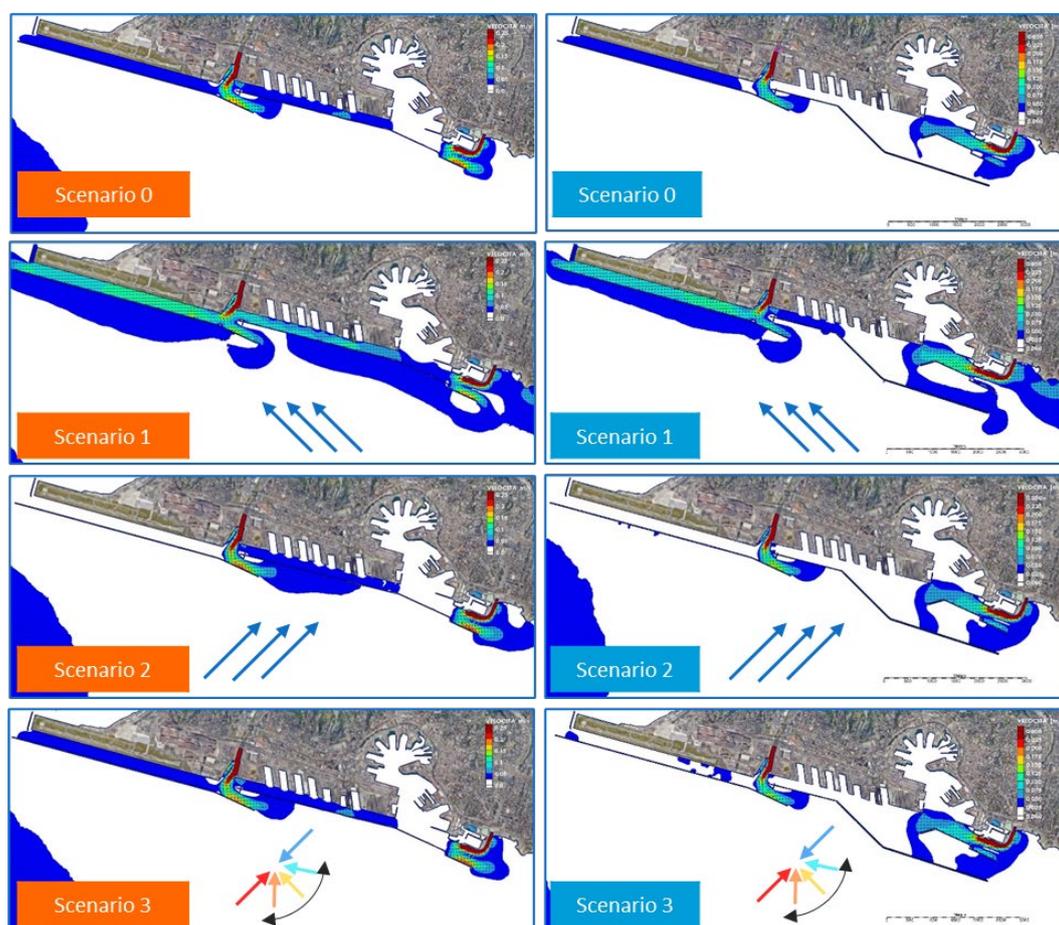


FIGURA 4-49 - CONFRONTO TRA I CAMPI DI VELOCITÀ PER LO STATO ATTUALE E PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A) IN OCCASIONE DEGLI EVENTI DI PIENA DEI TORRENTI POLCEVERA E BISAGNO CON TEMPO DI RITORNO 2 ANNI PER I DIVERSI SCENARI DI SIMULAZIONE PRESI IN ESAME

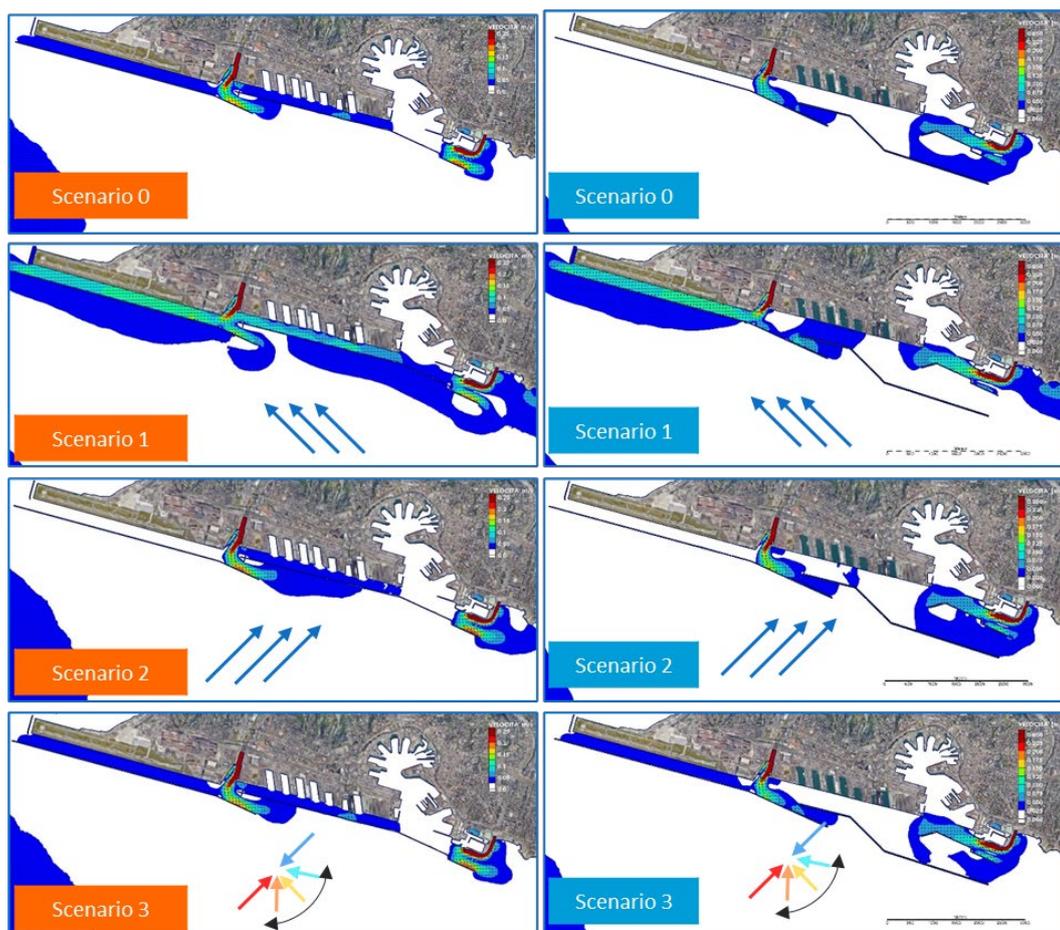


FIGURA 4-50 - CONFRONTO TRA I CAMPI DI VELOCITÀ PER LO STATO ATTUALE E PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A) IN OCCASIONE DEGLI EVENTI DI PIENA DEI TORRENTI POLCEVERA E BISAGNO CON TEMPO DI RITORNO 2 ANNI PER I DIVERSI SCENARI DI SIMULAZIONE PRESI IN ESAME

Come già accennato per valutare la capacità di ricambio idrico del bacino portuale è stata studiata con il modello RMA-4, a favore di sicurezza, la diffusione e la dispersione in mare, per una finestra temporale di 5 giorni, di un tracciante passivo che fuoriesce dalle foci dei due torrenti Polcevera e Bisagno con concentrazione unitaria che non decade nel tempo.

I diagrammi di Figura 4-52 e di Figura 4-53 mostrano il confronto tra i campi di concentrazione del soluto passivo ottenuti a 10 ore dal termine degli eventi di piena dei torrenti Polcevera e Bisagno per la situazione attuale e per la configurazione di progetto in fase a) e in fase b) in relazione agli scenari meteomarini presi a riferimento.

L'esame dei risultati è stato effettuato in corrispondenza di punti di controllo ubicati in prossimità delle tre imboccature portuali esistenti (bocca di levante, bocca di ponente e sbocco canale di calma dell'aeroporto), e in corrispondenza dei "target" ambientali

individuati lungo i litorali adiacenti al porto che sono rappresentati dalle “pocket beaches” poste rispettivamente a Ovest (spiaggia di Voltri) e a Est (spiagge di Albaro e di Quarto dei Mille) del Porto di Genova (vedi Figura 4-51).

In corrispondenza dei punti di controllo è stata rappresentata la variazione nel tempo della concentrazione della sostanza passiva immessa a mare dalle foci fluviali in presenza dell’opera in progetto e si è poi confrontata tale evoluzione con quella ottenuta in precedenza per la situazione attuale.

Nei grafici di Figura 4-54 sono riportate le variazioni delle concentrazioni nei diversi punti di controllo situati alle imboccature portuali per i diversi scenari meteomarini prese in esame. In generale si osserva che le differenze rispetto alla situazione attuale sono generalmente assai contenute e tendono ad esaurirsi nell’arco di 48 ore.

Nei grafici di Figura 4-55 sono riportati i valori di concentrazione osservati nel tempo nei punti target ambientali per lo stato di fatto e per la configurazione di progetto in fase a) e in fase b) per i due scenari rappresentativi delle condizioni di vento da scirocco e da libeccio in presenza dei quali si è osservata una maggiore dispersione e diffusione del soluto. I grafici riportano inoltre la riduzione di concentrazione osservata nei punti di controllo valutata come differenza tra i valori ottenuti per lo stato di fatto e i valori per la soluzione di progetto. Una differenza positiva va interpretata come una riduzione relativa di concentrazione.

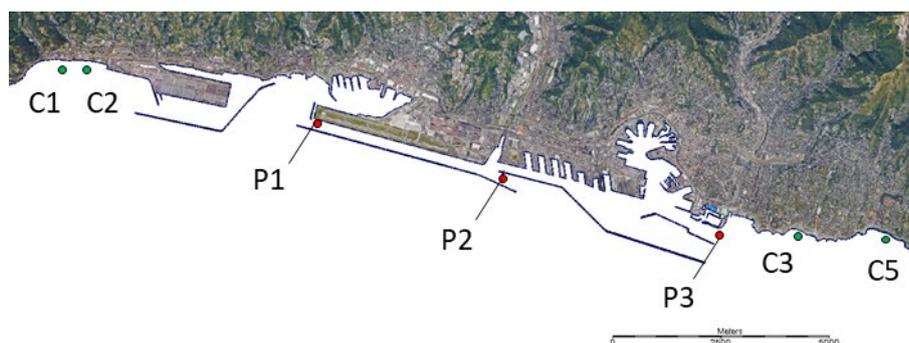


FIGURA 4-51 - UBICAZIONE DEI PUNTI DI CONTROLLO PER IL CONFRONTO DEI RISULTATI

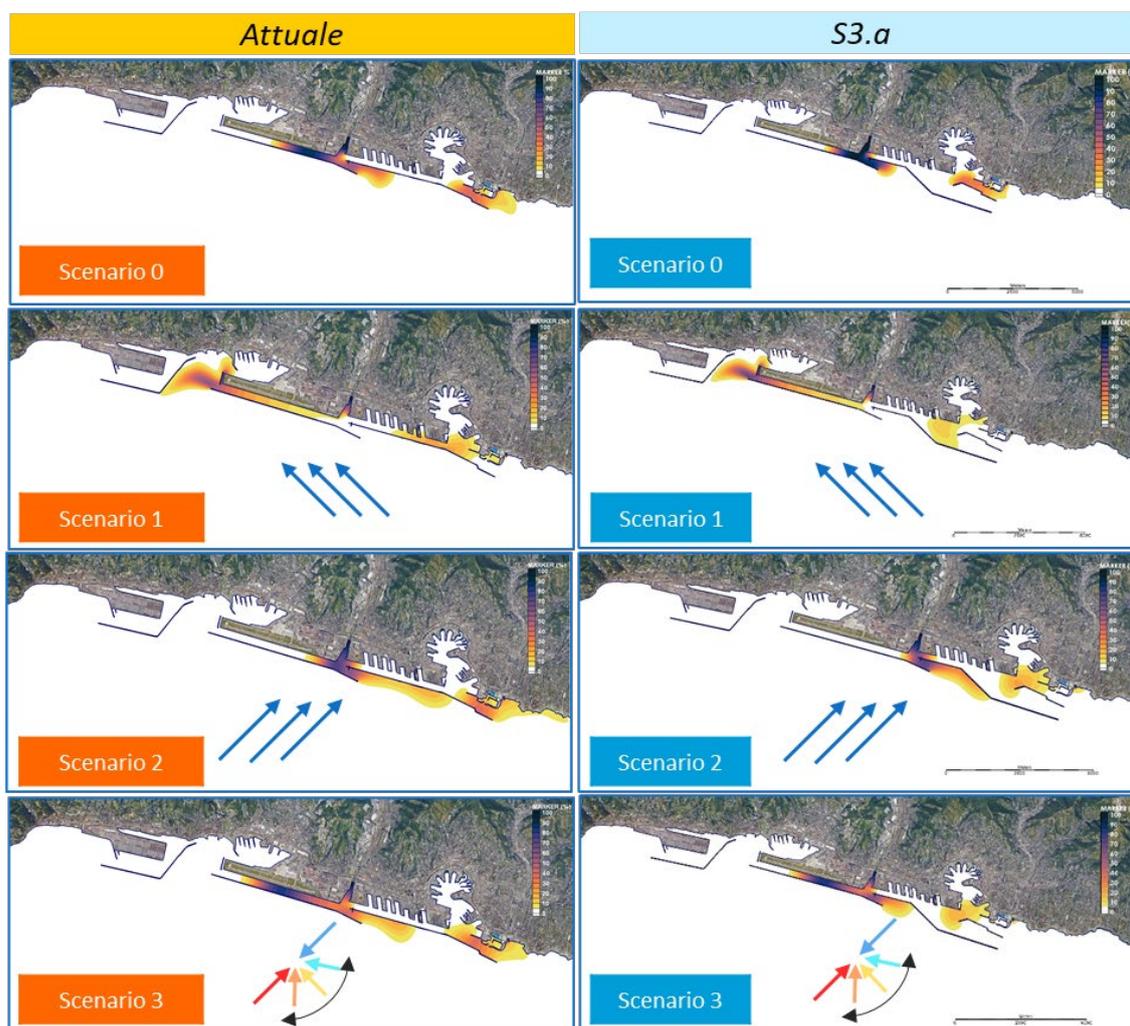


FIGURA 4-52 - CONFRONTO TRA I CAMPI DI CONCENTRAZIONE DEL SOLUTO PASSIVO A 10 ORE DAL TERMINE DEGLI EVENTI DI PIENA SIMULATI OTTENUTI PER LO STATO ATTUALE (SINISTRA) E PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A) PER I DIVERSI SCENARI DI SIMULAZIONE PRESI IN ESAME

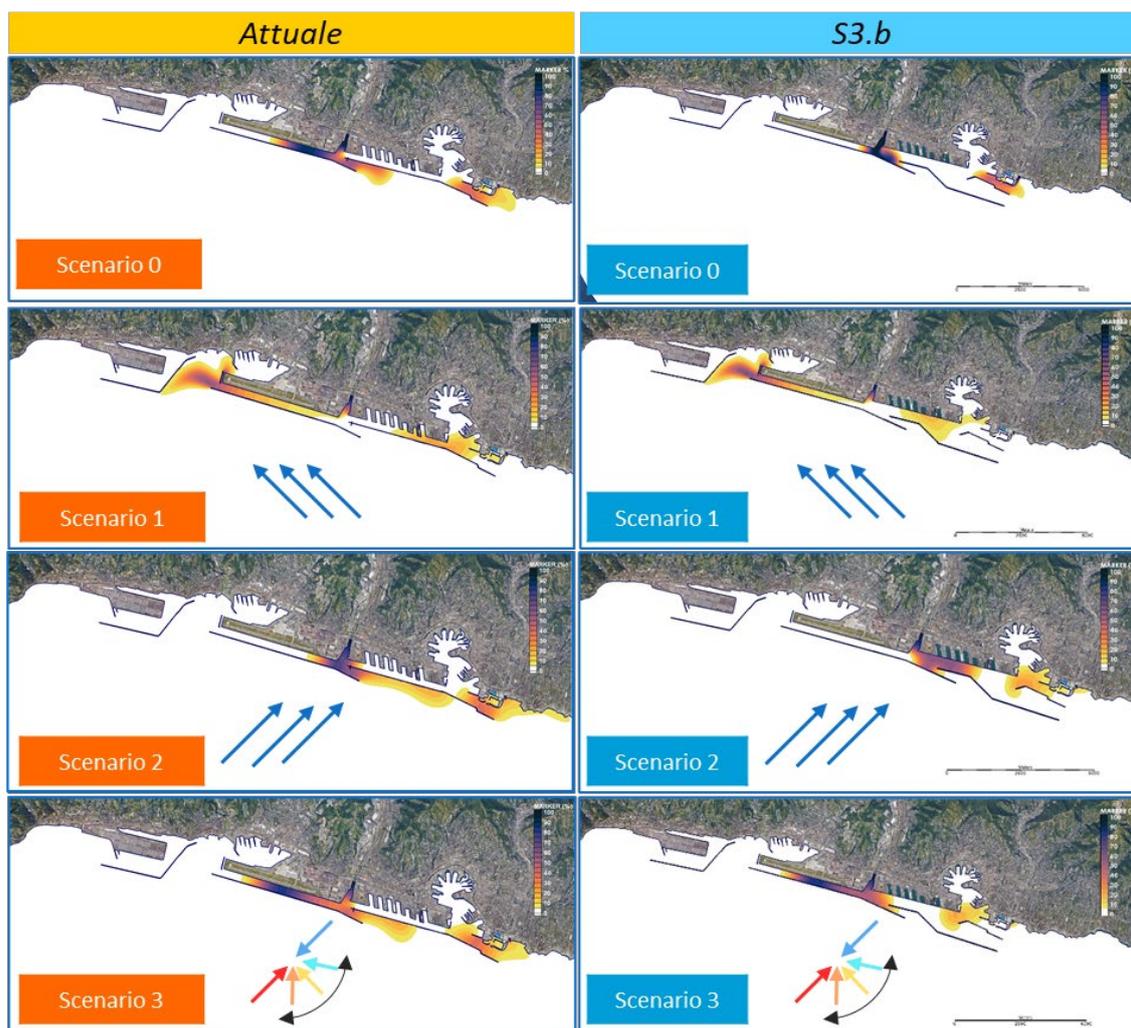


FIGURA 4-53 - CONFRONTO TRA I CAMPI DI CONCENTRAZIONE DEL SOLUTO PASSIVO A 10 ORE DAL TERMINE DEGLI EVENTI DI PIENA SIMULATI OTTENUTI PER LO STATO ATTUALE (SINISTRA) E PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE B). SCENARI: 1-SCIROCCO, 2-LIBECCIO, 3-TERMICA ESTIVA

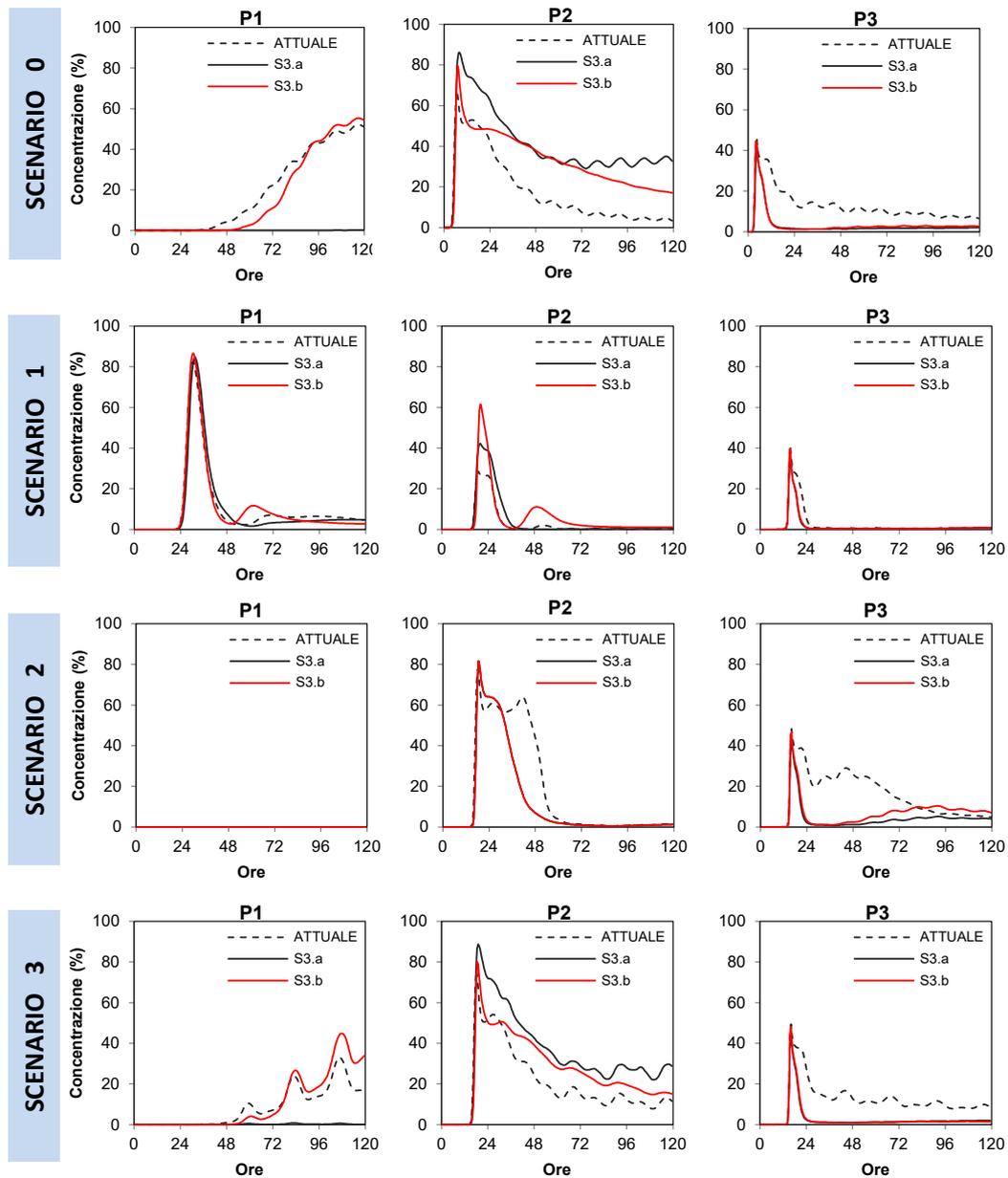


FIGURA 4-54 - CONFRONTO DELL'ANDAMENTO TEMPORALE DELLA CONCENTRAZIONE DEL SOLUTO PASSIVO TRA LO STATO ATTUALE E LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A) E FASE B) NEI PUNTI DI CONTROLLO UBICATI IN CORRISPONDENZA DELLE IMBOCCATURE PORTUALI ESISTENTI IN RELAZIONE AGLI EVENTI DI PIENA DEI TORRENTI POLCEVERA E BISAGNO CON TEMPO DI RITORNO 2 ANNI PER I DIVERSI SCENARI METEOMARINI PRESI IN ESAME

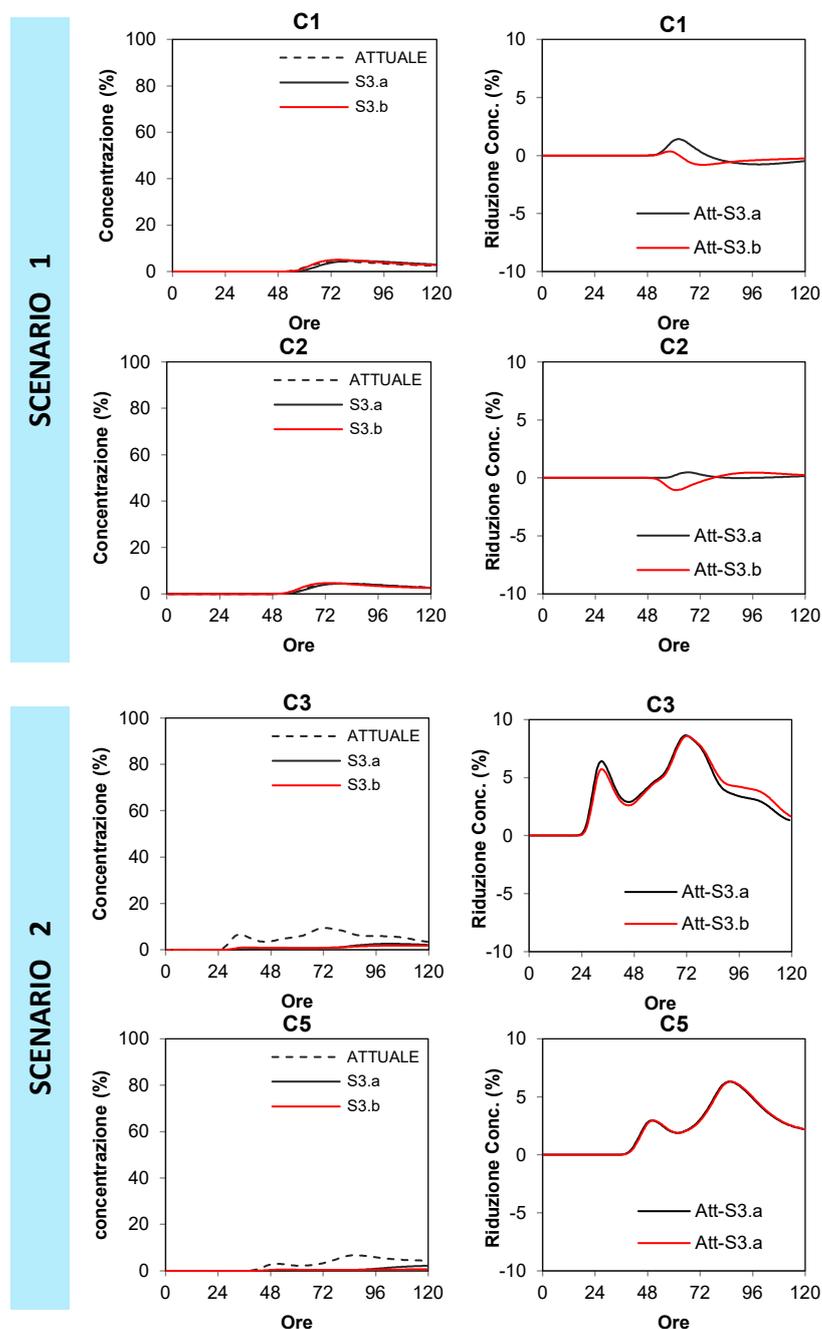


FIGURA 4-55 - ANDAMENTO TEMPORALE (SINISTRA) E RIDUZIONE PERCENTUALE (DESTRA) DELLA CONCENTRAZIONE DEL SOLUTO PASSIVO, RISPETTO ALLO STATO ATTUALE, PER LA SOLUZIONE DI PROGETTO IN FASE A) E IN FASE B) OTTENUTA NEI PUNTI TARGET AMBIENTALI LOCALIZZATI IN PROSSIMITÀ DELLE “SPIAGGE DI VOLTRI” (C1, C2) E IN PROSSIMITÀ DI ALBARO E QUARTO DEI MILLE (C3, C5)

Dai risultati relativi al campo di concentrazione si evince che la realizzazione delle nuove opere foranee, la formazione dell'ampio avamporto nello specchio di mare

prospiciente a Calata Bettolo e l'approfondimento dei fondali, determinano un significativo aumento del volume del bacino portuale.

Questo comporta una generale riduzione delle velocità delle correnti e favorisce i fenomeni di diffusione e dispersione all'interno del bacino di Sampierdarena e del nuovo avamporto.

L'apertura di una nuova imboccatura e le dimensioni del nuovo bacino portuale consentono di ridurre comunque la concentrazione del potenziale contaminante che, al termine dei 5 giorni di simulazione, presenta valori poco elevati, con modeste variazioni rispetto allo stato attuale.

Pertanto, si può ritenere che il naturale ricambio idrico del bacino portuale sia garantito anche per la soluzione di progetto.

A parità di carico inquinante interno al porto, in relazione alla situazione attuale, inclusi gli scarichi diretti dalla terraferma ed i rilasci dalle navi, è attesa una maggiore capacità di diluizione e, quindi, un minore effetto anche sulle acque immediatamente esterne al bacino portuale.

Nei "punti target" posizionati in prossimità delle spiagge di Albaro e Quarto dei Mille si è osservata una riduzione generale della concentrazione rispetto allo stato attuale. Nei pressi della spiaggia di Voltri non è stata osservata una rilevante variazione rispetto allo stato attuale dei fenomeni di dispersione del tracciante.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-27 - ACQUE MARINO COSTIERE. RICAMBIO IDRICO PORTUALE E INFLUENZA DELLE ACQUE PORTUALI SULLE COSTE ADIACENTI. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI IN FASE DI ESERCIZIO

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Variazione del ricambio idrico portuale e influenza delle acque portuali sulle coste adiacenti	1	1	3	3	2	8	Lieve

4.8. Aria e clima

4.8.1. Stima degli impatti in fase di cantiere

4.8.1.1 Area di indagine

Per la caratterizzazione dell'impatto atmosferico dei cantieri di realizzazione della nuova diga, è stata considerata un'area di indagine, o dominio di calcolo, costituita dal quadrato di 15 x 7 Km², rappresentato nella Figura seguente.

L'area, disposta in modo da coprire la zona portuale dove verrà a trovarsi il cantiere, comprende una consistente parte della città di Genova che si affaccia sul mare e di una parte del suo entroterra.

Nella Figura sono anche riportati (simboli rossi), le posizioni delle stazioni della rete Regionale di Qualità dell'Aria gestita da ARPAL che forniscono i dati di confronto interni al dominio di calcolo.

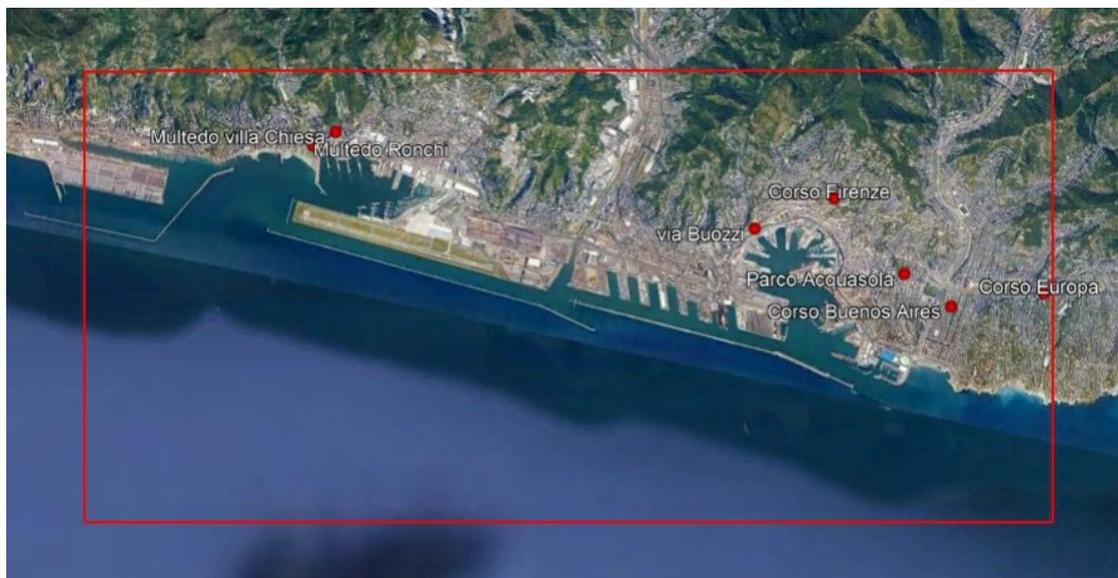


FIGURA 4-56 - DOMINIO DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO SULLA QUALITÀ DELL'ARIA IN FASE DI CANTIERE

Il dominio ha come coordinate (x, y) del vertice Sud Ovest, nel sistema di proiezione WGS84-UTM 32 N, il punto 482600 m - 4913300 m

La risoluzione orizzontale scelta per descrivere sia i dati meteorologici in input che le concentrazioni in output (recettori di calcolo disposti regolarmente all'interno del dominio) è di 100 m, compatibile con la durata delle simulazioni su scala annuale da eseguire ed in grado di fornire un sufficiente dettaglio sia alla scala complessiva considerata sia alla scala di dettaglio in prossimità delle emissioni di cantiere, tenendo conto anche delle caratteristiche orografiche del territorio.

La griglia di calcolo orizzontale è quindi caratterizzata da 150 celle nella direzione x e 70 celle nella direzione y.

L'estensione verticale del dominio di simulazione per la ricostruzione meteorologica è di 5000 m con i seguenti 15 livelli di calcolo sopra l'orografia espressi in metri: 0, 10, 20, 75, 150, 250, 380, 560, 800, 1130, 1570, 2160, 2970, 4050 5000

4.8.1.2 Sistema modellistico utilizzato

Data la natura del territorio in cui si collocherà il cantiere, caratterizzato sia dalla presenza dell'interfaccia terra-mare che dalla presenza di orografia complessa nell'entroterra, nonché la presenza di un elevato numero di sorgenti emmissive inquinanti sia areali che lineari, per la realizzazione delle analisi è stata utilizzata la suite modellistica ARIA Impact 3D che include il modello lagrangiano a particelle SPRAY (Tinarelli *et al.*, 1994, 1999, 2019), particolarmente adatto a descrivere la dispersione atmosferica in questo tipo di situazioni.

Tale sistema modellistico è attualmente in dotazione anche a diverse Agenzie Regionali di Protezione dell'Ambiente (ARPA Piemonte, ARPA Valle d'Aosta, ARPA Lombardia, ARPA Friuli-Venezia Giulia, ARPA Lazio, ARPA Molise, ARPA Basilicata, ARPA Puglia, ARPA Calabria).

Questa classe di modelli è sviluppata in modo da superare i limiti teorico/pratici dei modelli più semplificati (gaussiani rettilinei e stazionari), in quanto consente di seguire l'evoluzione dei pennacchi emessi seguendo in modo esplicito la tridimensionalità della meteorologia e della turbolenza in ogni punto e non solo in corrispondenza del baricentro dello stesso pennacchio.

Questo permette per esempio di simulare fenomeni quali la separazione verticale di porzioni del pennacchio in presenza di forti variazioni della direzione del vento

(“shear”) o di circolazioni a regime di brezza che possono manifestarsi in prossimità della linea di costa.

Mediante SPRAY sono state valutate, con una risoluzione spaziale di 100 m, le concentrazioni nei pressi del suolo degli inquinanti “primari” emessi dalle attività di cantiere, caratterizzando in dettaglio nello spazio e nel tempo le sorgenti emissive e considerando i macroinquinanti NO_x, PM10, PM2.5, SO₂, NMVOC e CO.

La meteorologia in input a SPRAY è stata ricavata a partire dai campi meteorologici 3D prodotti dal sistema MINNI (Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione Internazionale sui temi dell’Inquinamento atmosferico) per l’anno 2010 a 4 Km di risoluzione, utilizzando poi il codice SWIFT (Aria Technologies, 2010, Finardi *et al.* 1998) per la ricostruzione tridimensionale diagnostica del campo di vento a divergenza nulla, considerando l’orografia della zona alla risoluzione di 100 m, ed il processore SURFPRO (Silibello, 2006, ARIANET, 2015) per la definizione dei parametri di turbolenza atmosferica.

4.8.1.3 Orografia e uso del suolo

La Figura seguente mostra una rappresentazione tridimensionale del profilo orografico all’interno del dominio di calcolo considerato per la ricostruzione meteorologica di dettaglio e per le simulazioni di dispersione.

La risoluzione orizzontale del modello digitale del terreno è di 100 m e i dati provengono dal database ottenuto tramite il progetto americano Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Il dominio comprende nella parte meridionale una porzione consistente di mare, in grado di contenere interamente la zona di cantiere e si estende per alcuni Km verso l’entroterra. Sono presenti diverse complessità topografiche, comprendenti la valle del Torrente Polcevera nella parte centrale del dominio e quella del Torrente Bisagno verso est. I maggiori rilievi orografici all’interno del dominio raggiungono oltre 400 m s.l.m.m.

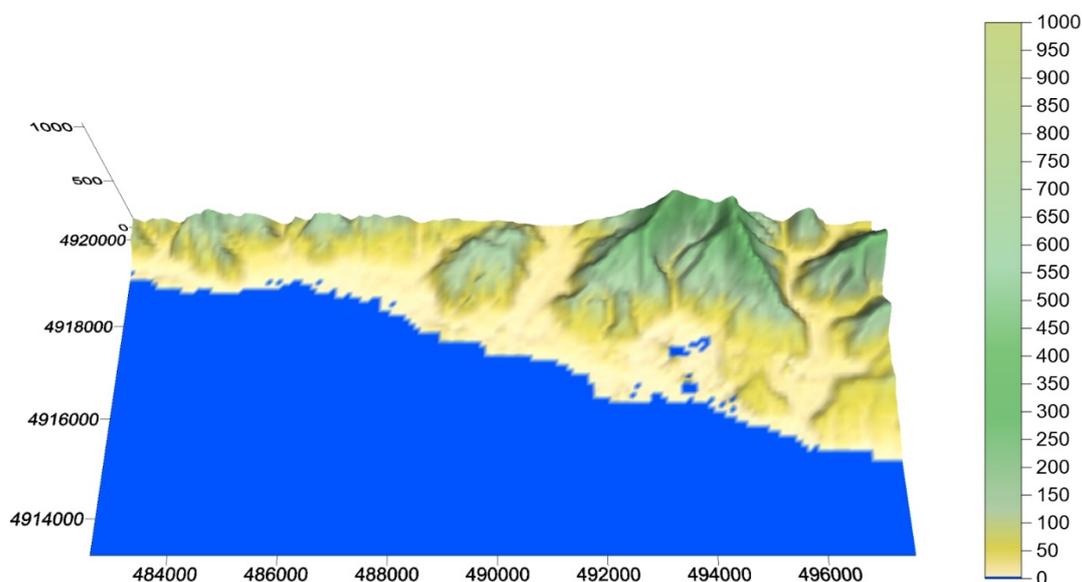


FIGURA 4-57 - RAPPRESENTAZIONE TRIDIMENSIONALE DELL'OROGRAFIA NEL DOMINIO DI CALCOLO

Nella Figura seguente è descritto mediante isolinee il medesimo modello digitale del terreno, insieme ad una rappresentazione della matrice di uso suolo, estratto dal database europeo CORINE⁷, anch'essa riportata alla risoluzione orizzontale di 100 m. I codici di uso del suolo sono definiti secondo una classificazione a 21 classi ricavata da quella standard europea CORINE a 44 classi mediante accorpamento di alcune categorie, secondo la didascalia riportata nella medesima Figura.

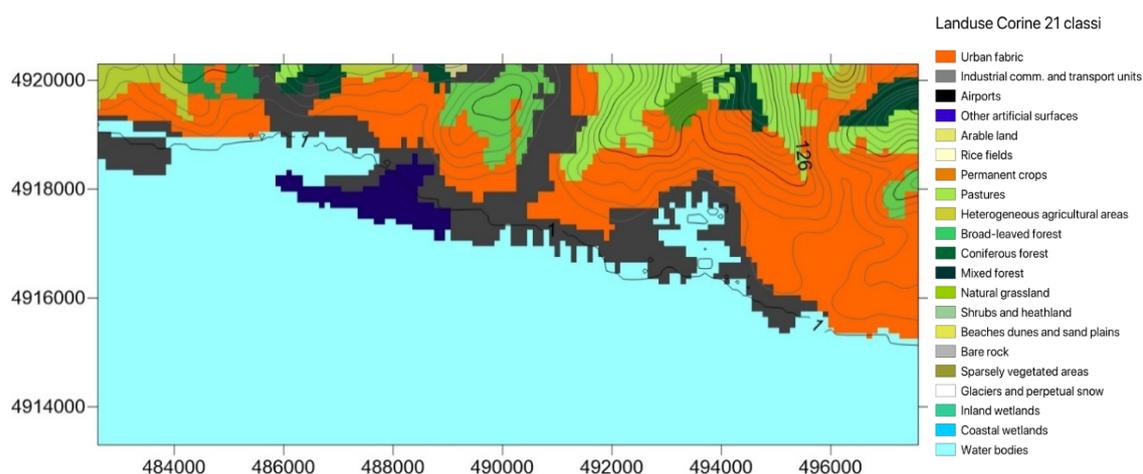


FIGURA 4-58 - DOMINIO DI CALCOLO CON USO DEL SUOLO CORINE 21 CLASSI A 100 M DI RISOLUZIONE E ISOLINEE DEI LIVELLI OROGRAFICI

⁷ <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

4.8.1.4 Dati metereologici

Il sistema modellistico utilizzato necessita di campi meteorologici 3D sul dominio di dettaglio a 100 m di risoluzione orizzontale e su base oraria.

In particolare, SPRAY ricostruisce il destino degli inquinanti attraverso un elevato numero di particelle indipendenti in grado di rappresentare nel dettaglio, mediante le loro traiettorie, il trasporto e la dispersione di differenti porzioni dei pennacchi emessi.

Il modello è quindi in grado di rappresentare con continuità, anche e soprattutto lungo la verticale, la dinamica dei pennacchi ed è quindi necessario garantire la coerenza spazio/temporale delle informazioni meteorologiche su base tridimensionale per evitare una rappresentazione distorta del loro movimento.

Da questo punto di vista, un metodo che garantisce di fornire in input al modello le informazioni meteorologiche con la coerenza necessaria prevede l'utilizzo di una discesa di scala di diversi modelli.

Sono quindi stati utilizzati i dati meteorologici provenienti del dataset nazionale prodotto dal sistema modellistico del progetto MINNI, Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione Internazionale sui temi dell'Inquinamento atmosferico, (www.minni.org, Zanini *et al.*, 2010, Vitali *et al.*, 2010), basato sull'integrazione del modello meteorologico prognostico ad area limitata alle equazioni primitive RAMS per l'anno 2010.

Il progetto MINNI comprende la produzione di campi meteorologici alla risoluzione di 20 km sul dominio di riferimento nazionale e, successivamente, di campi meteorologici a più alta risoluzione (4 Km), entrambi ricostruiti mediante l'utilizzo del modello meteorologico RAMS (Pielke *et al.*, 1992) in modalità di "nesting" su 5 sottodomini illustrati nella Figura seguente (in rosso i domini meteorologici RAMS).

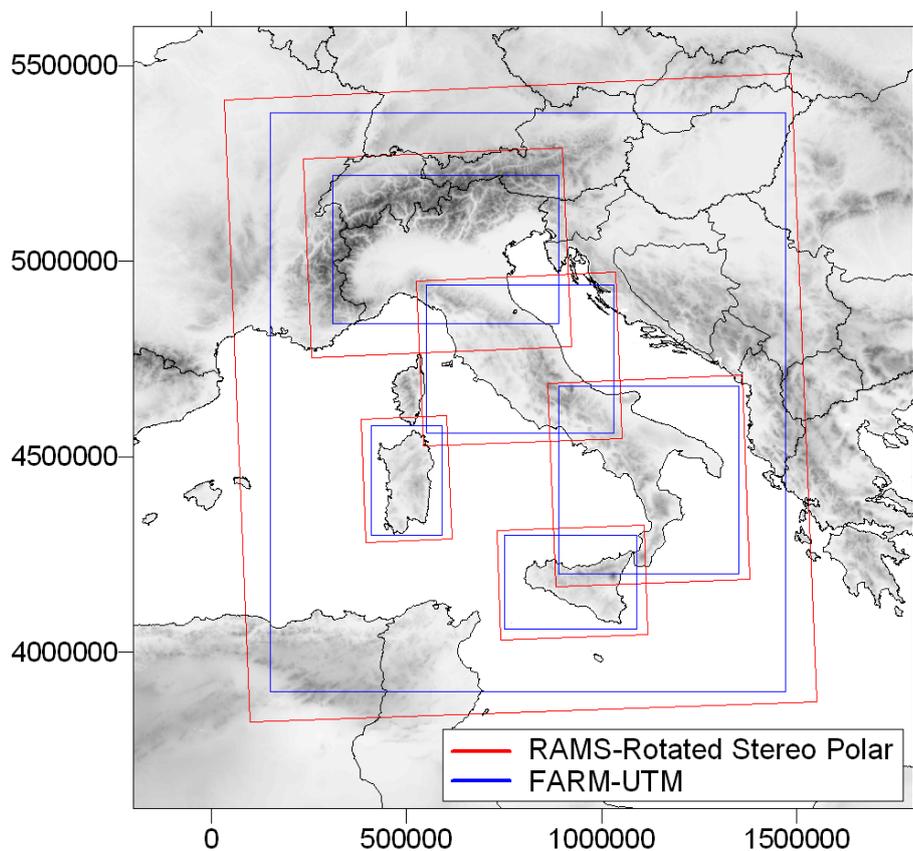


FIGURA 4-59 - DOMINI DI CALCOLO PER LE SIMULAZIONI MINNI 2010

Per le simulazioni sull'area di Genova sono stati presi in considerazione i dati del sottodominio a 4 Kvm di risoluzione che copre il Nord Italia.

L'area MINNI Nord copre infatti interamente la zona di simulazione, come indicato nelle seguenti Figure che rappresentano rispettivamente il dettaglio totale del grigliato MINNI Nord e la copertura del grigliato di punti sul dominio di dettaglio per le simulazioni di dispersione. In entrambe le Figure, in rosso è rappresentato il dominio di dettaglio considerato per le simulazioni di dispersione.

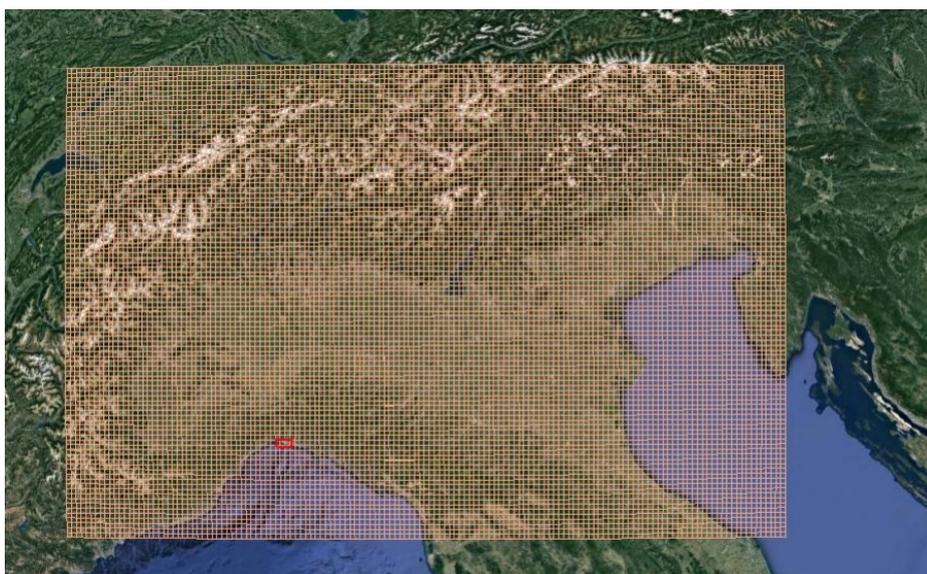


FIGURA 4-60 - AREA COMPLESSIVA DI COPERTURA DEI PUNTI METEOROLOGICI DI MINNI NORD E POSIZIONAMENTO (RETTANGOLO ROSSO) DEL DOMINIO DI CALCOLO PER LE SIMULAZIONI DI DISPERSIONE

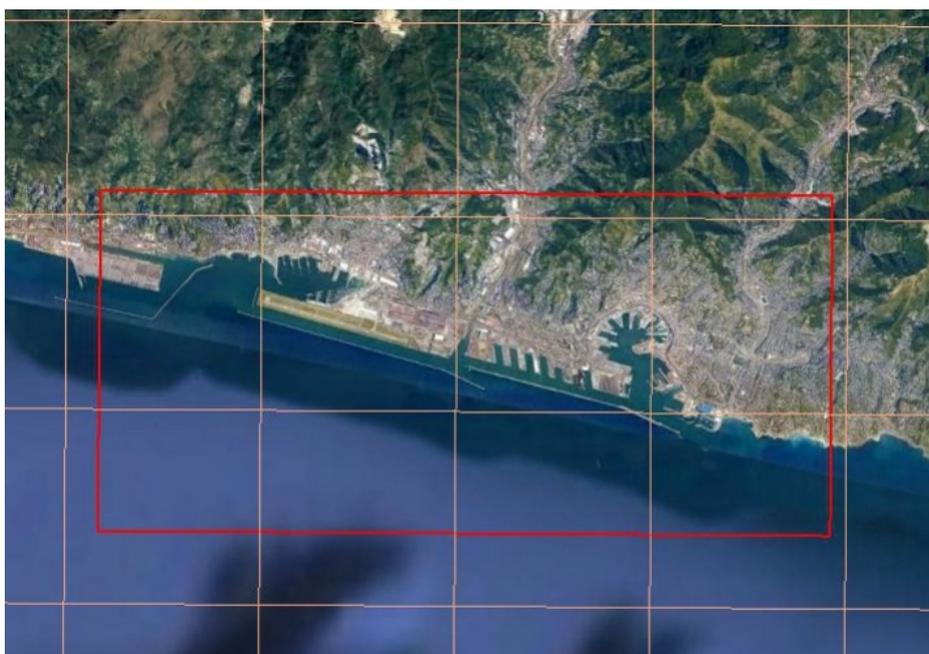


FIGURA 4-61 - DETTAGLIO DI COPERTURA DEL GRIGLIATO MINNI NORD SUL DOMINIO TARGET DI CALCOLO DELLA DISPERSIONE, RAPPRESENTATO DAL RETTANGOLO ROSSO

Per effettuare un'analisi di rappresentatività locale dei dati MINNI, è stato effettuato un confronto con le rose dei venti climatologiche disponibili, ottenute mediante i dati misurati nelle tre stazioni descritte per lo stato attuale: (rif. Volume 2, Paragrafo 3.1.7.2): Genova Punta Vagno gestita da ARPAL, all'interno della zona portuale, gestita

dalla Rete Mareografica Nazionale, e presso l'aeroporto di Genova Sestri Ponente, gestita dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (SMAM).

Per tutti questi sistemi di misura è stato considerato lo stesso periodo, corrispondente al quinquennio 2015-2019, in grado di rappresentare una situazione sufficientemente stabile e rappresentativa delle condizioni tipiche di flusso nella zona.

I dati di vento prodotti dal dataset MINNI su base oraria e per l'intero anno 2010 sono stati quindi estratti in corrispondenza delle posizioni degli anemometri.

Le tre Figure seguenti mostrano il confronto tra la rosa dei venti climatologica misurata e la corrispondente rosa dei venti estratta dal dataset MINNI per l'anno 2010 rispettivamente per le stazioni meteo RMN di Genova Porto, per la stazione ARPAL di Genova Punta Vagno e per la stazione SMAM dell'aeroporto di Genova Sestri Ponente.

I confronti mostrano come i dati del dataset MINNI sono in grado di cogliere le principali caratteristiche del flusso presente nella zona, che si manifestano principalmente attraverso le due principali direzioni di provenienza da Nord e da Sud, con prevalenza per la prima.

Gli anemometri locali evidenziano ciascuno condizioni localizzate di dettaglio che vengono in parte colte anche nei dati MINNI, come ad esempio la maggiore incidenza di venti più intensi da Nord nella zona del porto come indicato nel confronto con i dati RMN o una rotazione più accentuata delle direzioni da Nord-Est nella zona dell'aeroporto.

Complessivamente, i dati MINNI ricostruiscono le caratteristiche generali del flusso anemologico nella zona e il confronto può considerarsi soddisfacente.

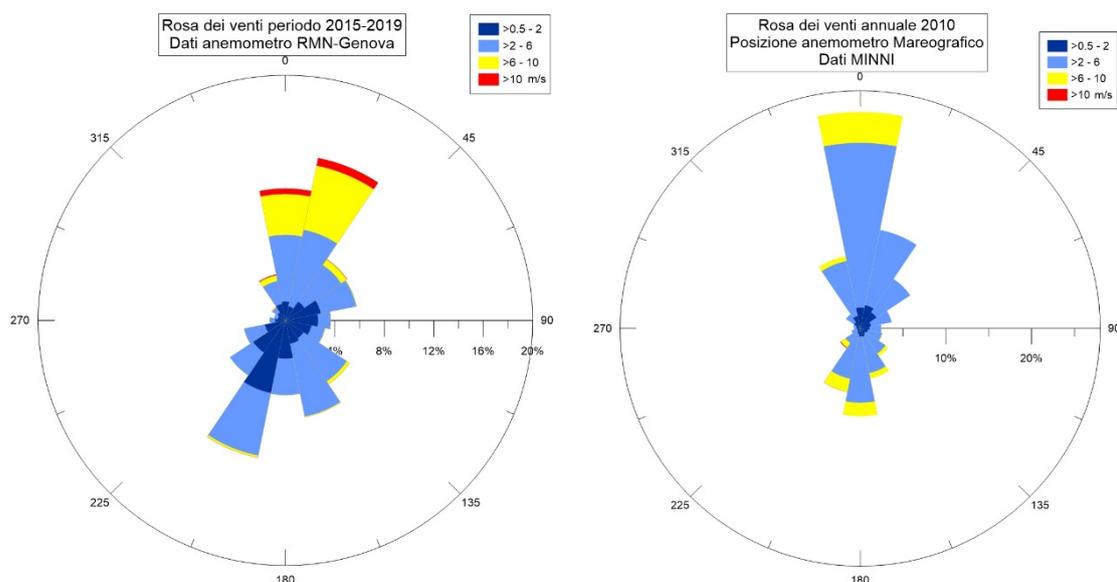


FIGURA 4-62 - ROSA DEI VENTI CLIMATOLOGICA MISURATA DALLA STAZIONE RMN DI GENOVA PORTO (PERIODO 2015-2019, SINISTRA) ED ESTRATTA NELLO STESSO PUNTO DAL DATASET MINNI (ANNO 2010, DESTRA)

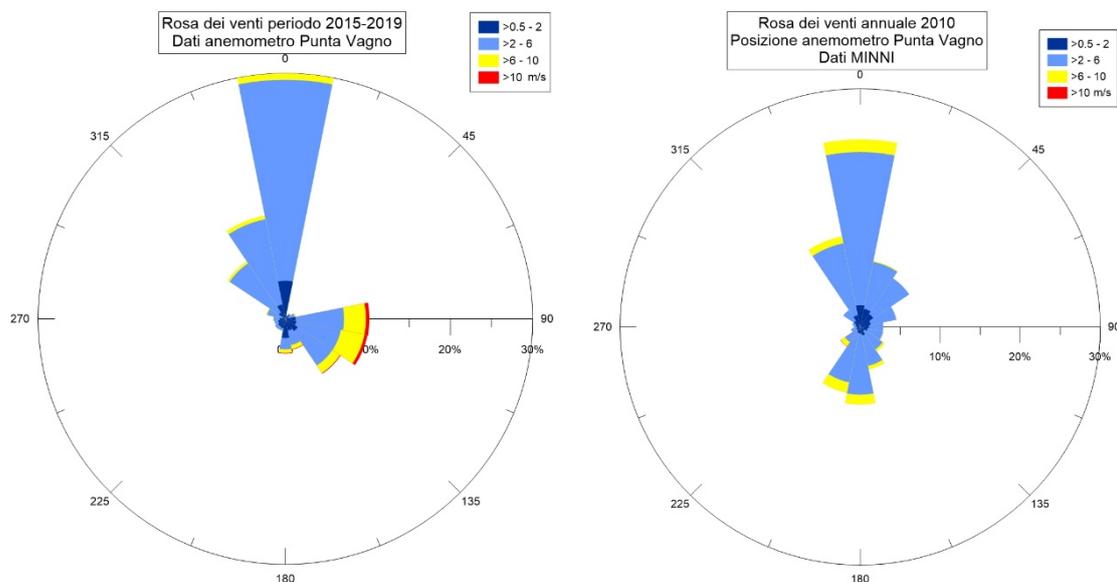


FIGURA 4-63 - ROSA DEI VENTI CLIMATOLOGICA MISURATA DALLA STAZIONE ARPAL DI GENOVA PUNTA VAGNO (PERIODO 2015-2019, SINISTRA) ED ESTRATTA NELLO STESSO PUNTO DAL DATASET MINNI (ANNO 2010, DESTRA)

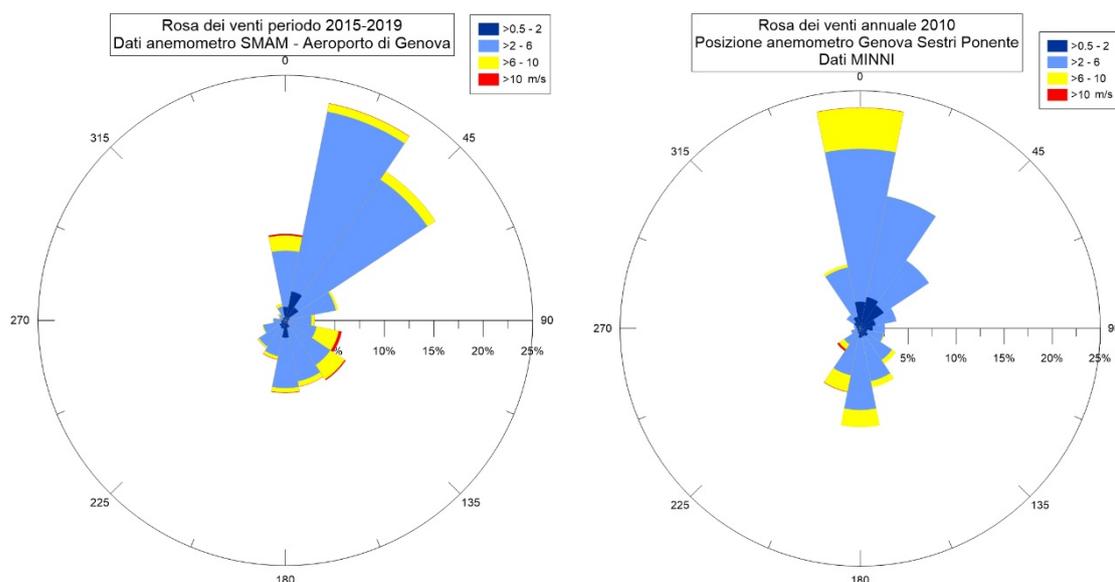


FIGURA 4-64 - ROSA DEI VENTI CLIMATOLOGICA MISURATA DALLA STAZIONE SMAM DI GENOVA AEROPORTO (PERIODO 2015-2019, SINISTRA) ED ESTRATTA NELLO STESSO PUNTO DAL DATASET MINNI (ANNO 2010, DESTRA)

La zona costiera di Genova è caratterizzata, oltre che dalla presenza di un flusso ricorrente da Nord, dalla presenza di un ciclo di brezza giorno-notte, con direzioni di provenienza principalmente dal mare durante le ore diurne e da terra durante le ore notturne.

Le due Figure seguenti riportano il confronto tra le rose dei venti climatologiche ed estratta dal dataset MINNI presso la stazione RMN di Genova Porto, rispettivamente nelle condizioni diurne e notturne.

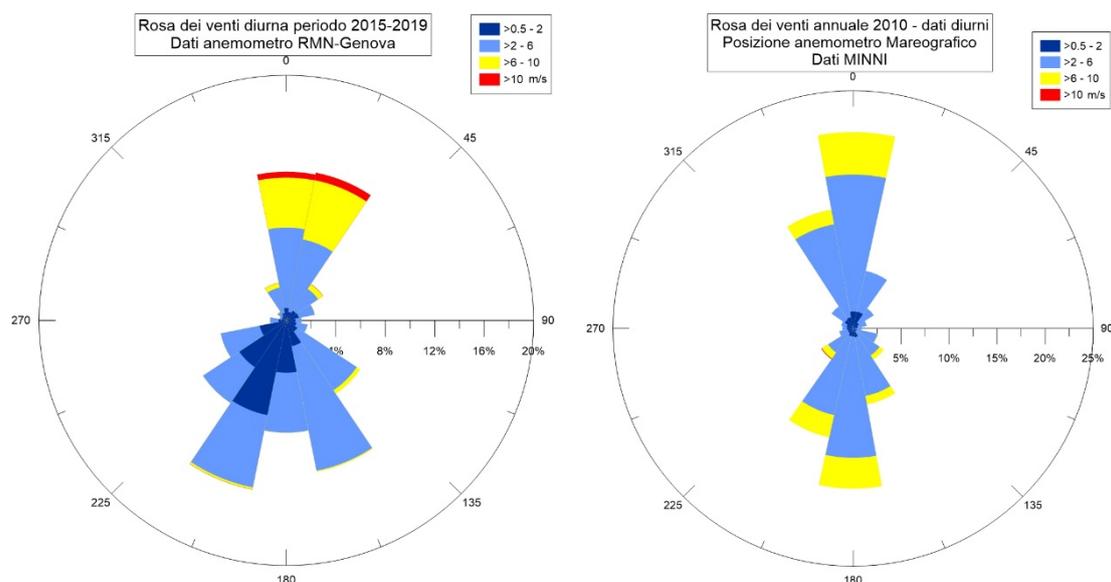


FIGURA 4-65 - ROSA DEI VENTI CLIMATOLOGICA MISURATA DALLA STAZIONE RMN DI GENOVA PORTO (PERIODO 2015-2019, SINISTRA) ED ESTRATTA NELLO STESSO PUNTO DAL DATASET MINNI (ANNO 2010, DESTRA). DATI DIURNI

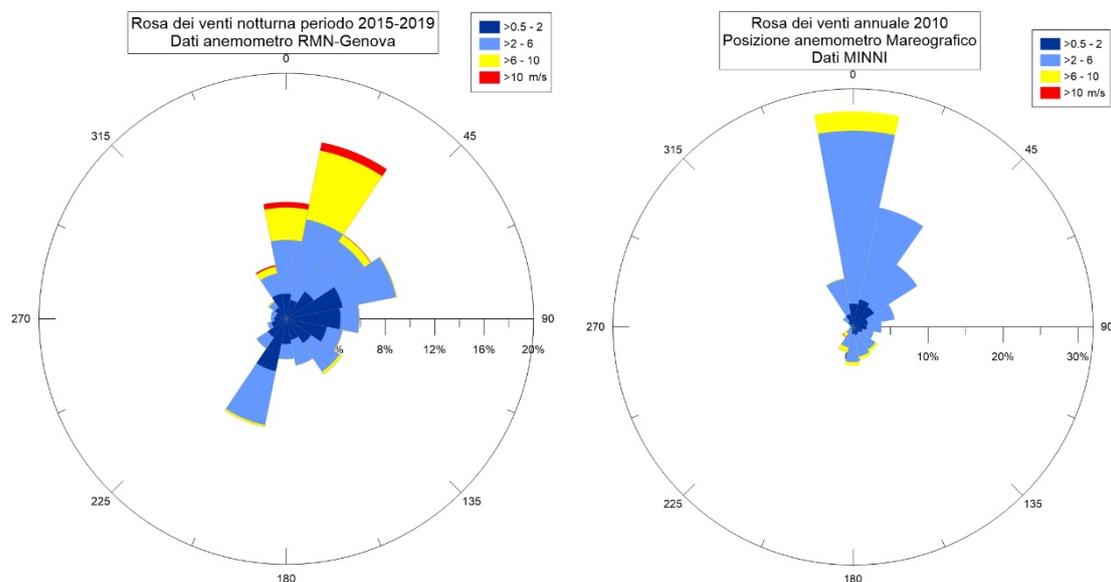


FIGURA 4-66 - ROSA DEI VENTI CLIMATOLOGICA MISURATA DALLA STAZIONE RMN DI GENOVA PORTO (PERIODO 2015-2019, SINISTRA) ED ESTRATTA NELLO STESSO PUNTO DAL DATASET MINNI (ANNO 2010, DESTRA). DATI NOTTURNI

Nei grafici si manifesta la presenza di una consistente percentuale di direzioni di provenienza dai quadranti settentrionali sia durante il giorno che durante la notte. In aggiunta, è evidente la presenza del ciclo di brezza costiero con un chiaro aumento della

provenienza dei venti dai settori meridionali (quindi dal mare) durante le ore diurne, che diminuisce notevolmente durante le ore notturne, durante le quali il flusso da terra risulta essere preponderante.

Ciò è presente sia nelle misure che nei dati MINNI i quali confermano di riprodurre in maniera coerente questa importante caratteristica del flusso nella zona.

Utilizzando i dati meteorologici sia al suolo che in quota a 4 Km di risoluzione è stata quindi effettuata una discesa di scala sul dominio target di dispersione alla risoluzione finale di 100 m, applicando il modello diagnostico a divergenza nulla SWIFT.

In particolare, è stato utilizzato uno schema di tipo Cressman 2D su livelli verticali per l'interpolazione dei campi meteorologici MINNI di vento e temperatura a scala più grande utilizzati come input alle simulazioni, utilizzando come portata orizzontale il passo di griglia utilizzato nelle simulazioni MINNI (4000 m).

Il modello ha poi proceduto ad un aggiustamento dei campi interpolati sul profilo orografico ad alta risoluzione ricostruendo un campo a divergenza nulla in ogni punto del dominio di calcolo.

Il modello SWIFT ha quindi prodotto 8761 campi meteorologici orari a partire dalle ore 00:00 del giorno 1/1/2010 fino alle ore 00:00 del giorno 1/1/2011.

Questi campi vengono direttamente utilizzati da SPRAY per ricostruire il trasporto delle sostanze emesse dalle sorgenti emmissive considerate.

A titolo esemplificativo, nelle due Figure seguenti sono riportati rispettivamente i campi meteorologici di vento medio in prossimità del suolo sul dominio di calcolo in condizioni che rappresentano una situazione di brezza estiva durante il giorno 1/7/2010, alle ore 02:00 (caso notturno) e alle ore 12:00 (caso diurno).

Il flusso notturno risulta provenire principalmente dalla direzione Nord e Nord-Est secondo le caratteristiche della brezza di terra, mentre risulta di provenienza da Sud-Ovest durante le ore diurne disponendosi secondo la brezza diurna di mare.

Sono evidenti poi, nell'entroterra, gli effetti determinati dalla rugosità superficiale che determinano una sostanziale disuniformità nell'intensità del vento che sono poco presenti sul mare.

Durante le ore notturne più stabili sono più evidenti gli incanalamenti del flusso all'interno delle principali valli rappresentate nel dominio.

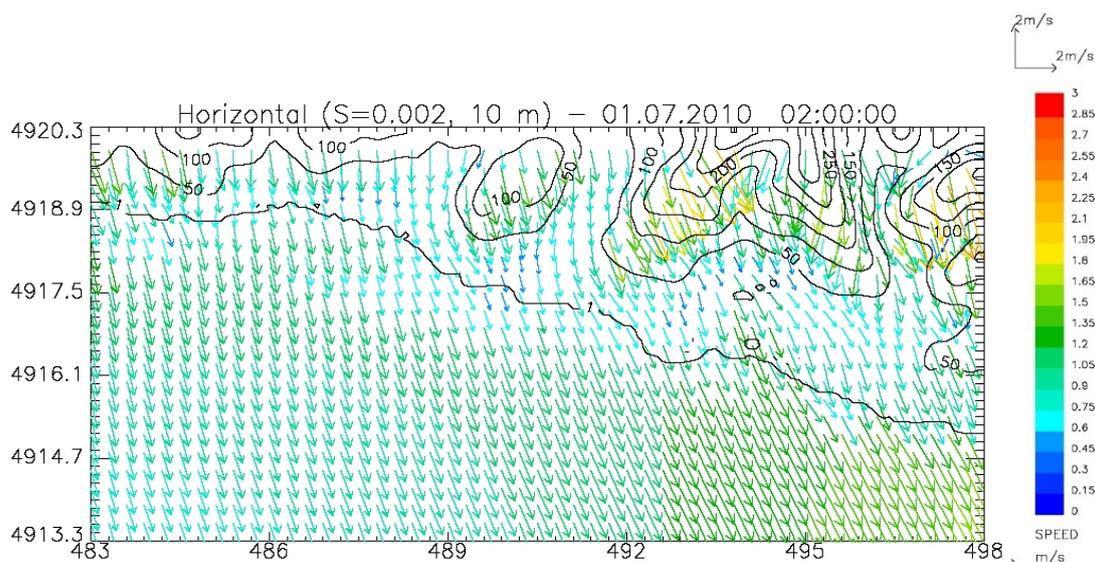


FIGURA 4-67 - CAMPO DI VENTO IN PROSSIMITÀ DEL SUOLO CALCOLATI IL GIORNO 1/7/2010 ALLE ORE 02:00. PER MAGGIORE CHIAREZZA, IL CAMPO VIENE MOSTRATO CON RISOLUZIONE ORIZZONTALE DI 300 M. VELOCITÀ DEL VENTO SECONDO LA SCALA COLORATA IN M/S SULLA DESTRA

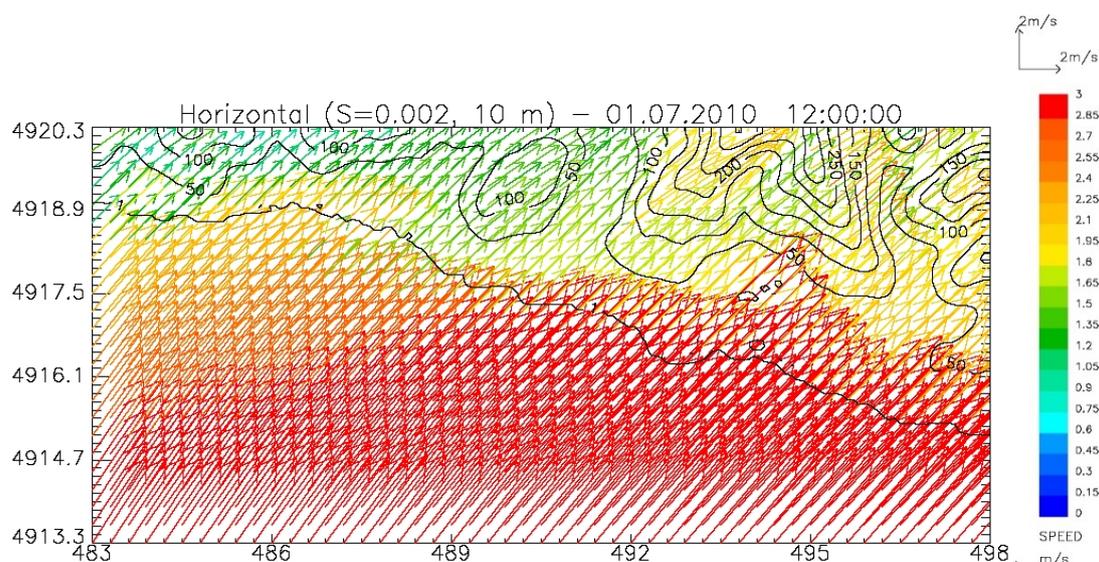


FIGURA 4-68 - CAMPO DI VENTO IN PROSSIMITÀ DEL SUOLO CALCOLATI IL GIORNO 1/7/2010 ALLE ORE 12:00. PER MAGGIORE CHIAREZZA, IL CAMPO VIENE MOSTRATO CON RISOLUZIONE ORIZZONTALE DI 300 M. VELOCITÀ DEL VENTO SECONDO LA SCALA COLORATA IN M/S SULLA DESTRA

Il codice di dispersione SPRAY, per determinare il trasporto degli inquinanti emessi in atmosfera oltre alle caratteristiche del vento medio generato dal codice SWIFT che domina il trasporto in direzione orizzontale richiede che siano definite le caratteristiche della turbolenza atmosferica, cioè dei moti disordinati che hanno origine sia meccanica

che termica e che favoriscono, in condizioni di instabilità, la dispersione anche nella direzione verticale.

Nei modelli utilizzati per il presente lavoro, la turbolenza viene descritta attraverso opportune variabili fisiche dette “di scala”, che hanno il compito di riassumerne le principali caratteristiche. Tali variabili sono:

- u^* o velocità di frizione, che descrive gli effetti legati alla turbolenza di tipo ‘meccanico’, dovuti alla presenza di ostacoli superficiali o variazioni con la quota della velocità del vento (shear);
- H_{mix} o altezza dello strato limite, che rappresenta lo strato adiacente al suolo variabile nel tempo e nello spazio all’interno del quale avvengono i principali fenomeni turbolenti generati dall’interazione del flusso atmosferico con la superficie, e dove vengono in genere immesse le sostanze inquinanti;
- L o lunghezza di Monin-Obukhov che rappresenta un indicatore della stabilità atmosferica. Un’atmosfera stabile tende ad un minore rimescolamento e dispersione delle sostanze emesse, al contrario un’atmosfera instabile è caratterizzata da una maggiore efficienza dispersiva. Valori negativi vicini allo zero sono rappresentativi di un’atmosfera instabile in condizioni convettive diurne, valori positivi piccoli sono invece caratteristici di un’atmosfera stabile tipicamente notturna;
- w^* o velocità convettiva di scala che rappresenta una misura dell’intensità della turbolenza nelle ore più calde in presenza di forte irraggiamento solare.

I campi di queste variabili vengono ricostruiti ora per ora su tutto il dominio mediante l’utilizzo del preprocessore SurfPro, tenendo conto delle disomogeneità orizzontali indotte dalla presenza di differenti caratteristiche di uso del suolo.

In particolare, per il calcolo del flusso di calore sensibile alla superficie è stato utilizzato lo schema iterativo di bilancio energetico suggerito da Holstlag e van Ulden (1983), mentre per il calcolo della velocità di frizione sono stati utilizzati gli schemi suggeriti da Holstlag van Ulden (1983) nelle situazioni neutre ed instabili diurne e da Venkatram (1980) e Weil e Brower (1983) nelle situazioni stabili e notturne.

Per il calcolo della lunghezza di Monin-Obukhov e dell’altezza dello strato limite, nelle condizioni diurne convettive viene utilizzato uno schema dovuto a Carson (1973), mentre in condizioni neutre e stabili vengono utilizzati gli schemi sviluppati da Venkatram (1980).

Nelle Figure seguenti sono riportati come esempio rispettivamente i campi (bidimensionali) di u^* , H_{mix} , L e w^* alle ore 12:00 del giorno 1/7/2010, calcolati dal codice SurfPro, che mostrano le caratteristiche di uno strato limite diurno convettivo completamente sviluppato. In particolare, è evidente lo sviluppo di uno strato limite di spessore superiore ai 1000 m nell'entroterra e il mantenimento di uno strato limite relativamente stabile sul mare, a causa della presenza di una temperatura superficiale relativamente più fredda rispetto a quella degli strati di aria sovrastanti.

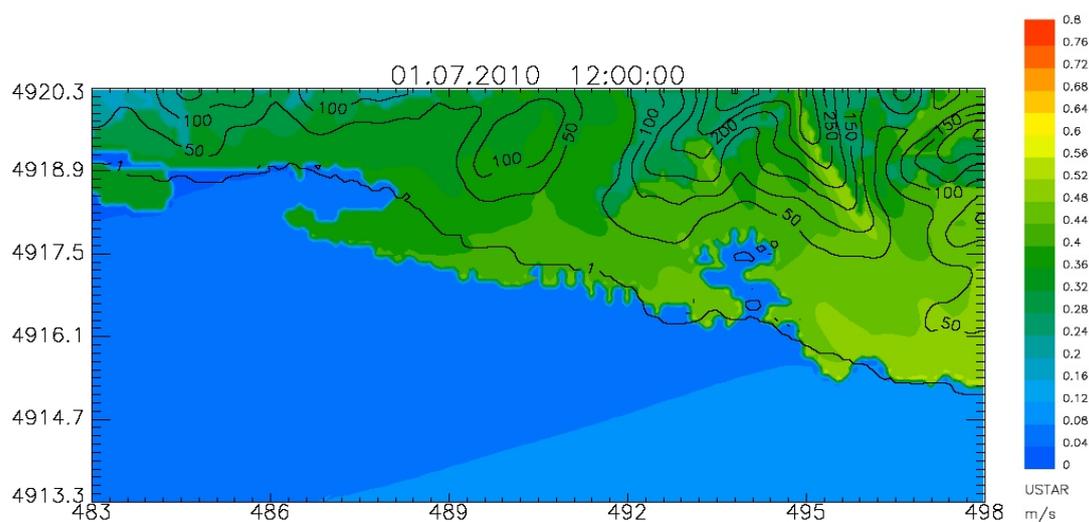


FIGURA 4-69 - CAMPO BIDIMENSIONALE DELLA VELOCITÀ DI FRIZIONE U^* CALCOLATO IL GIORNO 1/7/2010 ALLE ORE 02:00. VALORI IN M/S, SECONDO LA SCALA COLORATA A DESTRA

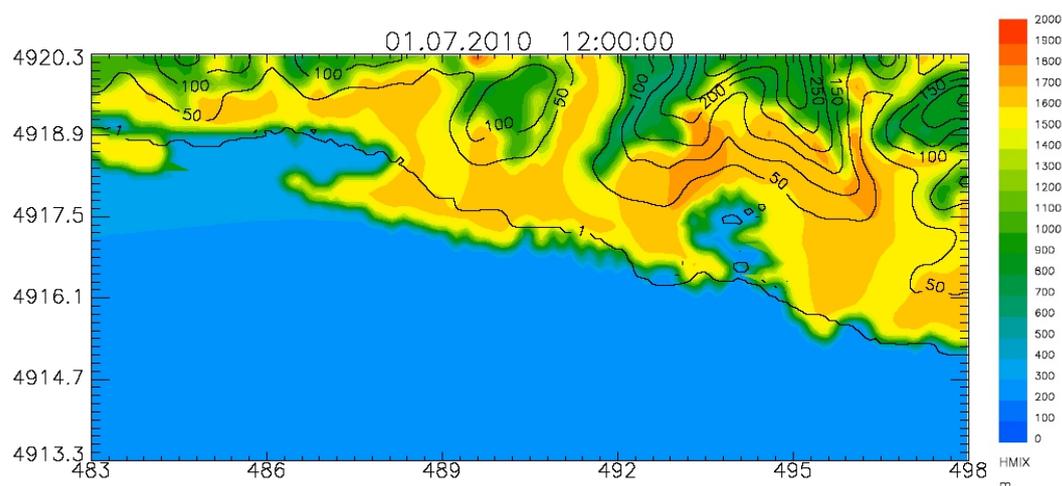


FIGURA 4-70 - CAMPO BIDIMENSIONALE DELL'ALTEZZA DELLO STRATO LIMITE H_{MIX} CALCOLATO IL GIORNO 1/7/2010 ALLE ORE 02:00. VALORI IN M, SECONDO LA SCALA COLORATA A DESTRA

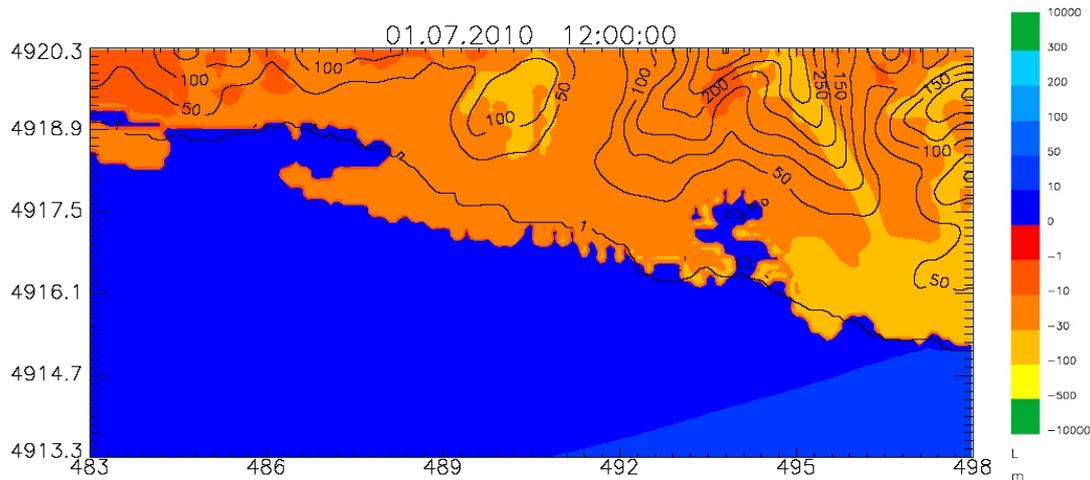


FIGURA 4-71 - CAMPO BIDIMENSIONALE DELLA LUNGHEZZA DI MONIN-OBUKHOV L CALCOLATO IL GIORNO 1/7/2010 ALLE ORE 02:00. VALORI IN M, SECONDO LA SCALA COLORATA A DESTRA

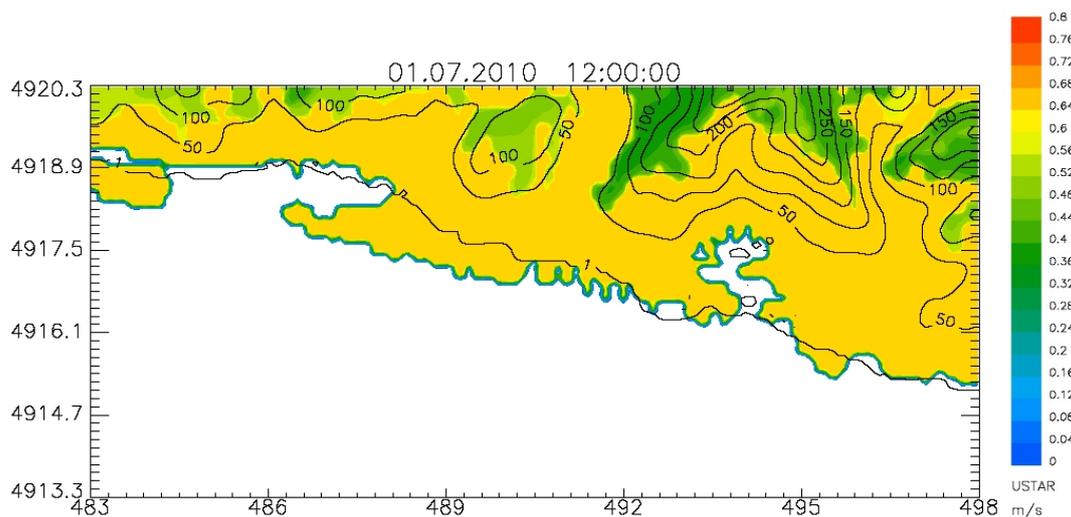


FIGURA 4-72 - CAMPO BIDIMENSIONALE DELLA VELOCITÀ CONVETTIVA DI SCALA W^* CALCOLATO IL GIORNO 1/7/2010 ALLE ORE 02:00. VALORI IN M/S, SECONDO LA SCALA COLORATA A DESTRA

4.8.1.5 Emissioni

Sono state stimate le emissioni di

- ossidi di azoto;
- particolato;
- monossido di carbonio
- composti organici volatili;
- ossidi di zolfo

prodotte da tutte le operazioni che si svolgono nella fase A (3730 m + 430 m), che avrà una durata 5 anni, in quanto più lunga e gravosa in termini di lavorazioni rispetto all'altra fase, la fase B (2130 m e durata 2 anni) (rif. Volume 1, Paragrafo 2.4.5).

La fase A può essere suddivisa in due scenari di riferimento:

- macrofase 1 (scenario 1), della durata di circa 3 anni, in cui verranno realizzati i 3730 m della nuova diga, tramite attività di consolidamento del fondale con colonne in ghiaia, fondale, scanno di imbasamento con materiale da cava, dragaggio del bacino di Sampierdarena e dell'avamposto, cassoni (prefabbricazione nel sito di Voltri, trasporto, affondamento con materiale da dragaggio e da cava), realizzazione della sovrastruttura in c.a. e dragaggio del bacino di Sampierdarena e dell'avamposto.
- macrofase 2 + macrofase 3 (scenario 2), della durata di circa 2 anni, in cui verrà effettuata la demolizione della diga esistente, realizzazione di 430 m della nuova diga; si svolgeranno le attività di salpamento della mantellata della diga esistente, riutilizzo del materiale nella diga nuova per la scogliera antiriflessione, demolizione delle opere in cls/ca e salpamento materiale nucleo e pietrame di imbasamento, trasporto del materiale da demolizione/salpamento al sito di trattamento a Voltri, trattamento mediante frantumazione e vagliatura, trasporto del materiale "riciclato" per la formazione del nuovo scanno di imbasamento e per il riempimento cassoni, cassoni (prefabbricazione nel sito di Voltri, trasporto, affondamento con il materiale "riciclato"), realizzazione della sovrastruttura in c.a., assemblamento dell'impianto eolico

Nel seguito sono descritti i due scenari di riferimento:

Scenario 1

Sito di Voltri (area di cantiere)

Presso il sito di Voltri saranno presenti per tutti i 3 anni, 2 impianti di betonaggio che tratteranno un totale di 500 m³/giorno di materiale per la produzione di calcestruzzo per i cassoni più altri 200 m³/giorno per la produzione di calcestruzzo per la sovrastruttura, 1 officina per "gestione" ferri, 4 siti di prefabbricazione dei cassoni, 1 barca "fissa" per il rifornimento delle materie prime (che verrà considerata stabilmente in stazionamento) e ferri.

Consolidamento del fondale con colonne in ghiaia

Nel corso dei 3 anni verranno trasportati 680000 m³ di materiale granulare da cava trasportato via mare da una motonave (di cui verrà considerata solo fase di stazionamento per il carico e lo scarico dello stesso).

Ogni giorno, per 6 mesi, opereranno 2 motonavi da 2000 m³ per la posa del materiale, mentre per la posa del materiale si ipotizzano 2 motopontoni con gru da 500 m³/giorno ciascuno che opereranno per 29 mesi.

Scanno di imbasamento (con materiale da cava)

Nei pressi della diga saranno presenti per la durata di tutto lo scenario 1 3 motonavi con una capacità di trasportare da 2000 m³ di materiale.

Cassoni - Trasporto

In 33 mesi verranno prodotti 93 cassoni, circa 3 cassoni al mese, che dovranno essere trasportati da 3 rimorchiatori (pertanto un totale di 9 rimorchiatori al mese) che percorrono i 12 km dal sito di Voltri alla diga.

Dragaggio del bacino di Sampierdarena e dell'avamposto

Queste attività copriranno un periodo di 8 mesi in cui si movimenteranno 3750 m³/giorno grazie a 3 draghe a benna con produttività giornaliera di 1250 m³/giorno ciascuna, installate su un motopontone a cui si affiancherà una bettolina per il carico del materiale.

Cassoni - Affondamento (con materiale da dragaggio e da cava)

Per l'affondamento dei 93 cassoni prodotti in 33 mesi verranno usati 4 motopontoni con gru da 500 m³/giorno ciascuno

Sovrastruttura

L'ultima attività compresa nello scenario 1 è svolta da un motopontone con betoniera e gru presente tutti i 36 mesi.

Scenario 2

Salpamento della mantellata della diga esistente, riutilizzo per la scogliera antiriflessione della nuova diga

Attività svolta da 3 motopontoni con gru da 500 m³/giorno ciascuno per il carico, 3 motopontoni con gru da 500 m³/giorno ciascuno per la posa, che percorreranno 1.5 km/giorno ciascuno; si stima che il salpamento coprirà tutto il periodo dello scenario 2 (2 anni).

Sito di Voltri (area di cantiere)

Analogamente allo Scenario 1, nello Scenario 2 presso il sito di Voltri saranno dislocati 1 impianto di betonaggio, 1 officina per “gestione” ferri, 1 sito di prefabbricazione dei cassoni, 1 barca fissa per rifornimento materie prime e ferri, 2 impianti di vagliatura e frantumazione.

Scanno di imbasamento (con materiale riciclato) + affondamento dei cassoni (con materiale riciclato)

Per due anni saranno demoliti con esplosivo depotenziato 2400 m³/giorno, materiale che verrà caricato sulle bettoline e trasportato a Voltri per essere scaricato presso l'impianto di trattamento (frantumazione e vagliatura); una volta trattato sarà ricaricato sulle bettoline e trasportato alla nuova diga.

Gli effetti indotti dall'utilizzo di esplosivi depotenziati (rif. Volume 1, Paragrafo 2.4.2.4), date le loro caratteristiche, non sono stati considerati in termini di emissioni in aria (polveri, ecc.) ma nell'ambito delle emissioni sonore a terra (Paragrafo 4.10.1.1) ed in mare (Paragrafo 4.10.1.1).

Per il carico/scarico delle bettoline presso l'impianto di trattamento e presso il versamento nello scanno di basamento, 5 motopontoni con gru da 500 m³/giorno ciascuno in entrambi i punti.

Infine, ogni due mesi, sarà presente un motopontone da gru in grado di gestire 400 m³ di materiale al giorno.

Cassoni - Trasporto

In questo secondo scenario ogni 2 mesi circa verrà trasportato un cassone, per cui sono necessari 3 rimorchiatori per ogni trasporto.

Sovrastruttura

L'ultima attività compresa nello scenario 1 è svolta da un motopontone con betoniera e gru presente tutti i 24 mesi.

Le stime emissive legate alle differenti fasi di attività sopra descritte sono essenzialmente state prodotte seguendo la metodologia per il traffico navale contenuta nell'Emission Inventory Guidebook (EMEP/EEA, 2019) e la metodologia AP42 (US-EPA, 2010) per tutte quelle attività che sollevano polveri in aree di cantiere.

Per realizzare una stima “bottom-up” delle emissioni navali, in grado di cogliere la differenza tra le varie fasi di movimento, sia in termini di quantità emesse sia della loro articolazione nel tempo, si è fatto riferimento agli approcci descritti nelle linee guida europee dell’Emission Inventory Guidebook (EMEP/EEA, 2019), dove vengono definite diverse metodologie di calcolo in base ai dati effettivamente a disposizione.

Nella Figura seguente è rappresentato l’approccio che deve essere adottato nella scelta del calcolo emissivo; se sono disponibili i dati dei movimenti delle navi stratificati per tipo di motore si utilizzerà il metodo Tier 3; nel caso in cui questi dati non siano disponibili, ma ci siano solo quelli relativi al tipo di motore si utilizzerà il metodo Tier 2; in caso contrario e quindi in assenza di dati sui movimenti e sui motori si utilizzerà il metodo Tier 1. È importante ricordare come, in special modo nei primi due approcci, oltre ai dati effettivamente disponibili si possano utilizzare di letteratura e con validità statistica.

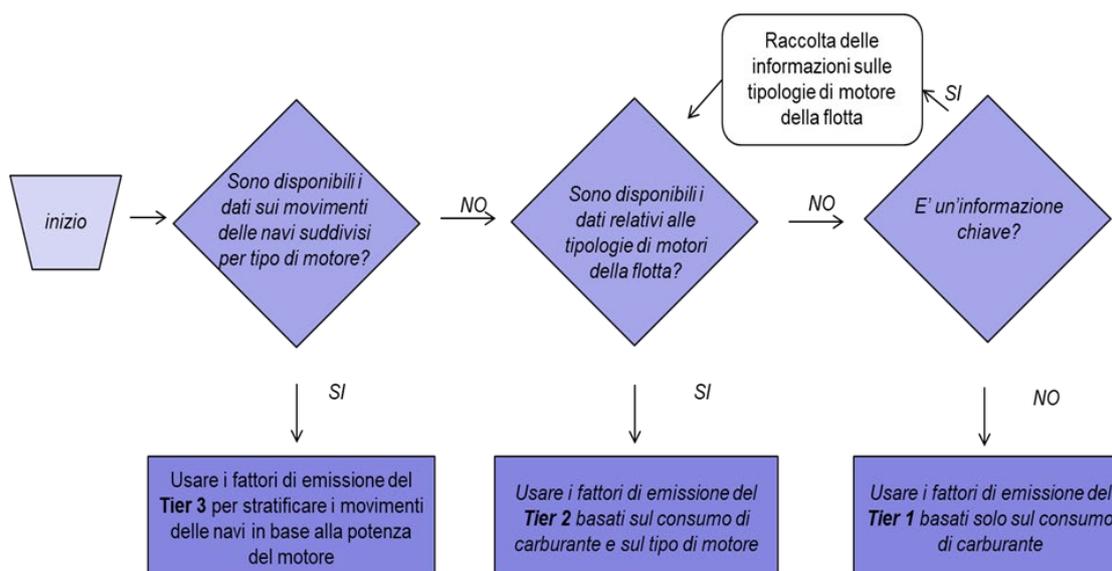


FIGURA 4-73 - ALBERO DECISIONALE PER LA STIMA DELLE EMISSIONI DERIVANTI ATTIVITÀ NAVALI

Facendo riferimento alle caratteristiche descritte nelle schede tecniche dei mezzi navali, in cui sono riportate le caratteristiche relative alla tipologia di motore, è stato possibile adottare un approccio molto dettagliato, risultante da un mix degli approcci Tier 1 e Tier 2.

Con il Tier2, infatti, si utilizzano i dati relativi al tipo motore ed al carburante, non solo inteso come quantità consumata ma anche come caratteristiche specifiche dello stesso,

mentre l'approccio Tier 3 prende anche in considerazione i movimenti delle singole navi e dunque i periodi interessati dalle diverse fasi, in questo caso manovra e stazionamento, fase in cui si verificano tutte le operazioni in prossimità della diga in costruzione e di quella in demolizione.

Nell'approccio Tier 2 infatti le emissioni sono così definite:

$$E_i = \sum_m \left(\sum_j FC_{m,j} \cdot EF_{i,m,j} \right)$$

dove:

- E = emissione annuale (tonnellate);
- $FC_{m,j}$ = massa del tipo di carburante m utilizzata dalle navi con tipo di motore j (tonnellate);
- $EF_{i,m,j}$ = fattore di emissione medio per inquinante i da parte di navi con tipo di motore j che utilizzano tipo di carburante m;
- i = inquinante;
- j = tipo di motore (diesel a bassa, media e alta velocità, turbina a gas e turbina a vapore);
- m = tipo di carburante (olio combustibile, diesel marino / gasolio marino (MDO / MGO), benzina).

Le tipologie di motori che si considerano sono così riassumibili:

- motore diesel a bassa velocità (SSD, Slow Speed Diesel): ha una velocità operativa massima di 300 giri/min, sebbene la maggior parte funzioni a velocità comprese tra 80 e 140 giri / min; di solito opera su cicli a due tempi;
- motore diesel a media velocità (MSD, Medium Speed Diesel): motore diesel marino con velocità operativa massima di 300-900 giri/min; di solito funziona su cicli a quattro tempi;
- motore diesel a alta velocità (HSD, High Speed Diesel): motore diesel marino con una velocità operativa superiore a 900 giri/min;
- turbine a vapore (ST, Steam Turbines): i serbatoi a turbina a vapore sono prevalentemente alimentati con olio combustibile piuttosto che con carburanti leggeri;

- turbine a gas (GT, Gas Turbines): questo tipo di motore è il più utilizzato nelle navi militari, spesso in combinazione con motori diesel.

Vengono alimentati da olio combustibile (BFO), diesel marino (MDO) o gasolio marino (MGO), che va ad influenzare fortemente il tipo e la quantità di emissioni che vengono prodotte.

Statisticamente il 99% della flotta navale utilizza motori diesel, mentre le turbine a gas e a vapore sono utilizzate solo nell'1% dei casi.

Poiché in uno studio che comprende tutti i movimenti che si verificano in un porto è molto difficile avere l'informazione specifica relativa alla combinazione motore/carburante di ogni singola nave, per questo parametro ci si affida a statistiche nazionali ed internazionali (ad esempio a livello europeo ci si affida ai dati raccolti da Eurostat da tutti gli Stati membri in base alla direttiva sulle statistiche marittime DIR 96/64/CE, e disponibili nella base dati Eurostat Newcronos Maritime).

In sintesi, con l'approccio Tier 2 la stima delle emissioni viene così effettuata:

- raccolta dei dati statistici sugli arrivi nei porti per tipo di nave;
- calcolo della potenza totale installata per tipo di nave;
- ripartizione della potenza totale installata per ciascun tipo di imbarcazione in base alla velocità del motore / classe di carburante;
- calcolo del consumo di carburante;
- stima delle emissioni usando i fattori di emissione.

Nel caso ottimale in cui siano disponibili dati dettagliati sui movimenti delle navi e informazioni tecniche delle imbarcazioni (ad esempio dimensioni e tecnologia del motore, tempo di permanenza in porto, potenza installata o consumo di carburante) si usa l'approccio cosiddetto Tier 3.

La metodologia considera il viaggio nelle sue diverse fasi (rappresentate nella Figura seguente) per poi sommarne le emissioni prodotte:

$$E_{\text{viaggio}} = E_{\text{stazionamento}} + E_{\text{manovra}} + E_{\text{crociera}}$$

Le fasi sono definite come:

- fase di crociera ("cruising"), si svolge in mare aperto, all'esterno del porto (non considerata nel presente studio);

- fase di manovra (“manoeuvring”), distinguibile in realtà in due movimenti, la prima dalla decelerazione dall’ingresso in porto al momento di ormeggiare, la seconda quando la nave libera gli ormeggi e finisce quando ha raggiunto la velocità di crociera (fase adottata per i movimenti tra le aree di cantiere e il dito di Voltri);
- fase di stazionamento (“hotelling”), in cui la nave rimane in banchina con un utilizzo diverso dei motori (nel presente studio tale fase è stata associata a tutte le operazioni di stazionamento nelle aree di cantiere e nei punti di carico e scarico materiale).

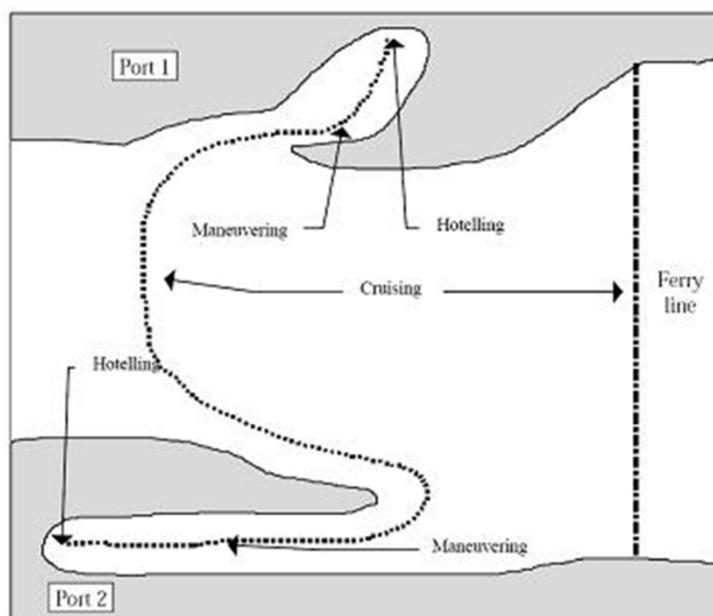


FIGURA 4-74 - FASI DEI MOVIMENTI NAVALI CONSIDERATE PER LA STIMA DELLE EMISSIONI (DA EMEP/EEA, 2019)

L’inventario complessivo è ottenuto mediante somma delle emissioni associate a tutti i viaggi di tutte le navi durante l’intervallo di tempo prescelto.

Generalmente è molto difficile conoscere il consumo di carburante distinto per singola fase; l’approccio modificato tiene dunque conto della potenza installata e del tempo trascorso nelle diverse fasi di navigazione.

Le emissioni possono essere calcolate grazie alla conoscenza dettagliata della potenza del motore principale e ausiliario installati, del fattore di carico e del tempo totale trascorso, in ore, per ciascuna fase utilizzando la seguente equazione:

$$E_{viaggio,i,j,m} = \sum_p \left[T_p \sum_e (P_e * LF_e * EF_{e,i,j,m,p}) \right]$$

dove:

- E_{viaggio} = emissione per un viaggio completo (tonnellate);
- EF = fattore di emissione (Kg/t) a seconda del tipo di nave;
- LF = fattore di carico del motore (%);
- P = potenza nominale del motore (kW);
- T = tempo (ore);
- e = categoria del motore (principale, ausiliario);
- i = inquinate;
- j = tipo di motore (diesel a bassa, media e alta velocità, turbina a gas e turbina a vapore);
- m = tipo di carburante (olio combustibile, diesel marino/gasolio marino, benzina);
- p = diversa fase del viaggio (crociera, stazionamento, manovra).

L'approccio dettagliato consentito dalle specifiche tecniche delle varie tipologie dei mezzi navali utilizzati ha consentito di ottenere emissioni specifiche per tipo di operazione riportate nella Tabella seguente.

Per le altre emissioni prodotte nelle varie fasi del cantiere il riferimento è, come precedentemente accennato, la metodologia AP42 (US-EPA, 2010); queste linee guida sono state usate per tutte quelle attività di cantiere (dalla movimentazione del materiale in fase di demolizione e costruzione alle attività degli impianti di betonaggio) che producono polveri ed i cui risultati sono anch'essi riportati in Tabella 4-28.

Tale metodologia introduce infatti i metodi di stima e valutazione delle emissioni di particolato di origine diffusa provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti).

TABELLA 4-28 - EMISSIONI (T/ANNO) PER SINGOLE ATTIVITÀ DI CANTIERE

	attività emissiva	CO	NMVOG	NOx	PM10	PM2.5	SOX
SCENARIO 1	Sito di Voltri	0.06	0.01	0.38	4.45	2.23	0.02
	Consolidamento del fondale con colonne in ghiaia	4.26	1.17	28.35	0.91	0.91	1.15
	Scanno di imbasamento (con materiale da cava)	12.10	3.30	80.87	2.48	2.48	3.27
	Cassoni – Trasporto	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	Dragaggio del bacino di Sampierdarena e dell'avamposto	0.84	0.25	5.20	0.29	0.29	0.23
	Cassoni - Affondamento	0.46	0.14	2.80	0.16	0.16	0.12
	Sovrastruttura	0.11	0.03	0.70	0.04	0.04	0.03
	Sollevamento polveri legate alle varie attività di costruzione				23.01	4.64	
	ANNO 1	17.84	4.91	118.31	31.34	10.75	4.82
	Sito di Voltri	0.06	0.01	0.38	4.45	2.23	0.02
	Consolidamento del fondale con colonne in ghiaia	0.23	0.07	1.40	0.08	0.08	0.06
	Scanno di imbasamento (con materiale da cava)	12.10	3.30	80.87	2.48	2.48	3.27
	Cassoni – Trasporto	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	Cassoni - Affondamento	0.46	0.14	2.80	0.16	0.16	0.12
	Sovrastruttura	0.11	0.03	0.70	0.04	0.04	0.03
	Sollevamento polveri legate alle varie attività di costruzione				23.01	4.64	
	ANNO 2	12.96	3.55	86.15	30.22	9.63	3.50
	Sito di Voltri	0.06	0.01	0.38	4.45	2.23	0.02
	Consolidamento del fondale con colonne in ghiaia	0.10	0.03	0.58	0.03	0.00	0.03
	Scanno di imbasamento (con materiale da cava)	12.10	3.30	80.87	2.48	2.48	3.27
	Cassoni – Trasporto	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Cassoni - Affondamento	0.46	0.14	2.80	0.16	0.16	0.12	
Sovrastruttura	0.11	0.03	0.70	0.04	0.04	0.03	
Sollevamento polveri legate alle varie attività di costruzione				23.01	4.64		
ANNO 3	12.83	3.51	85.34	30.17	9.55	3.47	
SCENARIO 2	Sito di Voltri (area di cantiere)	0.06	0.01	0.38	3.93	1.03	0.02
	Salpamento della mantellata della diga esistente, riutilizzo per la scogliera antiriflessione della nuova diga	0.69	0.21	4.20	0.24	0.24	0.19
	Scanno di imbasamento (con materiale riciclato) + affondamento dei cassoni (con materiale riciclato)	1.45	0.43	8.91	0.50	0.50	0.39
	Cassoni – Trasporto	0.01	0.00	0.07	0.01	0.01	0.00
	Sovrastruttura	0.11	0.03	0.70	0.04	0.04	0.03
	Sollevamento polveri legate alle varie attività di demolizione				13.87	2.88	
	ANNO 4	2.32	0.70	14.26	18.59	4.71	0.63
	Sito di Voltri (area di cantiere)	0.06	0.01	0.38	3.93	1.03	0.02
	Salpamento della mantellata della diga esistente, riutilizzo per la scogliera antiriflessione della nuova diga	0.69	0.21	4.20	0.24	0.24	0.19
	Scanno di imbasamento (con materiale riciclato) + affondamento dei cassoni (con materiale riciclato)	1.45	0.43	8.91	0.50	0.50	0.39
	Cassoni – Trasporto	0.01	0.00	0.07	0.01	0.01	0.00
	Sovrastruttura	0.11	0.03	0.70	0.04	0.04	0.03
	Sollevamento polveri legate alle varie attività di demolizione				13.87	2.88	
ANNO 5	2.32	0.70	14.26	18.59	4.71	0.63	

Per le simulazioni, al fine di essere il più possibile cautelativi, si è deciso di considerare il primo anno di attività, che presenta le emissioni maggiori, sovrapponendo anche attività che sarebbero in realtà consecutive (ad esempio, nella fase di consolidamento del fondale con colonne in ghiaia, le attività di posa del materiale granulare e di realizzazione delle colonne avverranno una dopo l'altra, ma sono comunque state considerate sovrapposte) e/o successive (emissione di polveri dalle attività di demolizione della diga preesistente).

In prossimità del cantiere di Voltri, dove è anche ubicato l'impianto di betonaggio a servizio del sito di prefabbricazione dei cassoni, è stata spazializzata l'emissione da stazionamento di una barca per il rifornimento di materie prime e dei rimorchiatori deputati al trasporto dei cassoni.

Presso la diga in costruzione sono localizzate le attività di consolidamento del fondale con colonne in ghiaia (stazionamento della motonave per la posa del materiale e del motopontone con gru per la realizzazione delle colonne), quelle legate alla realizzazione dello scanno di imbasamento (stazionamento della motonave per la posa del materiale) e le emissioni prodotte dallo stazionamento dei rimorchiatori per il rilascio dei cassoni trasportati

Le altre attività le cui emissioni vengono spazializzate nell'area interessata dalla costruzione della diga sono le fasi stazionamento per scaricare il materiale delle bettoline provenienti dall'area di dragaggio e dei motopontoni presenti per l'affondamento dei cassoni e per la successiva deposizione della sovrastruttura.

Si è infine stimata (e dunque spazializzata in questa zona) una quota di emissioni specificamente prodotte dalle operazioni di cantiere che consistono essenzialmente in produzione di polveri da movimentazioni di materiale.

Le aree indicate in bianco nella Figura seguente sono quelle destinate alle attività di dragaggio dove sono state spazializzate sia le emissioni dei motopontoni con draga sia quelle legate allo stazionamento delle bettoline per il carico del materiale dragato.

Il trasporto di materiali dall'area di cantiere di Voltri alla diga in costruzione è avvenuto sul percorso indicato in rosso, mentre i percorsi in azzurro sono quelli coperti dalle bettoline dall'area di dragaggio alla linea di costruzione della nuova diga.

Come già accennato si è deciso di inserire nella simulazione anche le emissioni annuali legate alla demolizione della diga esistente (linea rosa nella figura) e dunque quelle

prodotte dallo stazionamento dei motopontoni per la demolizione e le polveri prodotte dalla movimentazione dei materiali.

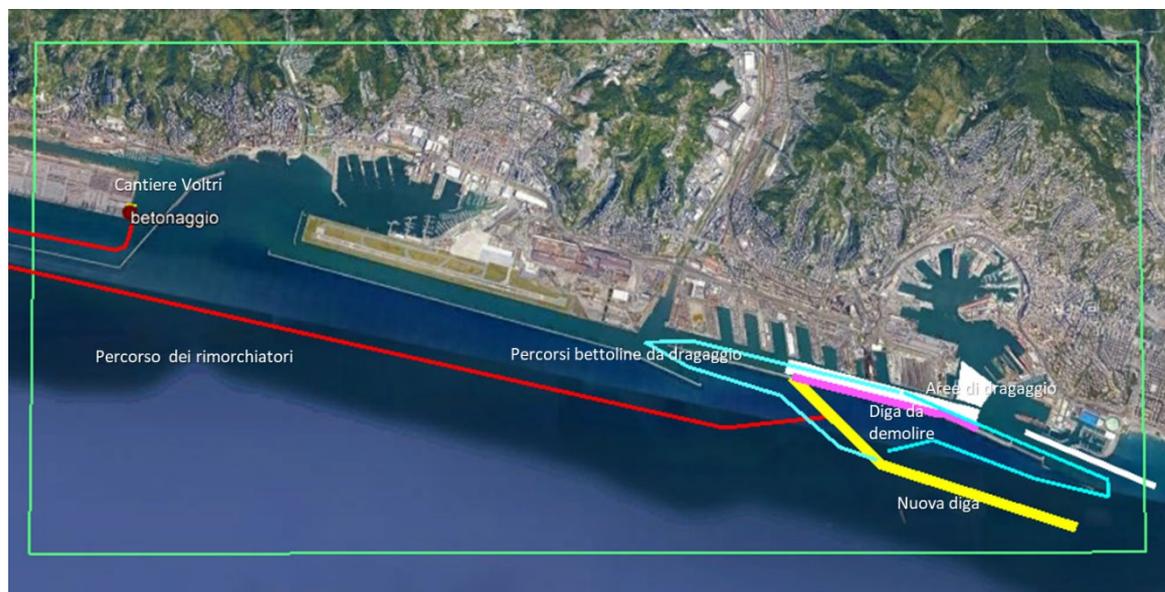


FIGURA 4-75 - SCHEMATIZZAZIONE DELLE ATTIVITÀ CONSIDERATE NELLA SIMULAZIONE E LORO LOCALIZZAZIONE

4.8.1.6 Risultati - Mappe di concentrazione

I dati territoriali, meteorologici ed emissivi descritti ai capitoli precedenti costituiscono l'input per il modello di dispersione SPRAY.

Per pilotare una simulazione di dispersione il modello SPRAY utilizza:

- schemi di equazioni differenziali stocastiche dovute a Thomson (1987) per definire le velocità turbolente delle particelle computazionali;
- campi tridimensionali di vento e temperatura a 100 m di risoluzione, forniti dal codice SWIFT;
- campi bidimensionali di turbolenza z_0 , H_{mix} , u^* , L , w^* forniti dal codice SurfPro;
- dati di emissione, costituiti da una sequenza di informazioni sulla geometria delle sorgenti e dalla loro localizzazione spaziale, sui flussi di massa variabili nel tempo di sostanze gassose e particolato espresse in massa/h emesse e sul quantitativo di particelle computazionali da emettere nell'unità di tempo. Ad ogni particella viene attribuita una quantità di sostanza dipendente dal flusso emissivo considerato ottenuto come prodotto della portata e concentrazione all'emissione di ogni sorgente.

Per completare la simulazione su base annua, i modelli sono richiamati in cascata con frequenza oraria. All'interno di ogni ora vengono inserite nel dominio di calcolo per ogni sorgente un numero di particelle sufficienti per garantire una risoluzione minima (contributo in concentrazione di una singola particella computazionale), di circa $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la specie NO_x nelle celle per il calcolo della concentrazione al suolo, delle dimensioni di $100 \times 100 \times 10 \text{ m}^3$. In questo modo, concentrazioni orarie intorno a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di NO_x vengono risolte da circa 2000 particelle per cella di concentrazione, che costituiscono un numero più che sufficiente per considerare statisticamente stabile la simulazione.

Sono state calcolate matrici di concentrazione orarie espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, considerando tutti gli inquinanti emessi in fase di cantiere. Ogni media oraria di concentrazione è costruita mediante 120 campionamenti dei pennacchi di particelle all'interno dell'ora, effettuati alla frequenza fissa di 30 secondi.

Lo stato finale di ogni ora (posizioni, velocità e masse associate ad ogni particella) viene utilizzato per inizializzare il "run" dell'ora successiva. In questo modo la simulazione risulta essere continua durante tutto il periodo annuale descrivendo l'evoluzione spazio-temporale di ogni pennacchio emesso, consentendo eventuali effetti di ritorno dei pennacchi in presenza di rotazioni del vento durante situazioni di innesco della brezza.

Complessivamente sono quindi prodotti 8761 campi di concentrazione suddivisi secondo quanto descritto in precedenza, nell'intervallo meteorologico a partire dal 1/1/2010 01:00 fino al 1/1/2011 00:00.

La sequenza temporale dei campi di concentrazione così ottenuta è stata utilizzata per calcolare i valori statistici relativi alle concentrazioni in aria relative alle diverse specie considerate.

I principali risultati della simulazione di dispersione in atmosfera degli inquinanti emessi nella fase di cantiere sono mostrate attraverso mappe di isoconcentrazione in prossimità del suolo. Le mappe, riportate e commentate nel seguito, sono state prodotte per gli indicatori relativi alle sei specie inquinanti prese in considerazione, ovvero NO_x , SO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, CO e NMVOC . In ogni grafico sono presenti il valore massimo ed è indicata la sua posizione tramite un punto rosso.

Per tutti gli inquinanti le simulazioni indicano che i valori massimi su tutto il dominio di calcolo risultano essere inferiori ai limiti delineati dalla normativa di riferimento (rif. Volume 2, Paragrafo 3.1.7.2).

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto, in maniera molto cautelativa i valori della concentrazione di NO_x, costituiti dalla somma NO e NO₂, sono confrontati con i limiti normativi che riguardano invece il solo biossido di azoto.

Nella miscela costituita da NO_x, il contributo del biossido di azoto risulta essere tipicamente preponderante lontano dalla sorgente emissiva mentre in prossimità delle sorgenti il monossido di azoto risulta essere presente in maggior percentuale.

In genere, il contributo del biossido di azoto rispetto agli ossidi di azoto totali (NO_x) risulta variare tra il 30 % e il 70 %.

La Figura seguente riporta il valore medio annuale della concentrazione di NO_x in prossimità del suolo. Nonostante l'approccio cautelativo, i valori delle concentrazioni medie annuali degli ossidi di azoto risultano essere molto al di sotto del limite normativo di 40 µg/m³ per NO₂, con un valore massimo di 1.5 µg/m³ localizzato in prossimità del vertice a Nord-Est di una delle aree di dragaggio. Il contributo delle attività di cantiere sulle aree urbanizzate della città di Genova risulta essere sempre inferiore a 1 µg/m³ e si estendono per non più di 800-900 m verso l'entroterra.

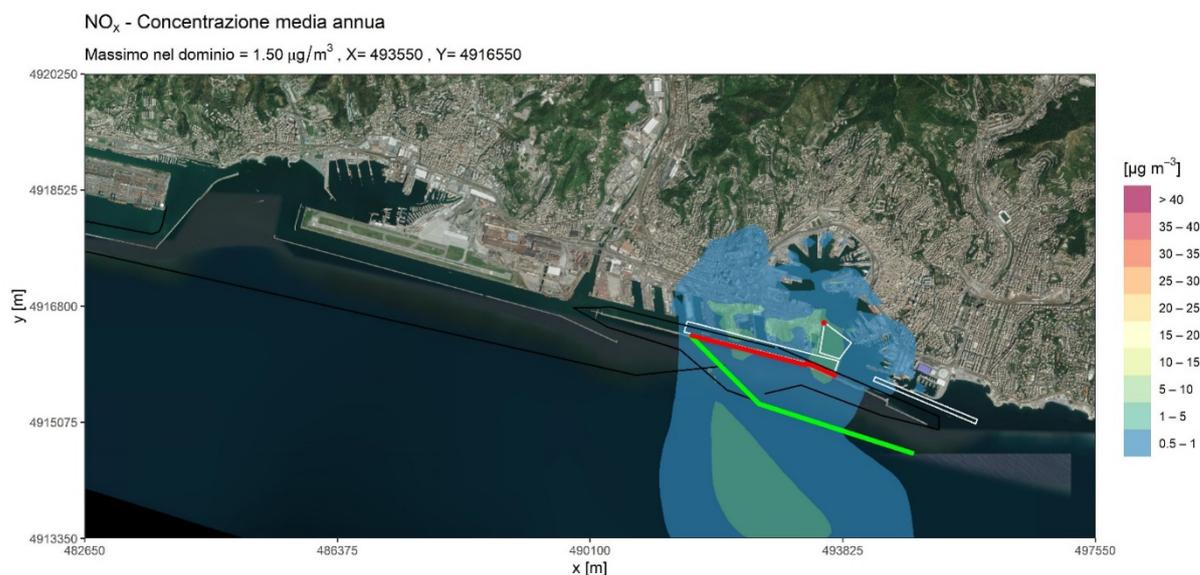


FIGURA 4-76 - CAMPO DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE ANNUALI DI NO_x. VALORI SECONDO LA SCALA COLORATA A DESTRA

La Figura seguente riporta, invece, il 99.8 percentile delle concentrazioni medie orarie di NO_x. Valori inferiori del limite di 200 µg/m³ indicano il non superamento del limite indicato dalla normativa per il numero totale di casi (18 casi) nell'anno. Il valore massimo sul dominio per questo indicatore risulta essere di circa 31 µg/m³ ad indicare che non viene raggiunto il numero di superamenti dei valori di concentrazione oraria indicato dal limite di legge e che i valori estremi orari risultano essere comunque molto contenuti rispetto al limite di 200 µg/m³.

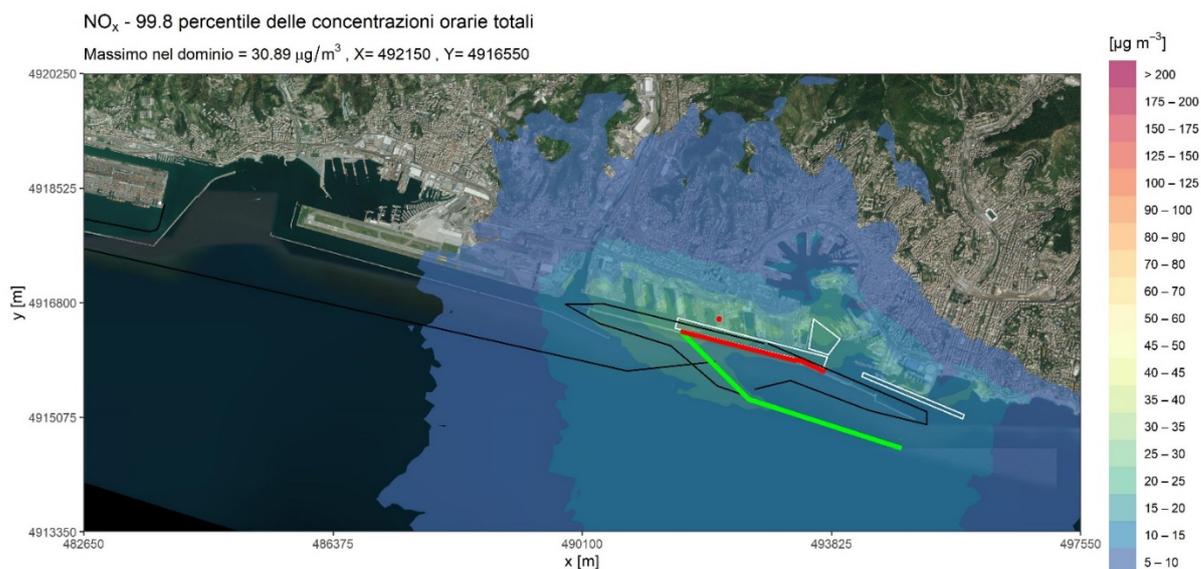


FIGURA 4-77 - CAMPO DEL 99.8 PERCENTILE DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE ORARIE DI NO_x. VALORI SECONDO LA SCALA COLORATA A DESTRA

Le tre Figure seguenti illustrano rispettivamente il valore medio annuale, il 99.7 percentile delle medie orarie e il 99.2 percentile delle medie giornaliere delle concentrazioni di SO₂ in prossimità del suolo. Anche per questa specie chimica i valori risultano essere molto al di sotto dei limiti della normativa vigente, in particolare per la concentrazione media annuale il massimo risulta di circa 0.06 µg/m³ mentre per il 99.7 percentile delle medie orarie e il 99.2 percentile delle medie giornaliere i valori massimi risultano essere rispettivamente di 1.13 µg/m³ e 0.31 µg/m³, molto al di sotto dei limiti di 350 µg/m³ e 125 µg/m³, che indicherebbero un numero di superamenti nell'anno maggiore del consentito (rispettivamente di 24 volte per le medie orarie e 3 volte per le medie giornaliere) di tali valori.

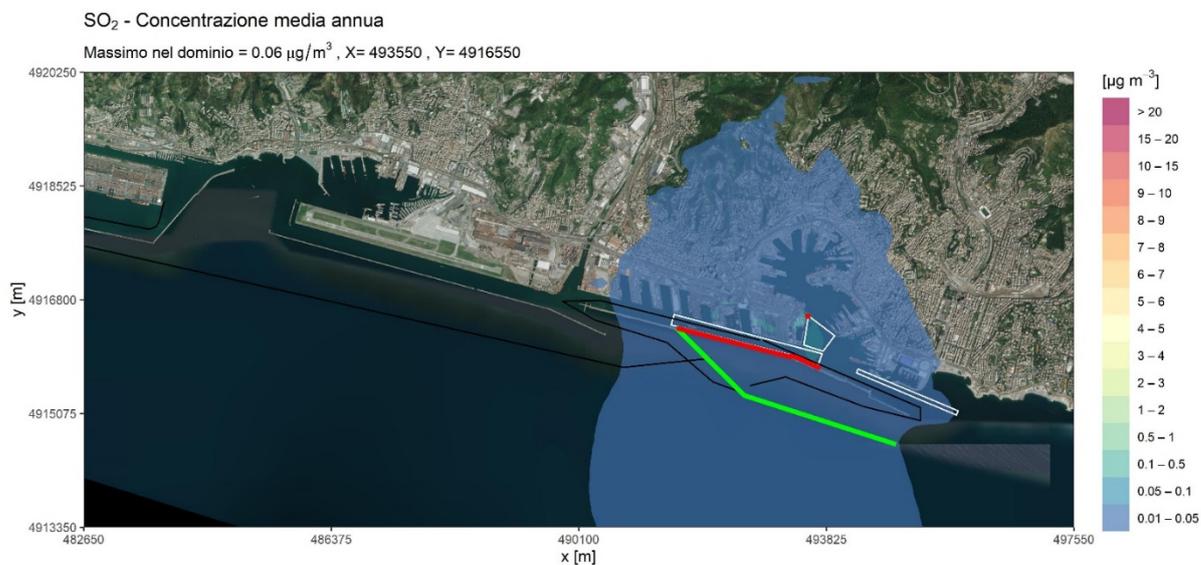


FIGURA 4-78 - CAMPO DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE ANNUALI DI SO₂. VALORI SECONDO LA SCALA COLORATA A DESTRA

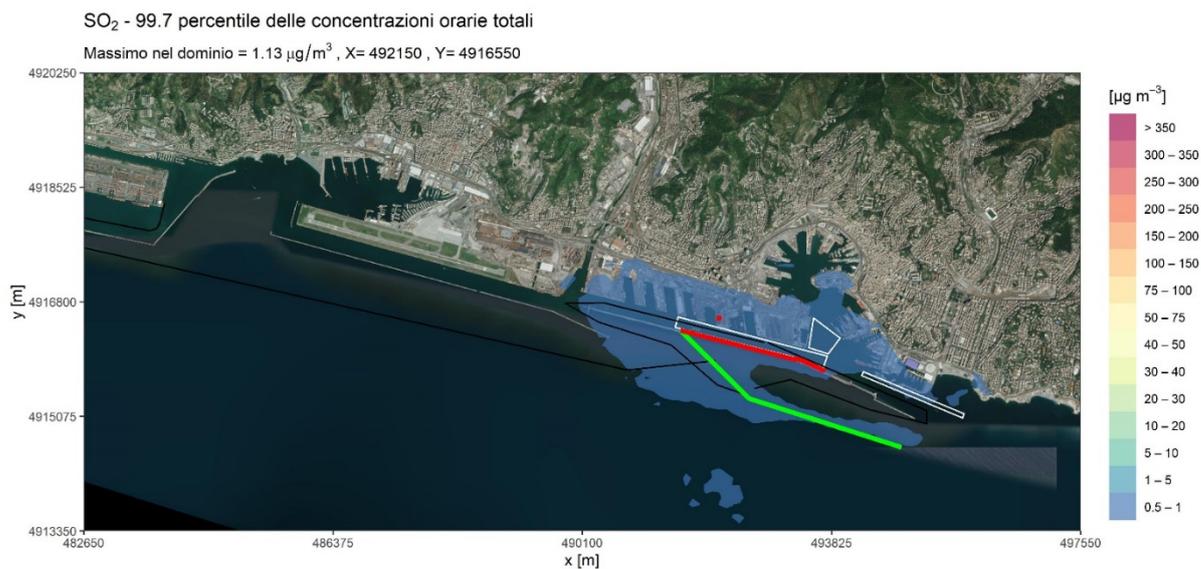


FIGURA 4-79 - CAMPO DEL 99.7 PERCENTILE DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE ORARIE DI SO₂. VALORI SECONDO LA SCALA COLORATA A DESTRA

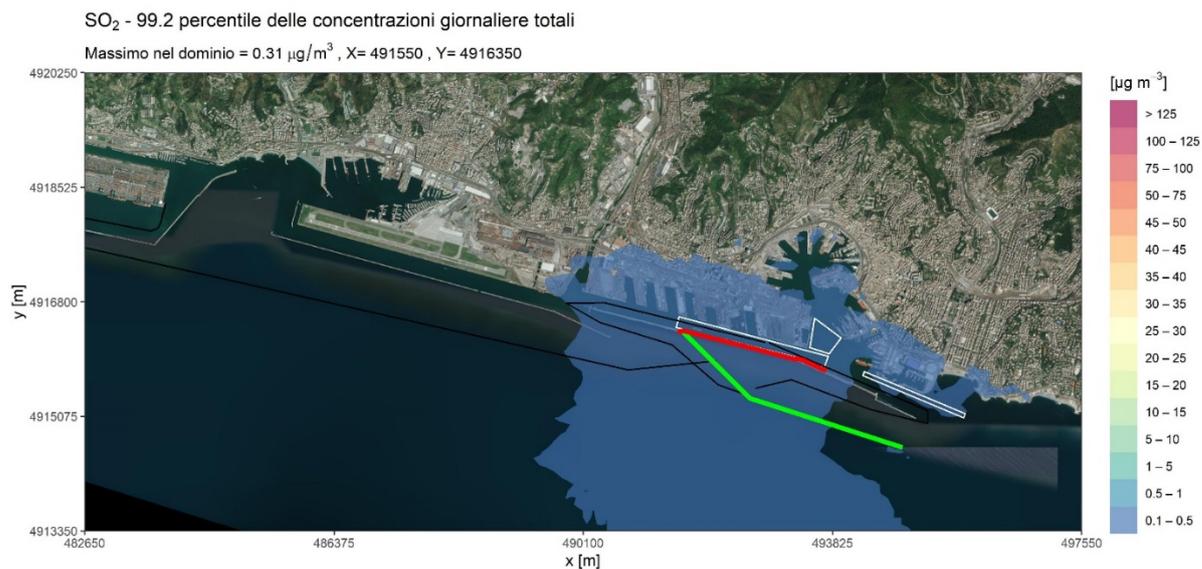


FIGURA 4-80 - CAMPO DEL 99.2 PERCENTILE DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE DI SO₂. VALORI SECONDO LA SCALA COLORATA A DESTRA

La Figura seguente **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**illustra il campo del massimo delle concentrazioni medie su 8 ore durante l'anno in prossimità del suolo per il CO, da confrontare con un limite normativo di 10 mg/m^3 . Il valore massimo assoluto nel dominio per questo indicatore generato dalle attività di cantiere è di circa 0.003 mg/m^3 , diversi ordini di grandezza più basso rispetto al limite normativo.

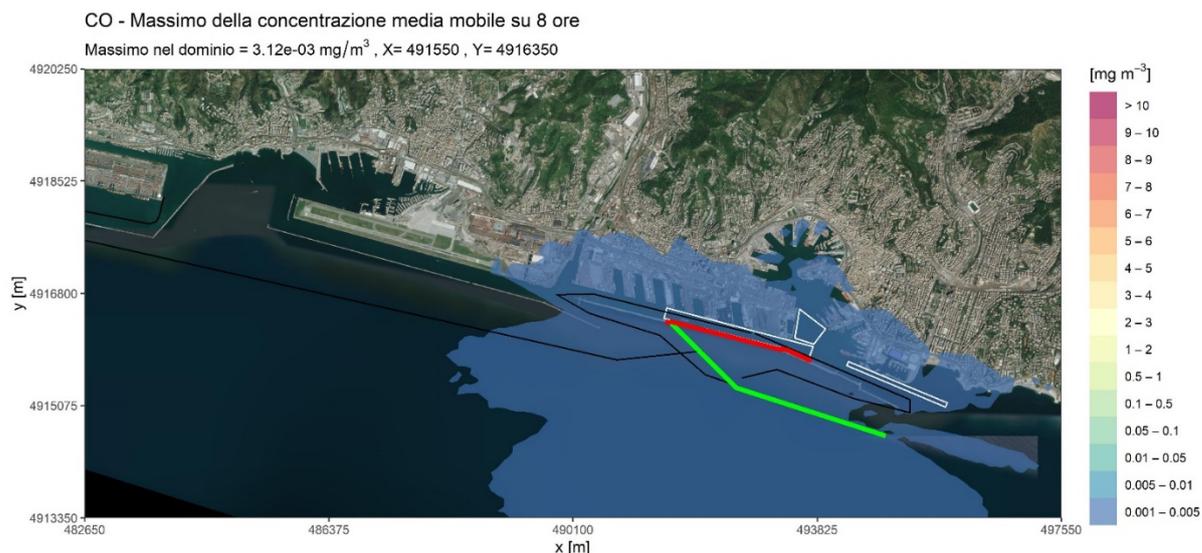


FIGURA 4-81 - CAMPO DEL MASSIMO DELLE CONCENTRAZIONE MEDIA MOBILE SU 8 ORE DI CO. VALORI SECONDO LA SCALA COLORATA A DESTRA

Le due Figure seguenti mostrano, rispettivamente, il campo della media annuale e del 90.4 percentile della media giornaliera di PM10 simulati per le attività di cantiere. Per questo inquinante, i valori massimi simulati risultano essere più vicini ai limiti indicati dalla normativa anche se rimangono comunque al di sotto a questi ultimi. In particolare, il valore massimo nel dominio della media annuale di concentrazioni risulta essere di circa $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contro un limite legislativo di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

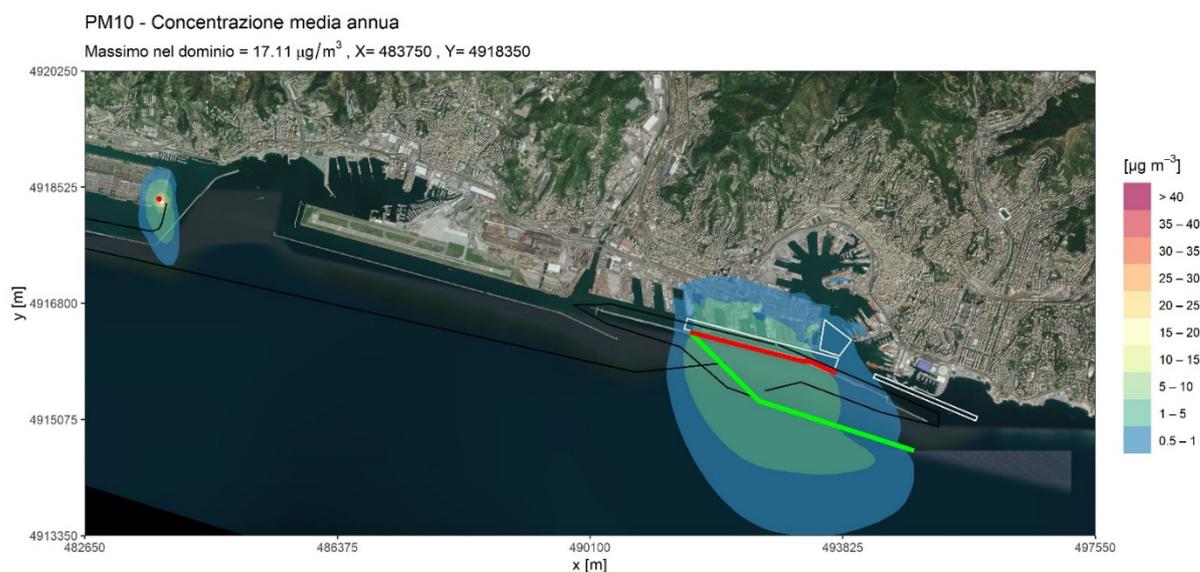


FIGURA 4-82 - CAMPO DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE ANNUALI DI PM10. VALORI SECONDO LA SCALA COLORATA A DESTRA

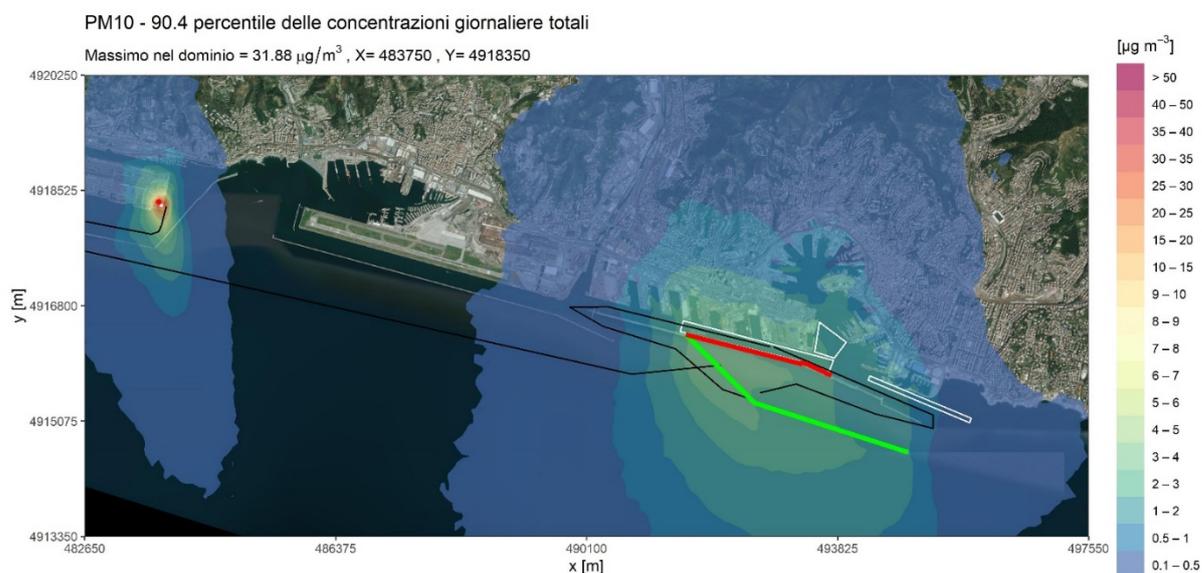


FIGURA 4-83 - CAMPO DEL 90.4 PERCENTILE DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE DI PM10. VALORI SECONDO LA SCALA COLORATA A DESTRA

La prima Figura mostra comunque come il massimo nel dominio risulta essere localizzato intorno all'impianto di betonaggio a Voltri, che non è però in grado di generare valori superiori a $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella zona urbanizzata nell'entroterra. In resto delle attività producono concentrazioni nella parte ad Est del dominio ma su valori comunque molto contenuti e inferiori a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella zona urbanizzata che si affaccia verso il mare. Il valore massimo sul dominio per il 90.4 percentile delle medie giornaliere di PM10 risulta di circa $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, localizzato anche in questo caso in corrispondenza dell'area di betonaggio a Voltri. Essendo il limite sulle medie giornaliere di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte l'anno, il cantiere non è in grado da solo di generare questo numero di superamenti in nessuna parte del dominio simulato. Il pattern spaziale di impatto del PM10 indica comunque un'elongazione principalmente verso il mare, sia per il valore medio annuo che per il 90.4 percentile delle medie giornaliere, coerentemente con quanto indicato dalle rose dei venti che descrivono statisticamente il flusso anemometrico in prossimità del suolo.

La Figura seguente mostra il campo delle concentrazioni medie annue di PM2.5 in prossimità del suolo simulate. Il valore di riferimento legislativo, pari a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, non risulta superato dalle attività di cantiere che determinano invece un valore massimo nel dominio di circa 1/3, pari a $8.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le considerazioni sulla spazializzazione delle concentrazioni di PM2.5 ricalcano sostanzialmente quelle per il PM10 fatte in

precedenza, con il massimo localizzato intorno all'area di betonaggio e uno scarso apporto dell'inquinante verso l'entroterra.

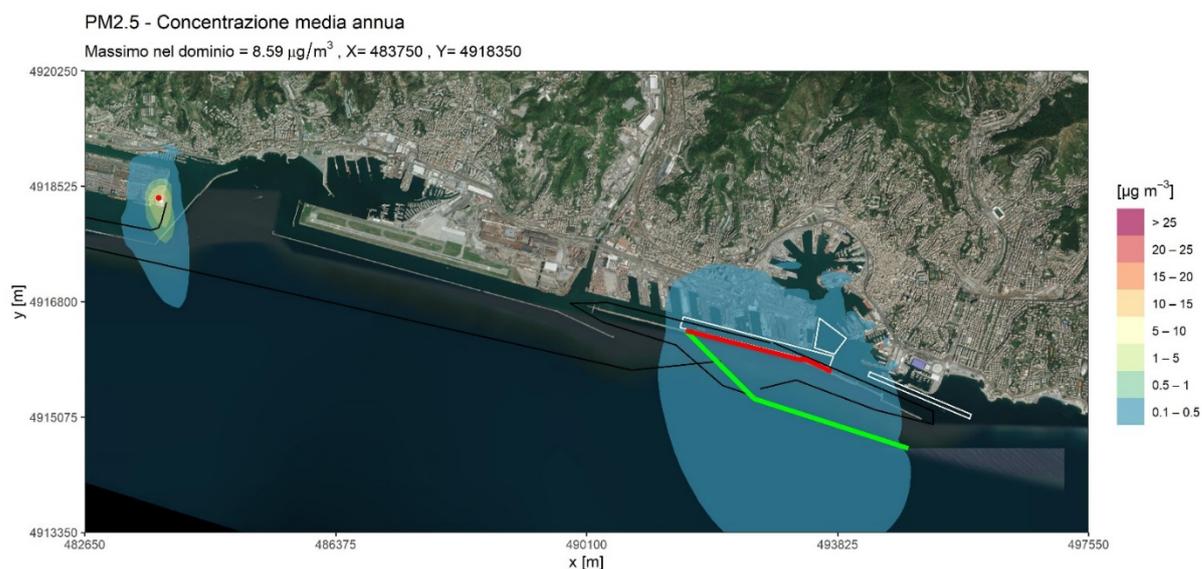


FIGURA 4-84 - CAMPO DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE ANNUALI DI PM2,5. VALORI SECONDO LA SCALA COLORATA A DESTRA

Infine, la Figura seguente illustra le concentrazioni medie annue di NMVOC. Non esistendo un limite legislativo per NMVOC, cautelativamente ci si può riferire al limite stabilito per una delle sue componenti, il benzene, che prevede il non superamento del valore di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media annuale. Il valore massimo della media annuale simulato per le emissioni di cantiere risulta essere di $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$, di circa due ordini di grandezza più basso rispetto al limite indicato per la sola componente benzene.

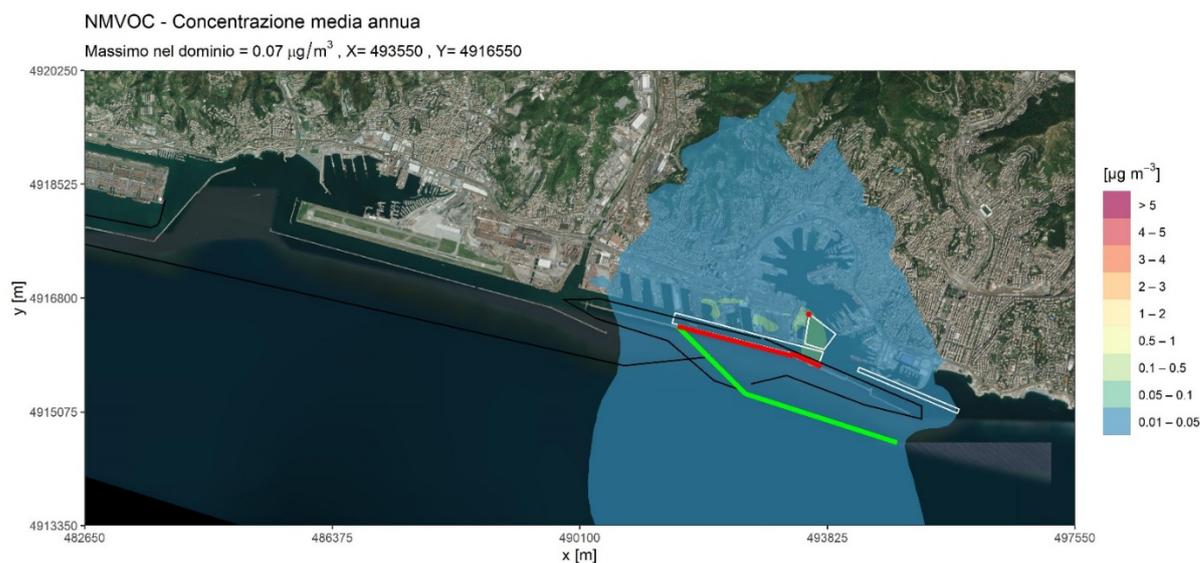


FIGURA 4-85 - CAMPO DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE ANNUALI DI NMVOC. VALORI SECONDO LA SCALA COLORATA A DESTRA

Per tutti gli indicatori statistici illustrati nelle Figure, la seguente Tabella riassume i valori massimi nel dominio, insieme al confronto con i limiti normativi. Come già introdotto in precedenza, gli ossidi di azoto totali e i composti organici volatili non metanici sono stati confrontati in via estremamente cautelativa con i limiti rispettivamente del biossido di azoto e del benzene.

Per gli inquinanti in fase gassosa, i valori massimi degli indicatori nel dominio risultano essere inferiori almeno di un ordine di grandezza rispetto ai limiti legislativi considerati; l'impatto di questi inquinanti è principalmente legato alle fasi di costruzione della nuova diga e demolizione della diga esistente ed alla fase di dragaggio.

Per quanto riguarda invece le polveri, esse mostrano valori massimi dello stesso ordine di grandezza dei valori limite considerati, per quanto sempre inferiori. Per questi inquinanti, l'apporto preponderante è dato dall'impianto di betonaggio localizzato a Voltri, il cui contributo rimane comunque molto localizzato.

TABELLA 4-29 - VALORI DEGLI INQUINANTI MASSIMI NEL DOMINIO DI INTERESSE GENERATI DALLA FASE DI CANTIERE SIMULATA

<i>Inquinante</i>	Indicatore	u.m.	RIF.	Massimo nel dominio
<i>NO_x</i>	media annuale	µg/m ³	40 (per NO ₂)	1.5
<i>NO_x</i>	99.8° percentile delle medie orarie	µg/m ³	200 (per NO ₂)	30.89
<i>SO₂</i>	media annuale	µg/m ³		0.06
<i>SO₂</i>	99.7° percentile delle medie orarie	µg/m ³	350	0.31
<i>SO₂</i>	99.2° percentile delle medie giornaliere	µg/m ³	125	1.13
<i>CO</i>	massimo della media mobile su 8 ore	mg/m ³	10	3.12E-03
<i>NMVOC</i>	media annuale	µg/m ³	5 (per Benzene)	0.07
<i>PM10</i>	media annuale	µg/m ³	40	17.11
<i>PM10</i>	90.4° percentile delle medie giornaliere	µg/m ³	50	31.88
<i>PM2,5</i>	media annuale	µg/m ³	20	8.59

4.8.1.7 Risultati - Estrazioni alle stazioni di monitoraggio di ARPA Liguria

Al fine di una prima valutazione dell'impatto massimo della fase di cantiere sulla qualità dell'aria locale, sono stati analizzati i valori degli indicatori considerati nella simulazione di dispersione degli inquinanti e confrontati, ove possibile, con le misure registrate dalle stazioni di monitoraggio delle centraline della rete gestita da ARPAL presenti all'interno del dominio di calcolo.

Nella Tabella seguente sono riportati i valori degli indicatori statistici previsti dalla normativa generati dalla simulazione della fase di cantiere, estratti nei punti corrispondenti alle centraline presenti nel dominio di interesse.

Le centraline localizzate Est del dominio di calcolo registrano gli impatti maggiori, in quanto più vicine alla zona di costruzione e demolizione delle dighe.

Nonostante ciò, l'impatto della fase di cantiere risulta essere sempre inferiore di almeno due ordini di grandezza rispetto ai limiti indicati dalla normativa.

TABELLA 4-30 - VALORI DEGLI INQUINANTI NORMATI ESTRATTI PRESSO LE CENTRALINE
NEL DOMINIO DI INTERESSE GENERATI DALLA FASE DI CANTIERE SIMULATA.
VALORI IN $\mu\text{g}/\text{m}^3$

<i>Inquinante</i>	<i>Indicatore</i>	<i>RIF.</i>	<i>Multedo Ronchi</i>	<i>Multedo Villa Chiesa</i>	<i>Via Buoizzi</i>	<i>C.so Firenze</i>	<i>Parco Acquasola</i>	<i>C.so Buenos Aires</i>	<i>C.so Europa</i>
<i>NO_x</i>	media annuale	40 (per NO ₂)	3.19E-02	3.13E-02	3.76E-01	2.71E-01	1.48E-01	8.48E-02	3.28E-02
<i>NO_x</i>	99.8° percentile delle medie orarie	200 (per NO ₂)	2.58E+00	2.44E+00	6.49E+00	4.97E+00	4.02E+00	3.69E+00	1.88E+00
<i>SO₂</i>	media annuale		1.30E-03	1.28E-03	1.55E-02	1.11E-02	6.07E-03	3.48E-03	1.34E-03
<i>SO₂</i>	99.7° percentile delle medie orarie	350	8.84E-02	8.48E-02	2.45E-01	1.88E-01	1.50E-01	1.35E-01	6.99E-02
<i>SO₂</i>	99.2° percentile delle medie giornaliere	125	1.74E-02	1.99E-02	5.66E-02	4.86E-02	3.63E-02	3.08E-02	1.64E-02
<i>CO</i>	massimo della media mobile su 8 ore	10000	3.22E-01	3.05E-01	6.32E-01	5.54E-01	4.57E-01	3.61E-01	2.45E-01
<i>NM_{VOC}</i>	media annuale	5 (per Benzene)	1.33E-03	1.31E-03	1.60E-02	1.14E-02	6.22E-03	3.57E-03	1.37E-03
<i>PM₁₀</i>	media annuale	40	1.63E-02	1.39E-02	1.96E-01	1.07E-01	5.23E-02	3.03E-02	1.20E-02
<i>PM₁₀</i>	90.4° percentile delle medie giornaliere	50	4.93E-02	4.62E-02	4.74E-01	2.98E-01	1.62E-01	9.35E-02	3.21E-02
<i>PM_{2,5}</i>	media annuale	20	5.53E-03	4.43E-03	5.11E-02	2.94E-02	1.47E-02	8.53E-03	3.34E-03

La Tabella seguente riporta, inoltre, il confronto dei valori estratti dalle simulazioni (in blu) con i valori misurati dalle centraline nel corso dell'anno 2019 (in nero); i valori di NO₂ misurati sono nuovamente confrontati in via cautelativa con i valori di NO_x totale estratti dalle simulazioni.

Il confronto mostra come il contributo della fase di cantiere, calcolato grazie alle simulazioni di dispersione, sia notevolmente inferiore, mediamente di due ordini di grandezza, rispetto ai valori registrati localmente dalle centraline per tutti gli inquinanti considerati.

Non sono dunque ipotizzabili potenziali effetti negativi anche in termini di salute umana.

Per le stazioni di monitoraggio di Genova non direttamente presenti all'interno del dominio si può stimare, viste le mappe di concentrazione, un impatto della fase di cantiere sostanzialmente trascurabile rispetto allo stato attuale di qualità dell'aria.

TABELLA 4-31 - CONFRONTO DEI VALORI DEGLI INQUINANTI NORMATI MISURATI (NERO) ED ESTRATTI (BLU) PRESSO LE CENTRALINE NEL DOMINIO DI INTERESSE. VALORI IN $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	CO		NO ₂ (*)				PM ₁₀				PM _{2.5}	SO ₂			
	media massima su 8 ore		media oraria		media annuale		media giornaliera		media annuale		media annuale	media oraria		media giornaliera	
C.so Firenze	2300	0.55	160	8.42	24	0.27	52	0.83	16	0.11		36	0.34	15	0.05
Parco Acquasola			190	9.12	17	0.15									
Multedo Ronchi			192	5.13	46	0.03	43	0.24	20	0.02		49	0.21	13	0.03
C.so Europa - via S.Martino	2800	0.25	248	7.61	57	0.03	44	0.22	21	0.01	13	0.003			
C.so Buenos Aires			121	9.86	38	0.08	61	0.39	20	0.03					
Via Buozzi	2000	0.63	189	10.47	50	0.38	50	1.18	23	0.20					

(*) I valori di NO₂ misurati alle stazioni sono confrontati in via cautelativa con i valori di NO_x totali estratti dalle simulazioni

4.8.1.8 Conclusioni

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-32 - ARIA E CLIMA. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Emissione di inquinanti in atmosfera	1	0	2	2	2	0	Nessun effetto
Emissione di polveri in atmosfera	1	0	2	2	2	0	Nessun effetto

4.8.2. Stima degli impatti in fase di esercizio

Sulla nuova diga sarà installato un parco eolico costituito da 20 generatori con quota apicale [HTIP] di circa 50 m, ad asse orizzontale e di taglia pari a 90 kW per una potenza complessiva nominale di impianto pari a 1.800 kW (rif. Volume 01, Paragrafo 2.4.3).

L'impianto, così concepito, è in grado di generare una produzione annua di energia da fonte rinnovabile di 3.140 MWh, pari a circa il 6% del fabbisogno di energia elettrica portuale.

L'utilizzo di energia da fonte rinnovabile consente di evitare l'immissione di CO₂ in atmosfera, contribuendo al processo di decarbonizzazione indicato nel Piano Energetico Ambientale del Porto di Genova (PEAP).

Come riportato negli elaborati di progetto⁸ (cod. elaborato: MI046R-PF-D-Z-R-005-01), il beneficio ambientale in termini di valore di emissioni di CO₂ evitate in atmosfera, riferito alla produzione annua del parco eolico (AET medio) è pari a 1.539 t CO₂/anno.

Per il calcolo delle emissioni di CO₂ evitate, è stato utilizzato come riferimento quanto definito nell'ambito del progetto "EcoTransIT - Ecological Transport Information Tool"⁹, ovvero un valore pari a 0,49 Kg CO₂/kWh.

TABELLA 4-33 - QUADRO DI SINTESI DELL'IMPIANTO EOLICO

<i>Tipologia aerogeneratore</i>	<i>AEROGENERATORE_H50</i>		
<i>N. aerogeneratori layout</i>		20	n.
<i>Potenza complessiva installata</i>		1.800	kW
<i>CAPEX</i>		7.000	k€
<i>LCOE</i>		167	€/MWh
<i>TOT. Energia Annua Prodotta</i>	AET	3.140	MWh
<i>Contributo FER (PEAP)</i>	e.e.	6%	%
<i>T CO₂ evitate</i>	annue	1.539	t CO ₂
<i>TEP evitate</i>	annue	270	t OIL

Considerando 20 anni di esercizio dell'impianto eolico, si ottiene una riduzione complessiva del contributo emissivo di CO₂ pari a 30.780 t.

A tale valore devono però essere sottratte le emissioni di CO₂ relative agli autoconsumi elettrici di centrale, che sono calcolate in funzione della produzione di energia elettrica dell'impianto (Kg di CO₂ immessi in atmosfera per produrre 1 kWh elettrico)

Utilizzando fattori di conversione tratti dalle analisi effettuate dalla Agenzia di Protezione dell'Ambiente americana (US EPA), si ottiene un'emissione annua di 30,77 t di CO₂, pari a 615,44 t per i 20 anni di esercizio.

Le emissioni di CO₂ in atmosfera per autoconsumi rappresentano dunque una percentuale minima rispetto alle emissioni evitate (circa il 2%) Risulta quindi un bilancio complessivo ampiamente in attivo per la vita utile dell'opera, in quanto in

⁸ Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale, "Realizzazione della nuova diga foranea del Porto di Genova, ambito bacino di Sampierdarena". Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica. Seconda Fase. Dimensionamento Preliminare dell'Impianto Eolico-Relazione Tecnica (Giugno 2021)

⁹ fonte: IFEU - Institut für Energie und Umweltforschung, Heidelberg GmbH

quanto si osserva che le emissioni generate nel ciclo produttivo sono marginali rispetto alla riduzione complessiva di emissioni.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-34 - ARIA E CLIMA. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI ESERCIZIO

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Emissione di inquinanti in atmosfera	2	2	3	3	2	32	Medio

4.9. Sistema paesaggistico

4.9.1. Caratteri del progetto e rapporto con il paesaggio

Riguardo gli aspetti paesaggistici, considerando che le strutture della nuova diga foranea risulteranno notevolmente più spostate verso il largo rispetto a quelle dell'assetto dell'attuale diga (rif. Volume 1, Paragrafo 2.4.1.1), l'elemento che richiede maggiore attenzione in termini di valutazione è costituito dalla presenza dei generatori eolici.

Essi, infatti, costituiscono un elemento di novità nel contesto, a differenza della diga che, pur con dimensioni e posizione decisamente diverse rispetto all'attuale, è comunque un elemento già presente.

I generatori, costituiti da una esile struttura posta a sostegno di pale, presentano tuttavia caratteristiche analoghe ad elementi e manufatti già presenti in loco.

A questo proposito, riferendosi agli elaborati posti in Allegato A, risultano particolarmente interessanti i contenuti riportati alle Tavole 3.a, 3.b e 3.c, che mostrano alcune *citazioni* riferite a questo tema.

La Tavola 3.a illustra un'opera di recentissima realizzazione, situata a poca distanza dall'ambito di intervento: il ponte San Giorgio, progettato dall'Arch. Renzo Piano in luogo del viadotto Polcevera (noto come ponte Morandi), interessato dal tragico crollo del 14 Agosto 2018. Il nuovo ponte ha una snella struttura costituita da pile portanti a sezione ellittica e segnata, sopra l'impalcato stradale, dalla presenza dei pali di illuminazione, disposti regolarmente. La struttura presenta linee essenziali, valorizzate dal colore chiaro e organizzate in geometrie di estremo rigore ed armonia.

La Tavola 3.b riporta immagini riferite al Porto Antico e riferite ad elementi che lo connotano in modo iconico:

- il bigo: struttura disegnata sempre dall'Arch. Renzo Piano, è costituita da puntoni e intende citare la gru (chiamata appunto bigo) utilizzata in ambiente navale per il carico e scarico di merci e materiali. Inaugurata nel 1992, sostiene un ascensore panoramico e la copertura a tenda della piazza delle feste, situata in prossimità;
- le sculture aeree ("Columbus' Wind") costituite da vele che si muovono con il vento, concepite dall'artista giapponese Susumu Shingu in coerenza con le altre opere di sistemazione del Porto Antico pensate da Piano.

La Tavola 3.c è invece dedicata ad un altro progetto dell'Arch. Renzo Piano: la nuova torre dei piloti, destinata a sorgere nel contesto della Fiera (in prossimità del Padiglione B progettato dall'Arch. Jean Nouvel). Anche la torre dei piloti presenta una struttura aerea e visivamente leggera, di colore chiaro, posta a sostenere una sorta di grande copertura orizzontale quadrata.

Infine, la Tavola 3.d riporta immagini di *citazioni* non riferite al luogo di progetto ma riguardanti parchi eolici realizzati in contesti d'acqua. Le realizzazioni, situate in Gran Bretagna, Germania e Olanda, anche se localizzate in luoghi decisamente diversi dalla costa genovese, costituiscono tuttavia interessanti esempi e suggeriscono un'idea dell'assetto finale delle opere previste nel nostro caso.

Pare dunque che, all'interno del progetto di collocazione delle turbine eoliche al di sopra della diga foranea, sia possibile trovare punti di contatto con opere già presenti nel contesto interessato dall'intervento. È quanto è possibile osservare nell'elaborazione grafica contenuta nel "concept", articolato in due tavole: la Tavola 4.a e la Tavola 4.b.

La Tavola 4.a mostra le affinità che legano le strutture del parco eolico con quelle delle opere citate: il disegno lineare del ponte San Giorgio, del bigo con le vele di Susumu Shingu e della torre dei piloti pare quasi ispirare la forma svettante del tronco di sostegno e delle pale delle turbine, così come è riscontrabile un'analogia nei colori chiari.

Conseguentemente, la Tavola 4.b mostra il prospetto della costa dal mare, illustrando sia l'inserimento delle opere esistenti (o in progetto, come la torre piloti), sia la collocazione delle turbine: sottolineando ancora una volta l'affinità tra i due elementi, quasi come se il "DNA del luogo", che ha generato le prime opere, possa generare, ora, le nuove opere che costituiranno il parco eolico.

La nuova diga foranea, arricchita da queste strutture, potrà così essere percepita come una sorta di nuova porta di accesso alla città dal mare.

Le caratteristiche del progetto sono esplicitate grazie alle successive tavole grafiche. In questo senso, la Tavola 5.a riporta una planimetria schematica dello stato di fatto inquadrata ad ampia scala: su di essa si trova delineata la costa e l'impianto dell'attuale diga foranea.

La Tavola 5.b mostra invece la planimetria generale del progetto, con l'assetto della nuova diga. Il raffronto tra le due è fornito dai contenuti della Tavola 5.c, che mostra la planimetria dello stato di fatto e di progetto, il cui scopo è quindi quello di illustrare le differenze tra le due grazie ad uno schema grafico che riporta anche indicazioni relative ai diversi settori.

Le successive sezioni paesaggistiche intendono poi mostrare il rapporto tra le opere e il contesto. Nel caso della Sezione A-A', la linea di sezione è tracciata perpendicolarmente alla costa in corrispondenza del quartiere di Sampierdarena e intercetta elementi importanti del contesto, scendendo da monte a mare.

I diversi elementi sono così posti a confronto, in termini altimetrici, sia con l'attuale diga, come si vede nella Tavola 5.d.1 dedicata allo stato di fatto, sia con la diga in progetto, mostrata nella Tavola 5.d.2. Il raffronto tra i due momenti è leggibile sulla Tavola 5.d.3, che li riporta entrambi.

Gli elementi che costituiranno la nuova diga (qui non sono previste le pale eoliche), pur essendo in posizione diversa e aumentando di numero, in realtà non si porranno in evidenza in modo diverso rispetto alla situazione attuale: emergeranno infatti dalle acque in modo del tutto analogo.

Anche nel caso della sezione B-B' la linea di sezione è tracciata perpendicolarmente alla costa, ma in corrispondenza del Porto Antico, e sono posti in evidenza gli elementi più significativi del contesto paesaggistico, da monte verso il mare. La Tavola 5.e.1 mostra la situazione allo stato di fatto, la Tavola 5.e.2 la situazione secondo il progetto, la Tavola 5.e.3 il raffronto grazie alla rappresentazione di entrambi i momenti.

Le opere in previsione certamente daranno origine ad una modifica sostanziale dell'assetto della diga foranea: le strutture della nuova diga sono previste decisamente più al largo e risultano sormontate dalle strutture a sostegno delle pale eoliche.

Occorre tuttavia rilevare, anche in questo caso, che la nuova diga non emergerà dal mare più della precedente e quindi non risulterà, di per sé, più evidente. Riguardo inoltre le pale eoliche, esse risulteranno variamente percepibili, pur essendo piuttosto

lontane dalla costa, ma la loro struttura le renderà simili ad elementi già esistenti in loco.

Ci si riferisce, qui, non soltanto in senso più ampio alle opere già illustrate nelle tavole delle citazioni e del “concept” (il ponte San Giorgio sul Polcevera, il bigo e la nuova torre dei piloti) ma anche alle strutture, peraltro di analoghe altezze, presenti nell’area merci e terminal, come le grandi gru utilizzate per le attività portuali.

Una ulteriore verifica, in questo senso, viene fornita dalla Tavola 5.f, che mostra complessivamente il prospetto dal mare dei luoghi interessati dalla realizzazione della parte della diga sormontata dalle turbine eoliche.

Sia il disegno che la fotosimulazione mostrano il rapporto tra le nuove opere e lo stato attuale: non si ravvisa un carattere stridente tra i due elementi.

4.9.2. Analisi e valutazioni

Considerando le opere in previsione, si può affermare che, riguardo gli aspetti paesaggistici, non si ravvisano sia per la fase di cantiere che per la fase di esercizio ricadute su elementi storico-insediativi, oltre che sugli elementi morfologici e idrografici.

In generale, su elementi di natura antropica, anche di carattere storico e testimoniale, che connotano il paesaggio considerato nel suo insieme non si osserva la possibilità di effetti o alterazioni, dato che le opere non paiono incidere sul livello sistemico e simbolico dei luoghi. Allo stesso modo, non si ravvisano possibilità di alterazioni riguardo l’assetto morfologico e riguardo il contributo che gli elementi di valore naturalistico forniscono all’assetto complessivo del paesaggio.

È invece evidente una ricaduta in termini di percezione visiva: le opere, pur non interessando le altre componenti del quadro paesaggistico, produrranno modifiche dell’assetto attuale, e queste modifiche saranno certamente percepite, pur con diverse modalità a seconda dei punti di osservazione.

L’impatto, quindi, interessa essenzialmente gli aspetti vedutistici.

Per la valutazione delle ricadute dell’impatto visivo sono state appositamente predisposte alcune fotosimulazioni. La loro ubicazione è riportata nella Tavola 5.g. Si tratta dei punti di osservazione:

- da via Corsica (fotosimulazioni nella Tavola 5.h);
- da via Righi (fotosimulazioni nella Tavola 5.i);

- da Forte Begato (fotosimulazioni nella Tavola 5.l);
- dalla Lanterna verso levante (fotosimulazioni nella Tavola 5.m);
- dalla Lanterna verso ponente (fotosimulazioni nella Tavola 5.n);
- dal mare, con vista aerea in posizione Sud-Ovest (fotosimulazioni nella Tavola 5.o).
Una fotosimulazione da mare è riportata anche nel prospetto della Tavola 5.f richiamata al Paragrafo precedente.

Le Tavole indicate accanto ai singoli punti di osservazione si articolano poi in diversi elaborati, ciascuno dei quali riporta immagini che illustrano la situazione dei luoghi al compimento di specifiche fasi di realizzazione.

A titolo di esempio, per le immagini relative al punto di osservazione da via Corsica, le tavole in dettaglio si articolano come segue:

- Tavola 5.h.0: tavola indice delle immagini successive;
- Tavola 5.h.1: stato di fatto;
- Tavola 5.h.2. fase a: macrofase 1 e 2 (corrisponde alla fase di cantiere);
- Tavola 5.h.3. fase a: macrofase 3 (corrisponde alla fase di esercizio a conclusione della fase a, con la diga completa di parco eolico);
- Tavola 5.h.4. fase b (corrisponde alla fase di esercizio a conclusione della fase b, sempre con la diga completa di parco eolico).

L'articolazione sopra riportata è comune a tutti i punti di osservazione considerati.

Le immagini, quindi, permettono valutazioni in merito all'impatto delle opere durante la fase di cantiere e di esercizio.

In generale, durante la fase di cantiere sarà certamente inevitabile percepire sia la consistente presenza dei mezzi e macchinari d'opera che opereranno in loco, sia il progressivo variare della percezione dei manufatti costituenti la diga, via via che, procedendo i lavori, saranno costruiti i nuovi elementi e saranno demoliti quelli esistenti.

Per tali aspetti non si ravvisano effetti particolarmente negativi: di fatto, i mezzi e i macchinari che opereranno avranno caratteristiche del tutto analoghe a quelle dei mezzi che abitualmente operano nel contesto portuale.

Con riferimento agli elementi che costituiranno la nuova diga, essi si troveranno in gran parte molto più spostati al largo rispetto alla situazione attuale. Si ricorda, infatti, che la soluzione progettuale prevede un significativo allargamento del bacino di Sampierdarena, per la realizzazione del nuovo avamposto e del nuovo canale; la nuova diga foranea sarà ubicata ad una distanza variabile tra 400 m ed 800 m dalla linea di costa, rispetto agli attuali 200 m (rif. Volume 1, Paragrafo 2.4.1.1).

La posizione più arretrata verso il mare dei nuovi manufatti si lega prevalentemente alla questione della percepibilità delle turbine del parco eolico. Come già evidenziato, esse costituiscono certamente un elemento nuovo che si inserisce nel contesto paesaggistico.

L'impatto visivo di questi elementi si rivela tuttavia contenuto se si considerano i seguenti aspetti:

- le pale eoliche si trovano ad una considerevole distanza dalla costa;
- l'altezza delle turbine è di circa 50 m: il rapporto tra le loro dimensioni e il contesto non appare problematico, essendo la loro altezza in realtà contenuta rispetto alla linea dei rilievi che caratterizza l'orografia del territorio a ridosso della costa, come evidenziato nelle sezioni paesaggistiche (Tavola 5.e.3);
- l'altezza delle turbine, nello specifico, non appare in conflitto neppure con elementi simbolici di grande rilievo, come ad esempio la Lanterna. Il parco eolico, inoltre, è concepito in sintonia con gli elementi tipici dell'attività portuale (ad esempio le gru) e presentano un disegno analogo a strutture di alto valore architettonico e simbolico, come il ponte San Giorgio e il bigo;
- il parco eolico dispone i suoi elementi con ampio intervallo tra di essi. Non si ha quindi la sensazione di una sorta di cortina continua per chi guarda verso il mare;

Tutti questi elementi sono riscontrabili nelle fotosimulazioni relative ai primi cinque punti di osservazione, a vari livelli di percepibilità a seconda della distanza della nuova diga dal punto in esame.

Il sesto punto di osservazione, la vista aerea dal mare, risulta invece importante per fornire un quadro complessivo di percepibilità che riguarda il contesto ampio.

Il punto, che certamente non è un semplice punto panoramico normalmente accessibile ad un qualunque osservatore, consente, ancora una volta, di sottolineare la relazione tra le opere in progetto e il contesto. Dalle simulazioni riportate nella Tavole 5.o, ciò che si nota è il basso impatto visivo delle opere rispetto all'ambito analizzato: esse, infatti, non

sminuiscono la percepibilità dell'insieme dei caratteri del contesto, rappresentati dalla movimentata orografia, dalla fitta urbanizzazione e dalle strutture portuali che caratterizzano la linea di costa.

4.9.3. Stima degli impatti in fase di cantiere

Con riferimento alle considerazioni e valutazioni riportate al Paragrafo 4.9.1 ed al Paragrafo 4.9.2, nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

Per quanto riguarda il tratto di diga foranea attuale da demolire (Molo Antico Duca di Galliera), per il quale vige la “*presunzione di culturalità*”, si rimanda a quanto riportato al Paragrafo 2.6.2 del Volume 1.

TABELLA 4-35 - SISTEMA PAESAGGISTICO. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Alterazione della percezione visiva	1	-1	2	2	2	-6	Lieve

4.9.4. Stima degli impatti in fase di esercizio

Con riferimento alle considerazioni e valutazioni riportate al Paragrafo 4.9.1 ed al Paragrafo 4.9.2, nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

Per quanto riguarda il tratto di diga foranea attuale da demolire (Molo Antico Duca di Galliera), per il quale vige la “*presunzione di culturalità*”, si rimanda a quanto riportato al Paragrafo 2.6.2 del Volume 1.

TABELLA 4-36 - SISTEMA PAESAGGISTICO. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI ESERCIZIO

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Alterazione della percezione visiva	2	0	3	3	2	0	Nessun effetto

4.10. Agenti fisici

4.10.1. Rumore

4.10.1.1 Stima degli impatti in fase di cantiere

Ambiente terrestre

La stima degli impatti fase di cantiere è stata sviluppata con l'ausilio del modello previsionale di calcolo SoundPLAN sviluppato dalla tedesca Braunstein & Berndt GmbH sulla base sia di standard ISO (e segnatamente della norma ISO 9613) che di altri standards di riferimento utilizzati localmente in paesi diversi.

La scelta di applicare tale modello di simulazione è stata effettuata in considerazione delle caratteristiche del modello, del livello di dettaglio che è in grado di raggiungere e, inoltre, della sua affidabilità ampiamente garantita dalle applicazioni in campo ambientale. SoundPLAN, inoltre, è un modello previsionale ad "ampio spettro" in quanto permette di studiare fenomeni acustici generati da rumore stradale, aeroportuale e industriale utilizzando di volta in volta gli standard internazionali più ampiamente riconosciuti.

Come dati di input del modello è stato fatto riferimento alle attività a quanto eseguito nell'ambito di un'altra attività di progettazione, già richiamata per la definizione dello stato attuale del clima acustico (rif. Volume 2, Paragrafo 3.2.1.1).

Per la creazione del modello digitale del terreno (DGM) (modello geografico e fabbricati) è stata condotta un'elaborazione preventiva delle cartografie aerofotogrammetriche di base del territorio comunale nella porzione di interesse (carta tecnica comunale del Comune di Genova). I file così elaborati sono stati importati nel programma SoundPLAN che, a partire dalle informazioni relative al profilo altimetrico del territorio costruito per punti quota, ha infine consentito la definizione del DGM.

Gli stessi file elaborati hanno poi consentito di inserire gli edifici utilizzando un'apposita procedura del programma SoundPLAN in grado di identificare automaticamente le aree racchiuse da linee poligonali e di convertirle in oggetti tridimensionali.

Per ogni edificio è stata quindi inserita l'altezza reale desunta dall'estratto aerofotogrammetrico oppure, ove non disponibili dati diretti dalla cartografia, da sopralluogo diretto in sito.

Il clima acustico è stato valutato ad una quota definita di 2 m dal piano campagna, che corrisponde alla quota di riferimento comunemente utilizzata per il tracciamento delle mappe areali di rumore.

Si è poi proceduto all'inserimento nel modello previsionale dei dati di input relativi alle strade, ai parcheggi, alle aree industriali, alle edificazioni a carattere residenziale e/o commerciale. Per ciascun elemento definito sono stati inseriti i dati caratteristici

funzionali alla definizione del disturbo acustico ad esso connesso, ciascuno secondo lo standard internazionale caratteristico riconosciuto dal modello previsionale di SoundPLAN.

I risultati dei rilievi fonometrici condotti (rif. Volume 2, Paragrafo 3.2.1.1) sono stati considerati come rumore di fondo (contributo delle sorgenti esterne al cantiere), al netto di possibili variazioni dei flussi veicolari nelle zone limitrofe.

Per la fase di cantiere, sono state considerate le attività che si svolgono nella fase A (3730 m + 430 m), che avrà una durata 5 anni, in quanto più lunga e gravosa in termini di lavorazioni rispetto all'altra fase, la fase B (2130 m e durata 2 anni) (rif. Volume 1, Paragrafo 2.4.5).

Sono stati definiti 4 differenti scenari che ben rappresentano le principali attività di realizzazione, atteso che una certa variabilità in funzione delle esigenze di cantiere e delle modalità operative che saranno adottate in fase costruttiva, saranno comunque da tenere in considerazione con eventuali futuri aggiornamenti documentali:

- scenario 1: demolizione della diga esistente;
- scenario 2: costruzione della nuova diga;
- scenario 3: realizzazione del parco eolico;
- scenario 4: prefabbricazione dei cassoni e trattamento (vagliatura e frantumazione) del materiale da demolizione (area di cantiere di Prà-Voltri);

Lo scenario 1 (demolizione della diga esistente) prevede essenzialmente l'impiego di pontoni equipaggiati con gru ed escavatori mentre per lo smantellamento delle porzioni compatte di diga si prevede l'impiego di esplosivi depotenziati.

Gli effetti indotti dall'utilizzo di esplosivi depotenziati (rif. Volume 1, Paragrafo 2.4.2.4), sono stati anche considerati nell'ambito delle emissioni sonore in mare (Paragrafo 4.10.1.1).

La rumorosità di questi mezzi deriva in parte dall'azione meccanica delle attrezzature di bordo (gru o sistemi di escavazione) ed in parte dal funzionamento dei motori per la propulsione del pontone. Nelle simulazioni sono stati utilizzati dati di emissione sonora derivanti da misure sperimentali usualmente condotte con macchinario da lavoro in funzione (gru o escavatore) e con motore acceso e in spinta, corrispondente alla condizione di utilizzo più sfavorevole.

Lo scenario 2 (costruzione della nuova diga) prevede essenzialmente l'impiego di macchinari ed attrezzature a bordo pontone, pontoni, e mezzi di supporto.

Lo scenario 3 (realizzazione del parco eolico) interesserà la porzione di levante della nuova diga foranea, e cioè la parte più lontana dalla linea di costa. La fase di lavoro consiste essenzialmente in un'operazione di assemblaggio con livelli di rumorosità nel complesso contenuti, anche in considerazione della elevata distanza del cantiere dalla costa.

Lo scenario 4 (prefabbricazione dei cassoni e trattamento del materiale da demolizione) interessa l'area di cantiere di Prà-Voltri. Lo scenario prevede la presenza di un impianto di betonaggio e l'approvvigionamento di inerti, e la presenza di due impianti di vagliatura e frantumazione di inerti, oltre ad una serie di mezzi d'opera per lo smassamento e la selezione dimensionale e tipologia degli inerti.

Per ciascun scenario, sono state identificate le sorgenti concorsuali che concorrono alla produzione delle emissioni sonore, ovvero i mezzi e macchinari d'opera coinvolti. Ciascuna sorgente è stata poi caratterizzata attraverso il relativo spettro di emissione sonora espresso in termini di potenza sonora (L_w (dB)), e sono stati definiti i tempi di operatività ed eventuali contemporaneità di azione.

Le sorgenti di rumore rappresentate dai mezzi e macchinari d'opera sono state modellate come sorgenti puntuali, data la loro dimensione rispetto all'estensione complessiva dell'area di cantiere, e sono state collocate in una posizione dell'area di cantiere indicativamente corrispondente alla posizione di massimo impatto in termini di disturbo acustico sui ricettori immediatamente circostanti.

Nelle seguenti Tabelle, per ciascun scenario definito, sono riportati gli spettri di emissione dei mezzi e macchinari d'opera in termini di potenza sonora (L_w (dB)).

TABELLA 4-37 - SCENARIO 1 (DEMOLIZIONE DELLA DIGA ESISTENTE). SPETTRI DI EMISSIONE DEI MEZZI E MACCHINARI D'OPERA IN TERMINI DI POTENZA SONORA (L_w (dB))

Sorgente	Frequenza [Hz]									
	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Compressore	94.3	93.1	98.5	97.9	96.7	93.1	91.9	87.2	81.4	74.8
Motopontone	91.5	103.6	100.9	98.4	93.2	90.7	84.5	78.2	74.0	73.9
Pilotina	93.3	100.7	102.2	103.6	102.9	100.4	96.6	91.9	88.3	82.4
Draga	96.6	102.9	105.7	109.6	108.8	104.5	102.1	99.2	96.4	83.1
Esplosivo depotenziato	68.8	65.2	68.5	62.3	60.5	62.5	59.5	57.3	55.1	53.3

TABELLA 4-38 - SCENARIO 2 (COSTRUZIONE DELLA NUOVA DIGA). SPETTRI DI EMISSIONE DEI MEZZI E MACCHINARI D'OPERA IN TERMINI DI POTENZA SONORA (L_w (dB))

Sorgente	Frequenza [Hz]									
	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Autobetoniera	94.5	110.4	99.9	92.5	102.2	95.6	94.5	90.0	84.2	80.9
Autopompa calcestruzzo	99.8	106.4	104.5	103.5	102.2	102.3	102.5	97.9	92.0	83.8
Compressore	94.3	93.1	98.5	97.9	96.7	93.1	91.9	87.2	81.4	74.8
Motopontone	91.5	103.6	100.9	98.4	93.2	90.7	84.5	78.2	74.0	73.9
Pilotina	93.3	100.7	102.2	103.6	102.9	100.4	96.6	91.9	88.3	82.4
Draga	96.6	102.9	105.7	109.6	108.8	104.5	102.1	99.2	96.4	83.1

TABELLA 4-39 - SCENARIO 3 (REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO) SPETTRI DI EMISSIONE DEI MEZZI E MACCHINARI D'OPERA IN TERMINI DI POTENZA SONORA (L_w (dB))

Sorgente	Frequenza [Hz]									
	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Mini escavatore	105.6	111.5	103.8	103.6	102.1	98.0	93.8	88.9	82.6	76.2
Camion gru	96.8	98.9	99.1	86.2	89.6	94.1	94.0	89.1	80.0	73.0
Compressore	94.3	93.1	98.5	97.9	96.7	93.1	91.9	87.2	81.4	74.8
Motopontone	91.5	103.6	100.9	98.4	93.2	90.7	84.5	78.2	74.0	73.9
Pilotina	93.3	100.7	102.2	103.6	102.9	100.4	96.6	91.9	88.3	82.4
Draga	96.6	102.9	105.7	109.6	108.8	104.5	102.1	99.2	96.4	83.1
Montaggio meccanico	75.5	80.3	80.8	82.4	85.6	81.3	77.4	74.2	70.5	65.6

TABELLA 4-40 - SCENARIO 4 (PREFABBRICAZIONE DEI CASSONI E TRATTAMENTO DEL MATERIALE DA DEMOLIZIONE). SPETTRI DI EMISSIONE DEI MEZZI E MACCHINARI D'OPERA IN TERMINI DI POTENZA SONORA (L_w (dB))

Sorgente	Frequenza [Hz]									
	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Autobetoniera	94.5	110.4	99.9	92.5	102.2	95.6	94.5	90.0	84.2	80.9
Autogrù	110.5	111.3	109.9	106.8	104.5	105.9	107.1	100.0	89.2	79.9
Autopompa calcestruzzo	99.8	106.4	104.5	103.5	102.2	102.3	102.5	97.9	92.0	83.8
Mini escavatore	105.6	111.5	103.8	103.6	102.1	98.0	93.8	88.9	82.6	76.2
Camion	107.0	103.8	94.4	93.9	93.8	95.3	95.0	87.7	82.4	74.0
Camion gru	96.8	98.9	99.1	86.2	89.6	94.1	94.0	89.1	80.0	73.0
Escavatore	97.5	100.0	95.2	95.4	94.6	93.4	91.3	88.3	86.2	80.2
Gru a torre	76.0	80.2	90.8	90.0	94.8	96.4	94.5	93.5	89.9	83.3
Pala	102.2	117.2	110.3	107.3	101.7	99.6	97.9	94.1	89.9	86.3
Compressore	94.3	93.1	98.5	97.9	96.7	93.1	91.9	87.2	81.4	74.8
Terna	100.0	115.0	108.1	105.1	99.5	97.4	95.7	91.9	87.8	84.1
Motrice con pianale	111.3	108.7	102.1	91.3	93.9	97.0	94.8	90.2	87.0	83.4
Motopontone	91.5	103.6	100.9	98.4	93.2	90.7	84.5	78.2	74.0	73.9
Frantoio	105.5	112.1	118.4	122.1	114.8	107.9	104.0	101.1	98.3	94.0

Nel seguito sono illustrati e discussi sinteticamente i risultati ottenuti dalle simulazioni previsionali condotte considerando l'attuale rumore di fondo ed i recettori più esposti.

Scenario 1: demolizione della diga esistente

- livello massimo atteso alla sorgente: 88.5 dB(A)
- livello massimo atteso a 50 m dalla sorgente: 71.5 dB(A)
- livello massimo atteso a 100 m dalla sorgente: 68.5 dB(A)
- livello massimo atteso a 150 m dalla sorgente: 66.5 dB(A)
- livello massimo atteso a 200 m dalla sorgente: 65.5 dB(A)
- livello massimo atteso al recettore R1 (ditta PRM impianti): 62.4 dB(A)
- livello massimo atteso al recettore R2 (caserma GdF Testero, con uffici e residenze): 60.1 dB(A)

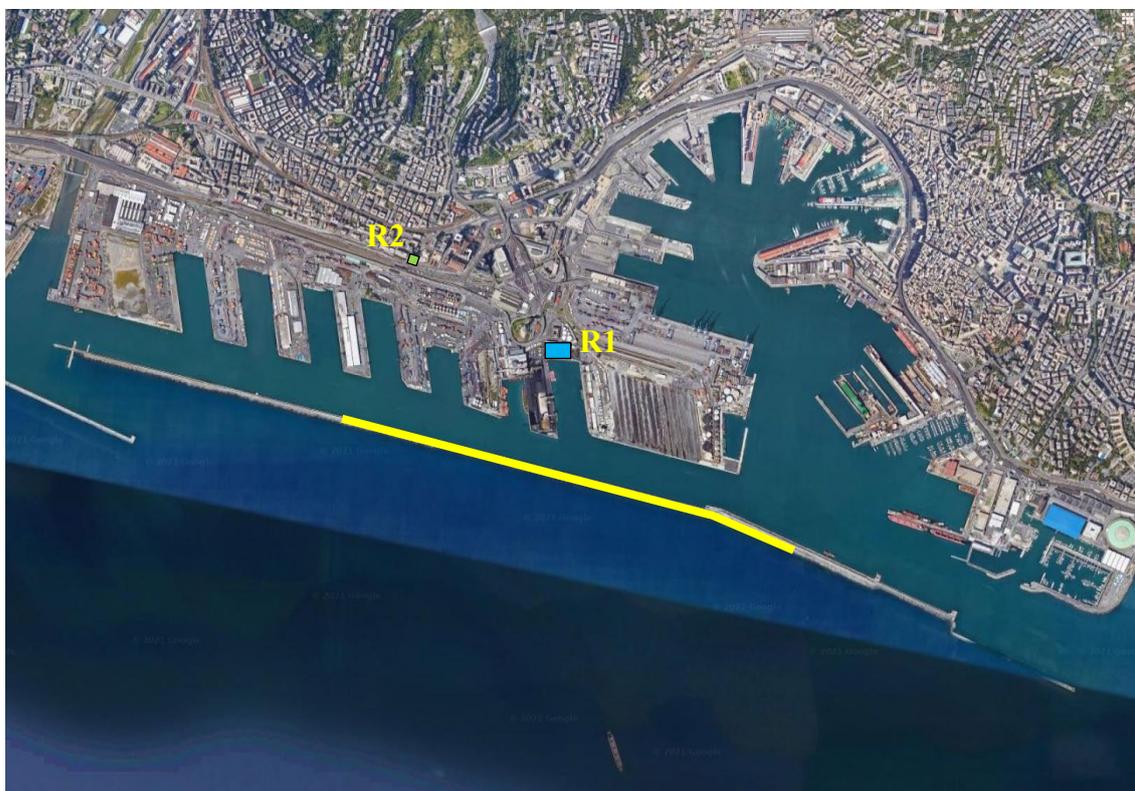


FIGURA 4-86 - SCENARIO 1 (DEMOLIZIONE DELLA DIGA ESISTENTE). UBICAZIONE DEL RECETTORE SENSIBILE (IN VERDE) E NON SENSIBILE (IN AZZURRO) PROSSIMI ALLE AREE DI INTERVENTO

Scenario 2: costruzione della nuova diga

- livello massimo atteso alla sorgente: 85.7 dB(A)
- livello massimo atteso a 50 m dalla sorgente: 68.7 dB(A)
- livello massimo atteso a 100 m dalla sorgente: 65.7 dB(A)

- livello massimo atteso a 150 m dalla sorgente: 63.7 dB(A)
- livello massimo atteso a 200 m dalla sorgente: 62.7 dB(A)
- livello massimo atteso al recettore R1 (ditta Sampierdarena Olii): 61.2 dB(A)
- livello massimo atteso al recettore R2 (caserma GdF Testero, con uffici e residenze) 58.8 dB(A)



FIGURA 4-87 - SCENARIO 2 (COSTRUZIONE DELLA NUOVA DIGA). UBICAZIONE DEL RECETTORE SENSIBILE (IN VERDE) E NON SENSIBILE (IN AZZURRO) PROSSIMI ALLE AREE DI INTERVENTO

Scenario 3: realizzazione del parco eolico

- livello massimo atteso alla sorgente: 82.3 dB(A)
- livello massimo atteso a 50 m dalla sorgente: 65.3 dB(A)
- livello massimo atteso a 100 m dalla sorgente: 62.3 dB(A)
- livello massimo atteso a 150 m dalla sorgente: 60.3 dB(A)
- livello massimo atteso a 200 m dalla sorgente: 59.3 dB(A)
- livello massimo atteso al recettore R1 (cantiere navale Amico & Co): 54.1 dB(A)

- livello massimo atteso al recettore R2 (edificio residenziale): 50.5 dB(A)



FIGURA 4-88 - SCENARIO 3 (REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO). UBICAZIONE DEL RECETTORE SENSIBILE (IN VERDE) E NON SENSIBILE (IN AZZURRO) PROSSIMI ALLE AREE DI INTERVENTO

Scenario 4: prefabbricazione dei cassoni e trattamento (frantumazione e vagliatura) del materiale da demolizione (area di cantiere di Prà-Voltri)

- livello massimo atteso alla sorgente: 91.2 dB(A)
- livello massimo atteso al recettore R1 (cantiere navale Mostes): 65.1 dB(A)
- livello massimo atteso al recettore R2 (circolo nautico e struttura sportiva Marina del Castelluccio): 61.8 dB(A)



FIGURA 4-89 - SCENARIO 4 (PREFABBRICAZIONE DEI CASSONI E TRATTAMENTO DEL MATERIALE DA DEMOLIZIONE). UBICAZIONE DEL RECETTORE SENSIBILE (IN VERDE) E NON SENSIBILE (IN AZZURRO) PROSSIMI ALLE AREE DI INTERVENTO

I livelli massimi calcolati sono nel complesso abbastanza contenuti; tuttavia, in alcune aree, i valori risultano prossimi ai valori limite del Piano di Classificazione Acustica del Comune di Genova (rif. Volume 2, Paragrafo 3.2.1.1) e talvolta li possono superare.

È il caso, ad esempio, dello scenario 4.

Al fine di tenere sotto controllo il fenomeno, nella successiva fase progettuale dovranno essere introdotte barriere fonoassorbenti mobili, che costituiscono tipiche misure di mitigazione di cantiere, attorno alla zona dell'impianto impianto di betonaggio e di frantumazione e vagliatura.

Il possibile superamento dei limiti previsti dal Piano di Classificazione Acustica rappresenta, in ogni caso, una circostanza in linea generale prevedibile ed a carattere

temporaneo, in quanto il Piano di Classificazione Acustica tiene conto della normale attività antropica presente nel generico sito, ma non contempla le esigenze particolari e specifiche di un cantiere.

Si potrà dunque anche valutare di procedere con la richiesta di autorizzazione di emissione in deroga, come previsto dal Regolamento di Attuazione del Piano (Modulo AC004)¹⁰.

Occorre, infine, osservare che i valori previsionali rappresentano valori massimi che potrebbero ragionevolmente diminuire in funzione di una minore contemporaneità di funzionamento delle diverse sorgenti e che, valutati in ragione dell'effettiva organizzazione della giornata lavorativa, potranno determinare valori del livello equivalente Leq sull'intero periodo di riferimento inferiori ai valori determinati per via di calcolo.

Nella successiva fase progettuale, dovrà essere valutato se effettuare un aggiornamento della modellazione previa definizione dell'effettiva cantierizzazione (es.: specifici mezzi macchinari d'opera da utilizzare) e della modalità di gestione della giornata lavorativa.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-41 - AGENTI FISICI. EMISSIONI SONORE A TERRA. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Emissioni sonore a terra	1	-1	2	2	3	-7	Lieve

Ambiente marino costiero

Mammiferi marini

Scenario di riferimento

Per la valutazione dell'impatto potenziale indotto dalle emissioni sonore sui mammiferi marini, sono state considerate le attività di cantiere relative alla Fase A di costruzione (rif. Volume 1, Paragrafo 2.4.5), essendo la più gravosa in termini di durata, movimentazione di materiali e numero di mezzi coinvolti

- Attività previste per la macrofase 1 (durata: circa 3 anni):

¹⁰ <http://geoserver.comune.genova.it/acustica/>

- consolidamento del fondale con colonne in ghiaia;
- realizzazione dello scanno di imbasamento con materiale da cava;
- dragaggio del bacino di Sampierdarena e dell'avamposto;
- cassoni (prefabbricazione nel sito di Voltri, trasporto, affondamento con materiale da dragaggio e da cava);
- trasporto dei cassoni;
- realizzazione della sovrastruttura in c.a..
- Attività previste per la macrofase 2 e la macrofase 3 (durata circa 3 anni):
 - salpamento della mantellata della diga esistente, riutilizzo per la scogliera antiriflessione della nuova diga;
 - demolizione delle opere in cls/ca e salpamento del materiale del nucleo e del pietrame di imbasamento;
 - realizzazione dello scanno di imbasamento (con materiale riciclato) + affondamento dei cassoni (con materiale riciclato);
 - sovrastruttura.

Per le suddette attività, in base alle caratteristiche acustiche delle sorgenti, è possibile raggruppare le principali fonti di rumore in tre macro-categorie:

- movimentazione mezzi navali;
- dragaggio;
- demolizione con esplosivi.

Nella Tabella seguente è riportata una sintesi delle tipologie di rumore continuo o impulsivo indotte dalle attività di cantiere.

TABELLA 4-42 - TIPOLOGIE DI RUMORE CONTINUO O IMPULSIVO INDOTTE DALLE ATTIVITÀ DI CANTIERE

ATTIVITA'	Principale tipologia di rumore				
	Continuo				Impulsivo
	Mezzi navali	Dragaggio	Lavorazioni varie (no infissioni/demolizioni)	Palificazione con vibro infessore	Esplosioni
Demolizione con esplosivi depotenziati dei tratti di diga esistente	X				X
Rimozione dello scanno di imbasamento	X				
Movimentazione di mezzi e macchinari marittimi (pontoni, bettoline, ecc.)	X		X		
Consolidamento del fondale mediante colonne in ghiaia	X		X	X	
Versamento a mare del materiale sciolto (pietrame) per la realizzazione scanno di imbasamento dei cassoni	X		X		
Spianamento e sagomatura del materiale sciolto (pietrame)	X		X		
Dragaggio del bacino di Sampierdarena e deposito temporaneo materiale nel Canale di Calma e successiva ripresa per affondamento cassoni	X	X	X		
Trasporto dei cassoni, affondamento e riempimento con materiale sciolto	X				
Posa dei massi e delle mantellate	X		X		

a. Movimentazione di mezzi navali

In linea generale, il rumore prodotto da una imbarcazione/nave possiede le seguenti caratteristiche (Erbe, 2011; Koessler *et al.*, 2020):

- è generato principalmente dai macchinari di bordo (motori principali, ausiliari e ingranaggi, che irradiano il suono in acqua attraverso lo scafo) e da fattori idrodinamici (flusso dell'acqua sullo scafo; appendici e cavità; toni acustici determinati dalla velocità di rotazione delle pale dell'elica; fenomeni di cavitazione);
- aumenta con le dimensioni, la potenza, il carico e la velocità della nave;
- è maggiore nelle navi a elica rispetto a quelle a propulsione jet;
- ha nella cavitazione dell'elica la sua componente più rumorosa (per velocità superiori alla velocità di inizio della cavitazione);
- ha delle componenti armoniche alle basse frequenze che corrispondono alla velocità di rotazione della pala dell'elica: $f \text{ [Hz]} = \text{numero di pale} \times \text{giri/min}/60$ (imbarcazioni con piccole eliche che girano a velocità più elevate hanno toni a frequenza più alta);
- ha componenti tonali a bassa frequenza ($<100 \text{ Hz}$) caratteristiche dal tipo di motore e degli ingranaggi; queste “righe” spettrali formano la firma acustica della nave e ne consentono l'identificazione acustica;
- per $f > 100 \text{ Hz}$ lo spettro scende tipicamente di $-20 \log_{10} f$.

Per la realizzazione dell'opera è previsto l'utilizzo di diverse tipologie di imbarcazioni (ciascuna con comportamento acustico differente) in base al tipo di attività, ovvero bettoline, motonavi, motopontoni con/senza gru o betoniera, e rimorchiatori.

Utilizzando come riferimento le caratteristiche di alcuni mezzi potenzialmente impiegabili durante i lavori, di seguito si riportano le principali peculiarità acustiche dedotte dalla letteratura di riferimento.

La bettolina da 500 m^3 , avendo una lunghezza inferiore a 50 metri, può essere assimilata ad una “piccola imbarcazione” (Koessler *et al.*, 2020). Le piccole imbarcazioni con motori fuoribordo o entro bordo producono un suono generalmente più alto nella gamma delle medie frequenze (da 1 a 5 kHz), con livelli a sorgente nell'intervallo 150 – 180 [dB re $\mu\text{Pa}\cdot\text{m}$], sebbene le caratteristiche dell'emissione possano essere fortemente dipendenti dalla velocità. Gli spettri della sorgente includono armoniche tonali alle frequenze di risonanza delle pale dell'elica, dei motori o dei riduttori al di sotto di circa 1 kHz, nonché energia significativa derivante dalla cavitazione dell'elica che si estende

fino a 10 kHz e oltre. Il rumore prodotto si può approssimare come continuo e omnidirezionale (Götz *et al.*, 2009; UNEP-CBD, 2012; MMO, 2015).

Le motonavi da 2.000 m³ e/o il motopontone con/senza gru o betoniera possono essere assimilate a navi di medie dimensioni (lunghezza 50-100 metri), i cui sistemi di propulsione sono generalmente grandi e complessi, includendo spesso anche eliche di prua. I livelli tipici a sorgente per le imbarcazioni di medie dimensioni sono nell'intervallo 165 – 180 [dB re $\mu\text{Pa}\cdot\text{m}$].

La maggior parte del rumore delle navi di medie dimensioni è simile alle imbarcazioni di grandi dimensioni, in quanto la maggior parte dell'energia sonora è a bassa frequenza (<2 kHz). Anche in questo caso il rumore prodotto si può approssimare come continuo e omnidirezionale (Götz *et al.*, 2009; UNEP-CBD, 2012; MMO, 2015).

Il rimorchiatore, pur essendo assimilato a navi di piccole o medie dimensioni, i rimorchiatori hanno un diverso comportamento acustico a seconda del tipo di traina effettuato. A titolo di esempio, nella seguente Tabella si riportano le emissioni acustiche a sorgente prodotte da queste imbarcazioni nel caso trasportino una chiatta vuota o a pieno carico (Borsani e Farchi, 2011b).

TABELLA 4-43 - CARATTERISTICHE DEL RUMORE EMESSE DA UN RIMORCHIATORE CHE TRAINA UNA CHIATTA A PIENO CARICO E CHIATTA VUOTA (FONTE: BORSANI E FARCHI, 2011B)

	Frequenza (kHz)	Livello a sorgente (dB re 1 $\mu\text{Pa}\cdot\text{m}$)	Riferimento bibliografico
Rimorchiatore che traina una chiatta vuota	0.037	166	Buck e Chalfant 1972; Miles <i>et al.</i> 1989
	1.0	164	
	5.0	145	
Rimorchiatore che traina una chiatta a pieno carico	1.0	170	Miles <i>et al.</i> 1989
	5.0	161	

Per i mezzi di dragaggio, le misurazioni subacquee del rumore generato sono limitate e poche informazioni sono ricavabili dalla letteratura. Oltre al rumore prodotto dalla nave e dai suoi macchinari, i principali processi che contribuiscono alle emissioni acustiche in acqua durante i dragaggi sono: la raccolta, il pompaggio, il trasporto (materiale che viene sollevato dal fondo del mare alla draga) e il deposito (posizionamento di materiale su una chiatta o tramoggia).

In generale, il dragaggio produce un suono continuo a banda larga concentrato a frequenze inferiori a 2 kHz. I livelli di pressione sonora possono variare ampiamente a seconda del tipo di draga, della fase operativa o delle condizioni ambientali.

Il rumore dipende poi dai materiali estratti, con un'estrazione di sedimenti più dura che genera livelli di rumore più elevati rispetto all'estrazione di sedimenti molli.

Dai dati ottenuti in letteratura (Richardson et al., 1995; UNEP-CBD, 2012; MMO, 2015), i livelli a sorgente SL [dB re $\mu\text{Pa}\cdot\text{m}$] stimati per il dragaggio variano tra 168 e 186 dB, con una ampiezza di banda di 30 - 20.000 Hz e con la massima ampiezza nel range di frequenza 100 – 500 Hz.

Anche in questo caso, il rumore prodotto si può approssimare come continuo e omnidirezionale.

b. Demolizione con esplosivi

Le esplosioni subacquee (UNDEX) sono una delle fonti puntiformi più intense di suoni antropici nell'ambiente marino. Ad esempio, la grande quantità di esplosivi utilizzati nelle prove d'urto delle navi militari può produrre un livello di sorgente totale superiore a 300 dB.

Il suono delle esplosioni ha caratteristiche impulsive, si propaga equamente in tutte le direzioni e può essere rilevato a grandi distanze, a volte attraverso i bacini oceanici.

La propagazione subacquea delle esplosioni è complessa, con un impulso (onda d'urto) iniziale seguito da una successione di impulsi di bolle oscillanti.

I livelli di picco a sorgente [L_{pk} dB re 1 $\mu\text{Pa}\cdot\text{m}$] possono variare in base al tipo e alla quantità di esplosivi utilizzati, alla profondità dell'acqua alla quale si verifica l'esplosione e di solito sono compresi nell'intervallo 272 – 287 dB re 1 μPa (1 - 100 lb di TNT).

La maggior parte del segnale si trova entro i 1.000 Hz (UNEP-CBD, 2012; Götz *et al.*, 2009).

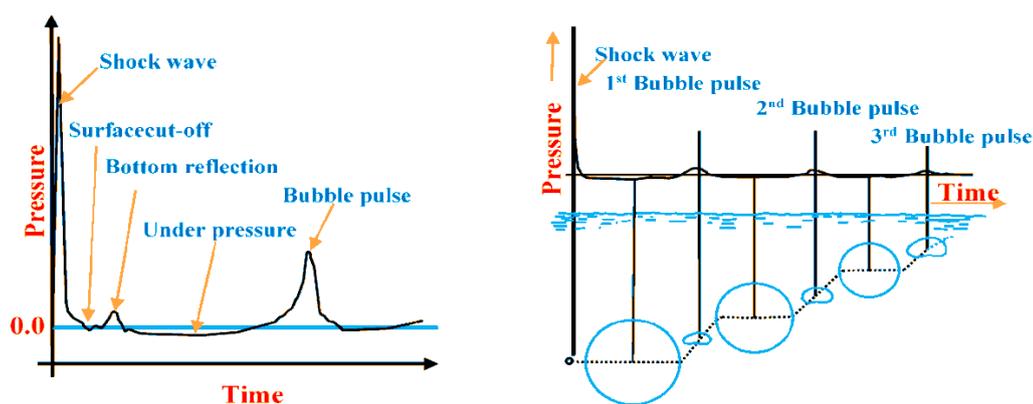


FIGURA 4-90 - FENOMENI DELLE ESPLOSIONI SUBACQUEE (UNDEX): ONDA D'URTO, ALTA PRESSIONE E MOVIMENTO DELLE BOLLE (FONTE: HELAL *ET AL.*, 2019)

La realizzazione dell'opera prevede la demolizione del corpo della diga foranea esistente, sia fuori dall'acqua che entro acqua, effettuata attraverso l'utilizzo di un sistema esplosivo depotenziato tipo Autostem (rif. Volume 1, Paragrafo 2.4.2.4).

Le cartucce Autostem si basano su una miscela di propellente-ossidante racchiusa in un contenitore tubolare in polimero.

Una delle caratteristiche salienti che contraddistinguono le cartucce di tipo Autostem rispetto agli esplosivi convenzionali è il fatto che questi ultimi detonano, mentre le cartucce Autostem deflagrano.

Rispetto agli esplosivi tradizionali (effetto di detonazione), la deflagrazione crea soltanto un aumento di pressione, poiché le velocità di deflagrazione del materiale non è sufficienti a produrre un'onda d'urto supersonica.

Tali caratteristiche renderebbero le cartucce Autostem teoricamente meno impattanti acusticamente rispetto gli esplosivi convenzionali; tuttavia, l'assenza di informazioni di letteratura impone una verifica sul campo (con registrazione acustica della deflagrazione di cariche di prova) al fine di valutare l'impatto acustico di questo tipo di cartucce non detonanti (Paragrafo 6.1.2.1).



FIGURA 4-91 - TIPOLOGIE DI CARTUCCE TIPO AUTOSTEM

Con riferimento allo scenario considerato, nella Tabella seguente sono riportate le principali fonti di rumore indotte dalla fase di cantiere e le relative emissioni per singola sorgente acustica ricavate da letteratura.

I valori riportati dovranno necessariamente essere verificati e aggiornati nella successiva fase progettuale (Progetto Definitivo) in base alle specifiche imbarcazioni e strumenti che saranno utilizzati durante i lavori, al fine di determinare i reali livelli sonori ai quali possono essere esposte le specie target (fauna ittica, mammiferi marini e rettili marini).

TABELLA 4-44 - PRINCIPALI FONTI DI RUMORE SUBACQUEO GENERATO DURANTE LE FASI DI CANTIERE (FONTI: RICHARDSON *ET AL.*, 1995; GÖTZ *ET AL.*, 2009; BORSANI E FARCHI, 2011B; UNEP-CBD, 2012; MMO, 2015)

Tipo di attività		Sorgente di rumore	SL (dB re 1 µPa m)	Ampiezza di banda	Frequenza di picco	Tipologia di rumore	Numero di imbarcazioni e tempo di utilizzo	Tempo di utilizzo
Macrofase 1 (durata complessiva: circa 3 anni)	Consolidamento del fondale con colonne in ghiaia	Motonavi	165 - 180 rms	< 2 kHz	100 – 500 Hz	Continuo	2 motonavi/giorno	6 mesi
		Motopontoni con gru	165 - 180 rms	< 2 kHz	100 – 500 Hz	Continuo	2 motopontoni con gru da 500 m ³ /giorno ciascuno	29 mesi
	Scanno di imbasamento	Motonavi	165 - 180 rms	< 2 kHz	100 – 500 Hz	Continuo	3 motonavi/giorno da 2.000 m ³	3 anni
	Cassoni - Trasporto	Rimorchiatori	161 - 170 rms	< 2 kHz	200 – 700 Hz	Continuo	3 rimorchiatori per trasportare 1 cassone, 3 cassoni/mese (tot. 93 cassoni)	33 mesi
	Dragaggio del bacino di Sampierdarena e dell'avamposto	Dragaggio	168 - 186 rms	30 – 20.000 Hz	100 – 500 Hz	Continuo	3 draghe a benna	8 mesi
		Bettolina	150 - 180 rms	1 - 5 kHz	< 1 kHz	Continuo	1 bettolina	8 mesi
	Cassoni - Affondamento (con materiale da dragaggio e da cava)	Motopontoni con gru	165 - 180 rms	< 2 kHz	100 – 500 Hz	Continuo	4 motopontoni con gru da 500 m ³ /giorno per ciascun cassone (tot. 93 cassoni)	33 mesi
	Sovrastruttura	Motopontone con betoniera e gru	165 - 180 rms	< 2 kHz	100 – 500 Hz	Continuo	1 motopontone con betoniera e gru	3 anni
Macrofase 2 + Macrofase 3 (durata complessiva: circa 3 anni)	Salpamento della mantellata della diga esistente, riutilizzo per la scogliera antiriflessione della nuova diga	Motopontoni con gru	165 - 180 rms	< 2 kHz	100 – 500 Hz	Continuo	3 motopontoni con gru da 500 m ³ /giorno ciascuno per il carico 3 motopontoni con gru da 500 m ³ /giorno ciascuno per la posa	3 anni
	Demolizione	Cartucce tipo Autostem	n.d.	n.d.	n.d.	Impulsivo		2 anni
		Bettolina	150 - 180 rms	1 - 5 kHz	< 1 kHz	Continuo	5 bettoline	2 anni
	Scanno di imbasamento (con materiale riciclato)	Motopontoni con gru	165 - 180 rms	< 2 kHz	100 – 500 Hz	Continuo	5 motopontoni con gru da 500 m ³ /giorno ciascuno	2 anni
	Cassoni - Trasporto	Rimorchiatori	161 - 170 rms	< 2 kHz	200 – 700 Hz	Continuo	3 rimorchiatori per trasportare 1 cassone (tot. 11 cassoni)	21 mesi
	Cassoni - Affondamento (con materiale da dragaggio e da cava)	Motopontoni con gru	165 - 180 rms	< 2 kHz	100 – 500 Hz	Continuo	1 motopontoni con gru da 500 m ³ /giorno per ciascun cassone (tot. 11 cassoni)	21 mesi
	Sovrastruttura	Motopontone con betoniera e gru	165 - 180 rms	< 2 kHz	100 – 500 Hz	Continuo	1 motopontone con betoniera e gru	2 anni

Potenziati effetti del rumore subacqueo

Da solo o in combinazione con altri fattori di stress, il rumore antropogenico subacqueo può contribuire alla defaunazione marina.

Gli effetti potenziali del rumore sulle specie che si affidano in qualche misura al suono per funzioni biologiche chiave (comunicazione, navigazione, orientamento, foraggiamento e individuazione di predatori e pericoli; Richardson *et al.*, 1995) dipendono da una serie di fattori, tra cui la durata, la natura e il contenuto in frequenza del suono, il livello ricevuto (livello sonoro all'animale), la sovrapposizione nello spazio e nel tempo con l'organismo e la fonte del suono, e il contesto di esposizione (ad esempio, gli animali possono essere più sensibili al suono durante i momenti critici, come l'alimentazione, la riproduzione o la deposizione delle uova o l'allattamento e l'allevamento dei piccoli; Tasker *et al.*, 2010).

L'esposizione al rumore di origine antropica può produrre un'ampia gamma di effetti sugli organismi acquatici, in particolare sui mammiferi marini (CBD, 2020).

TABELLA 4-45 - POTENZIALI EFFETTI DEL RUMORE SUBACQUEO SUI MAMMIFERI MARINI
(FONTE: BERTOLINI ET AL., 2012; MODIFICATA)

Impatto	Tipo di danno
Fisiologico - Non uditivo	Danni ai tessuti corporei (emorragie interne, rottura del tessuto polmonare). Embolia e altri sintomi legati a manifestazioni assimilabili a malattia da decompressione.
Fisiologico - Uditivo	Danni al sistema uditivo (rottura della finestra ovale o rotonda alla soglia dell'orecchio interno che può risultare letale; rottura del timpano). Effetti vestibolari (vertigini, disorientamento, perdita dell'equilibrio). Diminuzione permanente / temporanea della capacità uditiva (PTS, innalzamento permanente del livello di soglia / TTS, innalzamento temporaneo del livello di soglia).
Legato allo stress	Vitalità compromessa degli individui. Soppressione del sistema immunitario e maggiore vulnerabilità a malattie. Diminuzione del tasso riproduttivo.
Comportamentale	Spiaggiamento. Interruzione di comportamenti abituali (alimentazione, riproduzione, etc.). Perdita di efficienza nell'accoppiamento (richiami meno efficienti) e nell'alimentazione (immersioni meno produttive). Antagonismo nei confronti di altri animali. Allontanamento dall'area (a breve o lungo termine).
Percettivo	Mascheramento dei segnali acustici necessari alla comunicazione con gli altri membri della stessa specie. Mascheramento di altri suoni biologicamente importanti, come quelli emessi dai predatori. Interferenza con la capacità di ecolocalizzazione.
Cronico	Impatti cumulativi e sinergici. Ipersensibilità al rumore. Assuefazione al rumore (gli animali rimangono nelle vicinanze di livelli di suono dannosi).
Effetti indiretti	Degradazione della qualità e della disponibilità di habitat. Disponibilità ridotta di prede.

Un suono di basso livello può essere udibile ma non produrre alcun effetto visibile, viceversa può causare il mascheramento dei segnali acustici e indurre l'allontanamento degli animali dall'area esposta al rumore.

Aumentando il livello del suono, gli animali possono essere soggetti a condizioni acustiche capaci di produrre disagio o stress fino ad arrivare al danno acustico vero e proprio con perdita di sensibilità uditiva, temporanea o permanente.

L'esposizione a rumori molto intensi, come le esplosioni a breve distanza, può addirittura produrre danni fisici permanenti ad altri organi oltre a quelli uditivi e può in alcuni casi portare al decesso del soggetto colpito.

Le zone teoriche di influenza del rumore subacqueo sui mammiferi marini sono state definite e si basano principalmente sulla distanza tra la sorgente del suono e il ricevitore (Richardson et al., 1995).

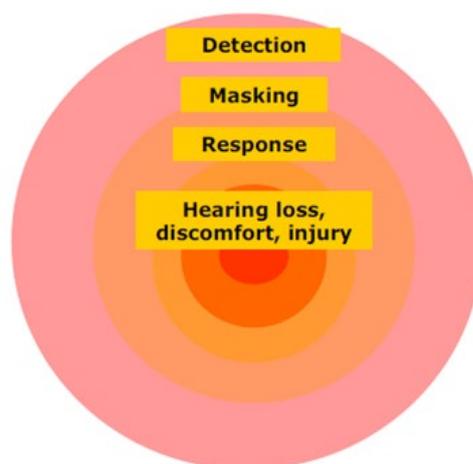


FIGURA 4-92 - ZONE TEORICHE DI INFLUENZA DEL RUMORE SUI MAMMIFERI MARINI (FONTE: RICHARDSON *ET AL.*, 1995)

Questo modello è stato ampiamente utilizzato per le valutazioni d'impatto in cui le zone d'influenza del rumore sono determinate sulla base di una combinazione di modelli di propagazione del suono, di misure dirette del livello di pressione sonora e di informazioni sulle capacità uditive delle specie.

Tuttavia, il modello fornisce solo una stima molto semplificata e approssimativa delle zone di influenza, poiché il suono nell'ambiente marino è sempre tridimensionale e subisce fenomeni di interferenza, riflessione e rifrazione che determinano campi sonori molto più complessi.

Studi sugli effetti dei suoni impulsivi sono stati, almeno in parte, eseguiti, e le relative procedure di mitigazione degli stessi sono già in atto, anche se la dinamica degli effetti è ancora lontana dall'essere pienamente compresa.

La scala di effetti dei rumori impulsivi sulla fauna marina va dal disturbo (mascheramento dei segnali, allontanamento dall'habitat) per i rumori a bassa intensità alla morte per barotrauma, passando per danni all'udito temporanei o permanenti, come suggeriscono indagini condotte su cetacei spiaggiati (INFN, 2017).

Lo studio del rumore diffuso presenta difficoltà ancora più grandi.

Gli effetti deleteri dell'esposizione al rumore continuo sono stati ben documentati nell'uomo e in altre specie terrestri: innalzamento dello stress, indebolimento fisiologico, difficoltà di comunicazione con i conspecifici, impossibilità di rilevare prede o predatori.

È ragionevole ipotizzare che quanto detto possa essere valido anche per tutti gli organismi marini che utilizzano il suono come senso privilegiato, ma necessita di ulteriori indagini a più livelli (INFN, 2017). L'osservazione degli effetti a breve e a lungo termine del rumore provocato dal traffico navale, a livello di specie, popolazione ed ecosistema, richiede monitoraggi su ampia scala temporale (decine di anni) che forniscano serie storiche di dati in grado di descrivere come gli ecosistemi rispondono nel tempo a questa pressione (e.g. variazioni nella distribuzione e uso dell'habitat per i mammiferi marini).

Stima degli effetti del rumore e soglie di riferimento

Per stimare l'impatto del rumore prodotto dalla fase di cantiere sui mammiferi marini nello scenario considerato, si applicano le metodologie di analisi comunemente impiegate in quest'ambito, seguendo i criteri indicati nella più recente letteratura di riferimento (NMFS, 2018; Southall *et al.*, 2019). Le stime si basano su modellizzazioni in ciascuna frequenza di banda di un terzo di ottava presenti all'interno della SL (*Source Level*) prendendo in considerazione:

- i livelli a sorgente pesati attraverso funzioni di ponderazione specifiche in relazione alle specie di cetacei (Southall *et al.*, 2019);
- le soglie delle specie di cetacei, suddivise in due gruppi uditivi funzionali o *Hearing groups* (LF=*low frequency* e HF=*high frequency*; Southall *et al.*, 2019), in relazione ai diversi rumori impulsivi e continui.

Per valutare gli impatti potenziali di un'attività che produce rumore è quindi necessario stabilire i criteri di esposizione (soglie) per i quali i livelli di pressione sonora possono avere un impatto negativo sulle specie.

Con il termine soglia si intende il livello di rumore che non deve essere superato da un'attività per non arrecare disturbo (risposta comportamentale), o provocare cambiamenti irreversibili ("Permanent Hearing Threshold Shift", PTS) o reversibili temporanei ("Temporary Hearing Threshold Shift", TTS) nella soglia uditiva delle specie target.

La soglia dovrebbe essere collegata alla frazione di popolazione della specie target che potrebbe essere esposta a rumore nocivo e al grado di vulnerabilità della popolazione stessa.

In molte aree queste informazioni di base sulle popolazioni sono largamente frammentate o, nella maggioranza dei casi, assenti, rendendo necessario un approccio precauzionale per garantire la tutela delle specie.

La definizione dei livelli di esposizione acustica che possono disturbare o danneggiare i mammiferi marini è un argomento di ricerca ancora attivo.

Dal 2007, diversi gruppi di esperti hanno sviluppato approcci di valutazione basati su “Sound Exposure Level” cumulativi nelle 24 ore ($L_{E,p,24h}$) per valutare i cambiamenti reversibili o irreversibili nella soglia uditiva. Tra essi i lavori chiave di Southall *et al.*, (2007 e 2019), Finneran e Jenkins (2012), Popper *et al.* (2014) e i report tecnici del National Marine Fisheries Service (NMFS, 2014, 2018).

Anche il numero di studi che indagano il disturbo del rumore antropogenico in grado di determinare una risposta comportamentale della fauna marina è aumentato notevolmente, suggerendo approcci di valutazione basati sul “Sound Pressure Level root mean square” ($L_{p,rms}$).

Tuttavia, a causa della complessità e della variabilità delle risposte comportamentali dei mammiferi marini all'esposizione acustica, non è stata ancora rilasciata una guida tecnica sulle soglie di comportamento da utilizzare nel calcolo delle esposizioni degli animali.

I valori di soglia comunemente adottati per i mammiferi marini fanno riferimento alle linee guida NOAA (NMFS, 2014, 2018) e ai lavori di Southall *et al.* (2007, 2019). I loro criteri sono basati:

- sulle funzioni di pesatura in base alla sensibilità di gruppi uditivi funzionali applicate alle stime di “Sound Exposure Level” $L_{E,p,24h}$
- su valori soglia di “Sound Pressure Level root mean square” $L_{p,rms}$ in relazione alla risposta comportamentale.

Tutti i criteri di esposizione al rumore in NMFS (2014, 2018) e Southall *et al.* (2019) sono identici, tuttavia i cetacei a media frequenza di NMFS (2018) sono classificati come cetacei ad alta frequenza in Southall *et al.* (2019).

Considerando le specie del Santuario Pelagos, in questa sede è stata utilizzata la classificazione di Southall *et al.* (2019) per i cetacei del gruppo uditivo funzionale “bassa frequenza” (LF) e “alta frequenza” (HF) e i valori soglia indicati da NMFS (2014, 2018) e Southall *et al.* (2007, 2019) (si vedano le Tabelle seguenti per i suoni impulsivi e per i suoni non impulsivi).

TABELLA 4-46 - POTENZIALI VALORI SOGLIA DEI SUONI IMPULSIVI PER I MAMMIFERI MARINI LF E HF (FONTE: MFS, 2014, 2018; SOUTHALL *ET AL.*, 2019). SOGLIE $L_{P,RMS}$ NON PESATE, $L_{E,p,24H}$ PESATE E $L_{P,PK}$ NON PESATE

SUONI IMPULSIVI							
Gruppi uditivi funzionali	Specie	Range uditivo	NMFS, 2014, 2018	Southall et al. 2019		Southall et al. 2019	
			Comportamento	Permanent Hearing Threshold Shift (PTS) onset (received level)	Temporary Hearing Threshold Shift (TTS) onset (received level)	Permanent Hearing Threshold Shift (PTS) onset (received level)	Temporary Hearing Threshold Shift (TTS) onset (received level)
			Sound pressure level root mean square ($L_{p,rms}$) dB re 1 μ Pa	Weighted SEL _{24h} ($L_{E,p,24h}$) dB re 1 μ Pa ² ·s	Weighted SEL _{24h} ($L_{E,p,24h}$) dB re 1 μ Pa ² ·s	Sound pressure level peak ($L_{p,pk}$) dB re 1 μ Pa	Sound pressure level peak ($L_{p,pk}$) dB re 1 μ Pa
Cetacei bassa frequenza (LF)	<i>Balaenoptera physalus</i>	7 Hz – 35 Hz		183	168	219	213
Cetacei alta frequenza (HF)	<i>Physeter macrocephalus</i> <i>Ziphius cavirostris</i> <i>Globicephala melas</i> <i>Grampus griseus</i> <i>Tursiops truncatus</i> <i>Stenella coeruleoalba</i> <i>Delphinus delphis</i>	150 Hz – 160 kHz	120	185	170	230	224

TABELLA 4-47 - POTENZIALI VALORI SOGLIA DEI SUONI NON IMPULSIVI PER I MAMMIFERI MARINI LF E HF (FONTE: MFS, 2014, 2018; SOUTHALL *ET AL.*, 2019). SOGLIE $L_{p,RMS}$ NON PESATE, $L_{E,p,24H}$ PESATE.

SUONI NON IMPULSIVI					
Gruppi uditivi funzionali	Specie	Range uditivo	NMFS, 2014, 2018	Southall et al. 2019	
			Comportamento	Permanent Hearing Threshold Shift (PTS) onset (received level)	Temporary Hearing Threshold Shift (TTS) onset (received level)
			Sound pressure level root mean square ($L_{p,rms}$) dB re 1 μ Pa	Weighted SEL _{24h} ($L_{E,p,24h}$) dB re 1 μ Pa ² ·s	Weighted SEL _{24h} ($L_{E,p,24h}$) dB re 1 μ Pa ² ·s
Cetacei bassa frequenza (LF)	<i>Balaenoptera physalus</i>	7 Hz – 35 Hz	120	199	179
Cetacei alta frequenza (HF)	<i>Physeter macrocephalus</i> <i>Ziphius cavirostris</i> <i>Globicephala melas</i> <i>Grampus griseus</i> <i>Tursiops truncatus</i> <i>Stenella coeruleoalba</i> <i>Delphinus delphis</i>	150 Hz – 160 kHz		198	178

Esaminando i livelli teorici di pressione sonora a sorgente delle fonti di rumore riportate in Tabella 4-44 e le soglie riportate nelle due precedenti Tabelle è possibile osservare come tutte le sorgenti siano potenzialmente in grado di disturbare (risposta comportamentale) o provocare cambiamenti irreversibili o reversibili temporanei nella soglia uditiva delle specie target.

Tale evidenza rende necessaria l'applicazione di misure di mitigazione (Paragrafo 6.1.2.1), ed un approccio precauzionale (conservativo) per la definizione delle distanze di influenza del rumore nel range uditivo delle specie target e, di conseguenza, dell'estensione della zona di mitigazione.

E' implicito che il grado con cui gli organismi rispondono a un fattore di stress come il rumore (ad esempio, le risposte comportamentali di allontanamento da aree

normalmente frequentate dalle specie per attività chiave come l'alimentazione oppure la riduzione proporzionale dell'efficienza di foraggiamento a causa del mascheramento dei segnali) è un indice di sensibilità per le specie che, a causa del disturbo provocato dalle attività antropiche, risultano maggiormente vulnerabili sia a livello di individuo che di popolazione (Williams *et al.*, 2020).

La realizzazione di campagne di rilievo acustico in corso d'opera (Paragrafo 7.1.2) consentirà la raccolta di informazioni sui livelli effettivamente riscontrati durante le attività, al fine di stimare le aree di impatto per i mammiferi marini.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-48 - AGENTI FISICI. EMISSIONI SONORE IN MARE. MAMMIFERI MARINI. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE.

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Emissioni sonore in mare - Danni fisici o disturbo dei mammiferi marini	4	-2	3	3	2	-64	Alto

Rettili Marini

Le tartarughe marine sono sensibili ai suoni a bassa frequenza nell'intervallo da 100 a 1000 Hz, con la massima sensibilità tra 100 e 400 Hz (Southwood *et al.*, 2008; Lavender *et al.*, 2014).

L'esposizione a lungo termine ad alti livelli di rumore antropico a bassa frequenza in aree costiere, che sono anche loro habitat vitale, può influenzare l'ecologia delle tartarughe (Samuel *et al.*, 2005), portando all'interruzione di comportamenti chiave come la riproduzione, il foraggiamento o il "basking" (termoregolazione), o a cambiamenti nel comportamento che compromettono i bilanci energetici (DeRuiter e Doukara, 2012).

Il comportamento di evitamento può portare a variazioni significative nella distribuzione, con potenziali conseguenze per gli individui o le popolazioni se disturbati nelle aree di alimentazione preferite (Pendoley, 1997).

Questo taxon richiede ulteriori ricerche sostanziali per determinare gli effetti e gli impatti di varie fonti di rumore antropogenico su individui e popolazioni.

Finneran *et al.* (2017) hanno prodotto i valori soglia per i rettili marini nel caso del rumore non impulsivo, considerando frequenze pesate $L_{E,p,24h}$.

TABELLA 4-49 - VALORI SOGLIA DEI SUONI NON IMPULSIVI PER I RETTILI MARINI (FONTE: FINNERAN *ET AL.*, 2019). SOGLIE $L_{E,p,24h}$ PESATE.

Finneran et al. 2017	
Permanent Hearing Threshold Shift (PTS) onset (received level)	Temporary Hearing Threshold Shift (TTS) onset (received level)
Weighted SEL_{24h} ($L_{E,p,24h}$) dB re 1 $\mu Pa^2 \cdot s$	Weighted SEL_{24h} ($L_{E,p,24h}$) dB re 1 $\mu Pa^2 \cdot s$
220	200

Per i rettili marini possono essere ritenute valide le medesime conclusioni riportate in precedenza per i mammiferi marini, in merito al confronto tra i livelli teorici di pressione sonora a sorgente delle fonti di rumore.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-50 - AGENTI FISICI. EMISSIONI SONORE IN MARE. RETTILI MARINI. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Emissioni sonore in mare - Danni fisici o disturbo dei rettili marini	4	-2	3	3	2	-64	Alto

Fauna ittica

Quanto descritto nel seguito tiene conto delle considerazioni espresse in riferimento alla problematica degli effetti del rumore di origine antropica nei confronti dei mammiferi e rettili marini.

Al pari di questi ultimi, l'inquinamento acustico, causato da un'eccessiva immissione nell'ambiente di suoni e rumori, e quindi di energia, è una delle forme di inquinamento che interferisce anche con i pesci ossei (Teleostei).

Pur presentando organi di ricezione e di emissione dei suoni differenti rispetto a quelli dei mammiferi e rettili marini, infatti, anche i Teleostei emettono e percepiscono i suoni per adattarsi al loro ambiente (ISPRA, 2011a).

Alcuni utilizzano i suoni in modo "passivo", altri in modo "attivo" ma la ricezione dei suoni ambientali permette loro di:

- individuare i predatori;
- individuare e catturare le prede;
- percepire la vicinanza di conspecifici;
- navigare e orientarsi;
- percepire i cambiamenti delle condizioni ambientali (maree, correnti);
- individuare fonti di cibo.

L'uso attivo del suono consente invece di:

- comunicare con i conspecifici durante l'accoppiamento, la ricerca del cibo, le lotte per il territorio e i ranghi sociali;
- orientarsi e navigare su lunghe distanze;
- stordire e catturare la preda;
- produrre segnali di allarme per avvertire i conspecifici della presenza di un pericolo;
- distrarre e spaventare un predatore per sfuggire da esso.

L'utilizzo dei suoni riveste quindi un ruolo fondamentale anche per questi organismi marini e rende di primaria importanza mantenere il rumore di fondo entro livelli che garantiscano il continuo e ininterrotto scambio di informazioni tra gli individui.

Vista l'importanza che riveste l'udito per i mammiferi e rettili marini e per il loro ruolo nell'ambiente marino, i lavori scientifici e le linee guida riguardanti questi organismi sono più numerosi rispetto a quelli concernenti i pesci ossei. Quest'ultimi risultano inoltre maggiormente diversificati sia per numero di specie, sia per tipologia degli organi di ricezione e sensibilità.

Nonostante le conoscenze sulla biologia e sul comportamento dei Teleostei siano approfondite, scarse sono le informazioni sui meccanismi di percezione e di utilizzo dei suoni.

La maggior parte degli studi effettuati sulla loro capacità uditiva indica che sono sensibili ai suoni con frequenza compresa tra 100 Hz e 2 kHz e che l'organo principale coinvolto nella ricezione e nella produzione dei suoni è la vescica natatoria.

A contatto di quest'ultima, molte specie hanno anche un sistema di piccole ossa capaci di trasferire vibrazioni. I pesci privi della vescica natatoria, come la sogliola e il rombo, sono dotati di ciglia o cellule pilifere dislocate sulla superficie superiore del corpo che si

ipotizza funzionino da recettori epidermici per percepire gli stimoli acustici, mentre lavori dimostrerebbero che gli otoliti (concrezioni calcaree presenti nell'orecchio interno dei pesci ossei) siano coinvolti nella ricezione dei cambiamenti di posizione e orientamento nella ricezione di onde sonore (ISPRA, 2011a). Le modalità di percezione dei suoni possono variare da specie a specie e tra i gruppi più vocali si segnalano quelli degli Scienidi e Gobidi.

Tra le principali fonti di disturbo sonoro correlate alle attività previste si segnalano le diverse lavorazioni continue che prevedono l'utilizzo di mezzi marini (bettoline, motonavi, rimorchiatori, navi draganti), le fasi di dragaggio e vibro infissione (realizzazione delle colonne in ghiaia per il consolidamento del fondale) e quelle impulsive con la demolizione mediante utilizzo di esplosivi depotenziati.

Gli effetti dell'interferenza acustica di origine antropica si possono manifestare con differenti livelli (Popper e Hawkins, 2019) che possono essere così riassunti:

- nessun evidente comportamento;
- variazioni del comportamento (es.: cambiamenti di rotte, abbandono di zone di alimentazione o di riproduzione, vocalizzazioni);
- mascheramento: riduzione della rilevazione dei suoni naturali (es.: suoni di predatori e prede, suoni di conspecifici, segnali acustici utilizzati per l'orientamento);
- spostamento della soglia dell'udito: perdita dell'udito, temporanea o permanente;
- lesioni fisiche (temporanea o permanente) e cambiamenti fisiologici (aumento dello stress e riduzione della forma fisica);
- morte: mortalità istantanea o ritardata.

In relazione alle soglie di rumore da prendere in esame durante la realizzazione di opere a mare per evitare danni temporanei (TTS) o permanenti (PTS) ai pesci, non esistono standard nazionali o internazionali o livelli soglia di riferimento comunemente accettati a livello internazionale. La comunità scientifica sulla base delle evidenze di studi volti alla tutela degli organismi marini e a prevenire effetti negativi del rumore antropico ha proposto una serie di valori di esposizione soglia e criteri di valutazione degli impatti del rumore a differente livello (es. temporaneo, permanente, lesioni, morte) anche per i pesci ossei.

Nella seguente Tabella, Landich (2019) riportata soglie di rumore (dB) che generano effetti temporanei (TTS) sulle capacità uditive dovute al mascheramento.

TABELLA 4-51 - STUDI CHE HANNO ANALIZZATO GLI EFFETTI TEMPORALI DEL RUMORE (SPOSTAMENTI TEMPORANEI DELLA SOGLIA, TTS) SULLE CAPACITÀ UDITIVE DEI PESCI OSSEI DOVUTE AL MASCHERAMENTO

Species	Noise types	Result	References
Atlantic Cod (<i>Gadus morhua</i> , Gadidae)	Ambient noise in Scottish loch	TTS depending on sea noise level (SPL)	Chapman and Hawkins (1973), Chapman (1973)
Goldfish (<i>Carassius auratus</i> , Cyprinidae)	White noise playback, 3 noise levels	TTS varying with noise level (SPL)	Fay (1974)
Atlantic croaker (<i>Micropogon undulatus</i> , Sciaenidae)	White noise playback, 124 and 136 dB	TTS varying with noise level (SPL)	Ramcharitar and Popper (2004)
Black drum (<i>Pogonias chromis</i> , Sciaenidae)	White noise playback, 124 and 136 dB	TTS varying with noise level (SPL)	Ramcharitar and Popper (2004)
Common carp (<i>Cyprinus carpio</i> , Cyprinidae)	4 ambient noise types played back	TTS varying with noise level (SPL)	Amoser and Ladich (2005)
European perch (<i>Perca fluviatilis</i> , Percidae)	4 ambient noise types played back	TTS varying with noise level (SPL)	Amoser and Ladich (2005)
Goldfish (<i>Carassius auratus</i> , Cyprinidae)	White noise playback, 110 and 130 dB	TTS varying with noise level (SPL)	Wysocki and Ladich (2005b)
Raphael catfish (<i>Platydoras armatulus</i> , Doradidae)	White noise playback, 110 and 130 dB	TTS varying with noise level (SPL)	Wysocki and Ladich (2005b)
Pumpkinseed sunfish (<i>Lepomis gibbosus</i> , Centrarchidae)	White noise playback, 110 and 130 dB	TTS varying with noise level (SPL)	Wysocki and Ladich (2005b)
Lusitanian toadfish (<i>Halobatrachus didactylus</i> , Batrachoididae)	Ambient and ship noise playback	TTS in the presence of ship noise (SPL)	Vasconcelos et al. (2007)
Damselfish (<i>Chromis chromis</i> , Pomacentridae)	Ambient and ship noise playback	TTS in the presence of ship noise (SPL)	Codarin et al. (2009)
Brown meagre (<i>Sciaena umbra</i> , Sciaenidae)	Ambient and ship noise playback	TTS in the presence of ship noise (SPL)	Codarin et al. (2009)
Redmouth goby (<i>Gobius cruentatus</i> , Gobiidae)	Ambient and ship noise playback	TTS in the presence of ship noise (SPL)	Codarin et al. (2009)
Goldfish (<i>Carassius auratus</i> , Cyprinidae)	Pond and aquarium noise playback, 95-119 dB	TTS varying with noise level (SPL)	Gutscher, Wysocki, and Ladich (2011)
Orange chromide (<i>Etoplous maculatus</i> , Cichlidae)	White noise playback, 110 and 130 dB	TTS varying with noise level (SPL, PAL)	Ladich and Schulz-Mirbach (2013)
Slender lionhead cichlid (<i>Steatocranus tinanti</i> , Cichlidae)	White noise playback, 110 and 130 dB	TTS varying with noise level (SPL, PAL)	Ladich and Schulz-Mirbach (2013)

Sempre per i pesci ossei, Popper e Hawkins (2019) propongono delle soglie acustiche alle quali si verificano varie tipologie di fenomeni.

TABELLA 4-52 - SOGLIE DI LIVELLO SONORO PROPOSTE ALLE QUALI SI VERIFICANO MORTALITÀ E LESIONI

Type of Animal	Mortality and potential mortal injury	Impairment			Behaviour
		Recoverable injury	TTS	Masking	
Fish: no swim bladder (particle motion detection)	> 219 dB SEL _{cum} or > 213 dB peak	> 216 dB SEL _{cum} or > 213 dB peak	>>186 dB SEL _{cum}	(N) Moderate (I) Low (F) Low	(N) High (I) Moderate (F) Low
Fish: swim bladder is not involved in hearing (particle motion detection)	210 dB SEL _{cum} or > 207 dB peak	203 dB SEL _{cum} or > 207 dB peak	> 186 dB SEL _{cum}	(N) Moderate (I) Low (F) Low	(N) High (I) Moderate (F) Low
Fish: swim bladder involved in hearing (primarily pressure detection)	207 dB SEL _{cum} or > 207 dB peak	203 dB SEL _{cum} or > 207 dB peak	186 dB SEL _{cum}	(N) High (I) High (F) Moderate	(N) High (I) High (F) Moderate

Popper *et al.* (2014) propongono una serie di soglie del rumore differenziandole sia per i possibili effetti che possono indurre nei pesci ossei (es. lesioni, mascheramento, comportamentali, ecc.), sia per le specifiche sorgenti (battipali, esplosioni, navigazione, ecc.).

Nello specifico delle sorgenti di rumore più frequenti nelle opere costiere, gli Autori propongono delle soglie sia per la tipologia di sorgente battipali (“pile driving”) sia per le esplosioni. I rispettivi valori sono riportati nelle Tabelle seguenti.

In mancanza di sufficienti dati la raccomandazione delle linee guida adotta un approccio del rischio per rango su tre distanze: vicino (N) pari a decine di metri, intermedio (I) pari a centinaia di metri e lontano (F) pari a migliaia di metri. Le celle etichettate come NA (non applicabile) indicano che si considera improbabile che si verifichi un effetto per un particolare gruppo di pesci.

TABELLA 4-53 - SOGLIE DI RUMORE PER LA SORGENTE “PILE DRIVING” RIFERIBILI AI DIVERSI EFFETTI CHE POSSONO GENERARE NELLA FAUNA ITTICA

Type of Animal	Mortality and potential mortal injury	Impairment			Behavior
		Recoverable injury	TTS	Masking	
Fish: no swim bladder (particle motion detection)	>219 dB SEL _{cum} or >213 dB peak	>216 dB SEL _{cum} or >213 dB peak	>>186 dB SEL _{cum}	(N) Moderate (I) Low (F) Low	(N) High (I) Moderate (F) Low
Fish: swim bladder is not involved in hearing (particle motion detection)	210 dB SEL _{cum} or >207 dB peak	203 dB SEL _{cum} or >207 dB peak	>186 dB SEL _{cum}	(N) Moderate (I) Low (F) Low	(N) High (I) Moderate (F) Low
Fish: swim bladder involved in hearing (primarily pressure detection)	207 dB SEL _{cum} or >207 dB peak	203 dB SEL _{cum} or >207 dB peak	186 dB SEL _{cum}	(N) High (I) High (F) Moderate	(N) High (I) High (F) Moderate

TABELLA 4-54 - SOGLIE DI RUMORE PER LA SORGENTE ESPLOSIONE RIFERIBILI AI DIVERSI EFFETTI CHE POSSONO GENERARE NELLA FAUNA ITTICA

Type of Animal	Mortality and potential mortal injury	Impairment			Behavior
		Recoverable injury	TTS	Masking	
Fish: no swim bladder (particle motion detection)	229 - 234 dB peak	(N) High (I) Low (F) Low	(N) High (I) Moderate (L) Low	NA	(N) High (I) Moderate (F) Low
Fish where swim bladder is not involved in hearing (particle motion detection)	229 - 234 dB peak	(N) High (I) High (F) Low	(N) High (I) Moderate (F) Low	NA	(N) High (I) High (F) Low
Fish where swim bladder is involved in hearing (primarily pressure detection)	229 - 234 dB peak	(N) High (I) High (F) Low	(N) High (I) High (F) Low	NA	(N) High (I) High (F) Low

Nell'area di progetto è stata evidenziata la presenza dell'ittiofauna, anche se l'approccio è stato prevalentemente qualitativo, vista la mancanza di dati specifici. È emerso come si tratti di specie per lo più comuni, di ridotto valore ecologico.

Le lavorazioni più significative (demolizione e "pile driving"), se realizzate con un approccio di progressività ("soft start"), attuando una serie di mitigazioni e all'interno delle soglie di attenzione previste, potranno avere effetti negativi limitati dal punto di vista del rumore e delle vibrazioni.

Inoltre, l'incremento dei rumori generato anche dalla navigazione dei differenti mezzi nautici che opereranno nell'area di cantiere potrà indurre un allontanamento parziale della fauna ittica, diminuendo la probabilità che si verifichino gli effetti più gravi (morte o lesioni gravi).

Occorre sottolineare la presenza di una cumulatività dell'alterazione, dal momento che le lavorazioni prevedono l'eliminazione fisica della diga esistente, dove la mantellata offre condizioni di nursery, riparo e di alimentazione per numerose specie, alcune delle quali sono da considerare di maggior pregio e che saranno costrette ad abbandonare tane e aree di pascolo e cattura (Paragrafo 4.3.1.2).

TABELLA 4-55 - AGENTI FISICI. EMISSIONI SONORE IN MARE. FAUNA ITTICA. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Emissioni sonore in mare - Disturbo della fauna ittica	1	-2	3	3	2	-16	Basso

4.10.1.2 Stima degli impatti in fase di esercizio

In fase di esercizio, l'unica fonte di emissione sonora è costituita dal funzionamento del parco eolico che sarà realizzato sulla nuova diga.

Adottando il modello previsionale di calcolo SoundPLAN già implementato per la fase di cantiere (Paragrafo precedente), è stato definito uno scenario che prevede il funzionamento contemporaneo delle 20 pale eoliche e che interessa prevalentemente il tratto di costa su cui il parco eolico si affaccia (rif. Volume 1, Paragrafo 2.4.3).

Il rumore emesso dagli impianti eolici ha due origini diverse:

- la prima riconducibile all'interazione della vena fluida con le pale del rotore in movimento (a tal proposito il rumore aerodinamico ad essa associato tende ad essere minimizzato in sede di progettazione e realizzazione delle pale);
- la seconda riconducibile al moltiplicatore di giri ed al generatore elettrico (anche in questo caso il miglioramento della tecnologia ha permesso una riduzione notevole del rumore, che viene circoscritto il più possibile alla navicella con l'impiego di materiali fonoassorbenti). La rumorosità aumenta, sia per effetto aerodinamico che per una maggiore velocità di rotazione della pala con l'aumentare della velocità del vento.

Le 20 pale eoliche, dunque, costituiscono le sorgenti concorsuali per le emissioni sonore. Nella Tabella successiva si riporta il relativo spettro di emissione in termini di potenza sonora (L_w (dB)).

TABELLA 4-56 - PALE EOLICHE. SPETTRO DI EMISSIONE IN TERMINI DI POTENZA SONORA (L_w (dB))

Sorgente	Frequenza [Hz]									
	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Aerogeneratore	68.3	70.5	72.2	73.5	77.9	75.4	72.3	71.0	66.8	62.1

Nel seguito sono illustrati e discussi sinteticamente i risultati ottenuti dalle simulazioni previsionali condotte considerando l'attuale rumore di fondo ed i recettori più esposti:

- livello massimo atteso alla sorgente: 62.3 dB(A);
- livello massimo atteso a 50 m dalla sorgente: 45.3 dB(A);
- livello massimo atteso a 100 m dalla sorgente: 42.3 dB(A);
- livello massimo atteso a 150 m dalla sorgente: 40.3 dB(A);

- livello massimo atteso a 200 m dalla sorgente: 39.3 dB(A);
- livello massimo atteso al recettore R1 (cantiere navale Amico & Co): 33.4 dB(A);
- livello massimo atteso al recettore R2 (edificio residenziale): 31.6 dB(A).



FIGURA 4-93 - UBICAZIONE DEL RECETTORE SENSIBILE (IN VERDE) E NON SENSIBILE (IN AZZURRO) PROSSIMI AL PARCO EOLICO

Nel complesso i valori di emissione sonora sono ridotti, e contenuti nei valori limite del Piano di Classificazione Acustica del Comune di Genova (rif. Volume 2, Paragrafo 3.2.1.1); anche gli effetti in corrispondenza dei recettori risultano minimali.

In generale, le moderne attrezzature degli impianti eolici sono caratterizzate da bassi livelli di emissione sonora, per lo più abbattuti già alla sorgente con una efficace insonorizzazione della turbina. Già per medie velocità del vento la rumorosità connessa agli effetti aerodinamici risulta preponderante rispetto alla rumorosità connessa al funzionamento della turbina.

Il parco eolico, inoltre, è previsto in corrispondenza della porzione di diga foranea più distante dalla costa; il primo fronte edificato intercettato è costituito da insediamenti con connotazione industriale e produttiva meno sensibili al rumore e che svolgono inoltre una funzione schermante nei confronti di emissioni sonore provenienti dal mare.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti.

TABELLA 4-57 - AGENTI FISICI. EMISSIONI SONORE A TERRA. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI ESERCIZIO

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Emissioni sonore a terra	1	0	3	3	3	0	Nessun effetto

4.10.2. Vibrazioni

4.10.2.1 Stima degli impatti in fase di cantiere

Ambiente terrestre

La realizzazione della nuova diga avverrà tra 400 e 800 m dall'attuale linea di costa; la quasi totalità delle lavorazioni sarà eseguita da mare e non saranno interessate aree a terra prossime a strutture (edifici, ecc.) e recettori.

Non sono dunque identificabili impatti potenziali per questo aspetto.

Ambiente marino costiero

Per la valutazione degli impatti potenziali indotti dall'emissione di onde vibrazionali in mare durante le lavorazioni previste, si rimanda al Paragrafo 4.10.1.1, riferendosi alle onde d'urto indotte dalle emissioni sonore.

4.10.2.2 Stima degli impatti in fase di esercizio

La presenza della nuova diga nel contesto territoriale di riferimento non costituisce un elemento in grado di indurre propagazione di vibrazioni sia nell'ambiente terrestre che nell'ambiente marino costiero.

Non sono dunque identificabili impatti potenziali per questo aspetto.

4.11. Stima complessiva dell'interazione opera - ambiente

4.11.1. Fase di cantiere

Componente	Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Popolazione e salute umana	Interferenze con le attività portuali	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
	Interferenze con il transito delle navi	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
Biodiversità	Disturbo della fauna terrestre (avifauna)	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
	Disturbo delle biocenosi bentoniche - Biocenosi di substrato duro	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
	Perdita di habitat - Biocenosi bentoniche di substrato duro	1	-2	3	3	2	-16	Basso (-)
	Disturbo delle biocenosi bentoniche - Biocenosi di substrato molle	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
	Modifica di habitat pregiati (fanerogame marine)	1	0	2	2	1	0	Nessun effetto
	Disturbo della fauna ittica	1	-2	3	3	3	-18	Basso (-)
	Perdita di habitat - Fauna ittica	1	-2	3	3	2	-16	Basso (-)
Suolo	Modifica della qualità dei sedimenti	1	1	3	3	2	8	Lieve (+)
Acque marino costiere	Inquinamento delle acque marino costiere	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
	Propagazione di torbidità	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
Aria e clima	Emissione di inquinanti in atmosfera	1	0	2	2	2	0	Nessun effetto
	Emissione di polveri in atmosfera	1	0	2	2	2	0	Nessun effetto
Sistema paesaggistico	Alterazione della percezione visiva	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
Agenti fisici	Emissioni sonore a terra	1	-1	2	2	3	-7	Lieve (-)
	Emissioni sonore in mare - Danni fisici o disturbo dei mammiferi marini	4	-2	3	3	2	-64	Alto (-)
	Emissioni sonore in mare - Danni fisici o disturbo dei rettili marini	4	-2	3	3	2	-64	Alto (-)
	Emissioni sonore in mare - Disturbo della fauna ittica	1	-2	3	3	2	-16	Basso (-)

4.11.2. Fase di esercizio

Componente	Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Popolazione e salute umana	Interferenze con le attività portuali	1	0	3	3	2	0	Nessun effetto
	Interferenze con il transito delle navi	3	3	3	3	2	56	Alto (+)
Biodiversità	Disturbo della fauna terrestre (avifauna)	1	-1	3	3	2	-8	Lieve (-)
	Creazione di habitat -Biocenosi bentoniche di substrato duro	1	2	3	3	2	16	Basso (+)
	Creazione di habitat - Fauna ittica	1	2	3	3	2	16	Basso (+)
Acque dolci superficiali	Variazione dell'idrodinamica delle foci e della sedimentazione nel	1	-1	3	3	2	-8	Lieve (-)

Componente	Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
	bacino portuale							
Acque marino costiere	Variazione della circolazione idrica	1	-1	3	3	2	8	Lieve (+)
	Variazione delle condizioni di moto ondoso all'interno del bacino portuale	1	-1	3	3	2	-8	Lieve (-)
	Variazione delle condizioni di moto ondoso lungo il litorale	1	-1	3	3	2	-8	Lieve (-)
	Alterazione del trasporto solido litoraneo	1	-1	3	3	2	-8	Lieve (-)
	Variazione dell'equilibrio della linea di costa	1	-1	3	3	2	-8	Lieve (-)
	Variazione della capacità di ricambio idrico del bacino portuale	1	1	3	3	2	8	Lieve (+)
	Variazione del ricambio idrico portuale e influenza delle acque portuali sulle coste adiacenti	1	1	3	3	2	8	Lieve (+)
Aria e clima	Emissione di inquinanti in atmosfera	2	2	3	3	2	32	Medio (+)
Sistema paesaggistico	Alterazione della percezione visiva	2	0	3	3	2	0	Nessun effetto
Agenti fisici	Emissioni sonore a terra	1	0	3	3	3	0	Nessun effetto

5. EFFETTI CUMULATIVI CON ALTRI PROGETTI

Secondo quanto disposto al Comma 1, lettera b, dell'Allegato V alla Parte Seconda del D.Lgs. 152/06 e s.m.i., la procedura di Valutazione di Impatto Ambientale, nel documentare le caratteristiche dei progetti, deve tenere conto "del cumulo con altri progetti esistenti e/o approvati".

L'obiettivo che ci si pone, quindi, è che la valutazione degli effetti ambientali determinati dall'opera in progetto non sia limitata solo agli effetti prodotti dalla stessa, ma tenga conto di quelli generati dalle possibili interazioni con altri progetti.

Per quanto concerne le attività già insistenti sul territorio, le valutazioni condotte nel presente Studio per tutte le componenti ambientali tengono conto dei valori di fondo rappresentativi delle condizioni attuali dell'area in esame e, pertanto già considerano "l'effetto cumulo".

Per quanto riguarda la fase di cantiere, ad integrazione delle valutazioni effettuate, si riporta nel seguito un sintetico elenco degli interventi di prossima attuazione o programmati ubicati in adiacenza dell'area di progetto. L'elenco, che illustra anche lo stato di avanzamento e la prevista data di avvio della cantierizzazione, è stato tratto dal sito dell'AdSP¹¹ e riguarda sostanzialmente le opere previste afferenti al Programma Straordinario degli Interventi:

- Interventi stradali prioritari nel bacino di Genova Sampierdarena (P.3121). Stato avanzamento: Progetto Esecutivo. Data prevista inizio lavori: 01/09/21
- Cavalcaferrovia su via Siffredi (P.3121 (ex P.3138)). Stato avanzamento: verifica Progetto Definitivo e Progetto Esecutivo. Data prevista inizio lavori: 01/09/21
- Riassetto accessibilità intermodale alle aree operative del bacino portuale di Prà (P.2729). Stato avanzamento: inizio lavori. Data prevista inizio lavori: 19/05/21
- Completamento infrastrutture nuovo terminal Calata Bettolo (P.3105). Stato avanzamento: Progetto Definitivo. Data prevista inizio lavori: 01/11/21
- Nuovo accosto Calata Olii Minerali (P.2933). Stato avanzamento: Progetto Definitivo. Data prevista inizio lavori: 01/11/21
- Messa in sicurezza idraulica dell'area portuale - industriale di Genova Sestri Ponente e realizzazione nuovo super bacino (P.2879). Stato avanzamento: opera

¹¹ <https://www.portsofgenoa.com/it/strategia-sviluppo/programma-straordinario-degli-interventi.html>

suddivisa in lotti, attività di progettazione ed esecuzione lavori in corso. Data prevista inizio lavori: Aprile 2021

- Ampliamento Ponte dei Mille Levante del terminal crociere (P.3133). Stato avanzamento: Progetto Definitivo. Data prevista inizio lavori: 01/12/21
- Intervento di ristrutturazione viadotto Marinai d'Italia (P.3121 (ex P.3077)). Stato avanzamento: verifica Progetto Definitivo e Progetto Esecutivo. Data prevista inizio lavori: 01/09/21
- Nuova Torre Piloti (P.3023). Stato avanzamento: Progetto Esecutivo, lavori in corso sulla banchina «E», conclusione prevista per settembre 2021 prima del Salone Nautico. Data prevista inizio lavori: 01/10/21

Nell'eventualità che uno o più progetti citati siano realizzati nello stesso periodo in cui sarà realizzato il progetto in esame, potrà verificarsi una sovrapposizione delle attività di cantiere e un conseguente potenziale effetto cumulativo dei seguenti impatti potenziali: emissioni di inquinanti gassosi e polveri generati da mezzi e macchinari d'opera, emissioni sonore a terra generati da mezzi e macchinari, interferenze con il traffico terrestre e marittimo.

Si evidenzia che tutte le lavorazioni per la costruzione della nuova diga saranno eseguite a mare, e che l'asse della nuova diga si trova ad una distanza variabile tra 400 ed 800 m dall'attuale linea di costa.

Le valutazioni effettuate per le emissioni di inquinanti gassosi e polveri (Paragrafo 4.8) e per le emissioni sonore a terra (Paragrafo 4.10.1.1) hanno mostrato come gli effetti indotti dalle lavorazioni siano trascurabili se non nulli.

Per quanto attiene le interferenze con il traffico marittimo (non sono prevedibili interferenze con il traffico terrestre), invece, è emerso che il rispetto della programmazione e delle regole comportamentali che saranno definite dalle Autorità Competenti, consentiranno di limitare ad un livello accettabile il potenziale disagio.

Non si ritiene dunque che possano essere individuati potenziali impatti cumulativi.

Per quanto concerne la fase di esercizio, non si ritiene che la presenza della diga nel contesto territoriale di riferimento sia tale da determinare un effetto cumulativo con gli impatti generati dall'esercizio delle altre opere che insisteranno nell'ambito portuale e retroportuale.

6. MITIGAZIONI E COMPENSAZIONI

Le misure di mitigazione che tipicamente sono incluse in uno Studio di Impatto Ambientale comprendono:

- elementi del progetto introdotti con la finalità di evitare o mitigare gli impatti;
- misure di carattere gestionale;
- misure aggiuntive al progetto, introdotte per la ottimizzazione dell'inserimento dell'opera nel territorio e nell'ambiente.

Nel caso in esame, sono state considerate solamente le misure relative al secondo e terzo punto di cui sopra, ovvero quegli accorgimenti ed attività aggiuntive da porre in opera al fine di controllare e ridurre i potenziali impatti durante la fase di cantiere e di ottimizzare l'inserimento dell'opera nel contesto territoriale ed ambientale di riferimento.

Nell'ambito della Fase 1 del Progetto, cioè la fase di studio delle alternative progettuali, e nell'ambito del Dibattito Pubblico (rif. Volume 1, Paragrafo 2.3), infatti, gli aspetti ambientali, paesaggistici e storico-archeologici sono stati utilizzati come parametri di valutazione e confronto multicriterio.

Nella successiva fase progettuale (Progetto Definitivo), tali misure dovranno essere dettagliate e concordate con gli Enti competenti. L'effettiva adozione di alcune delle misure indicate dovrà poi avvenire a valle delle previste attività di monitoraggio ambientale.

6.1. Misure di gestione ambientale e mitigazione in fase di cantiere

6.1.1. Acque marino costiere - Torbidità

Come illustrato nello studio condotto relativo alla propagazione della torbidità (Paragrafo 4.7.1.2 ed Allegato A), al fine di limitare la risospensione di sedimenti durante le attività di dragaggio dell'avamposto, dovrà essere impiegata una draga meccanica di tipo ambientale.

Sarà infatti così possibile ridurre considerevolmente i valori di concentrazione massimi attesi dei solidi risospesi, e ridurre drasticamente la quantità di materiale disponibile al campo lontano, evitando potenziali impatti sulle aree sensibili (tratti di costa adiacente e zona ZSC denominata "Fondali Boccadasse - Nervi").

Si precisa che la zona critica per il dragaggio è dunque solo quella posta in prossimità dell'attuale imboccatura di Levante ed in presenza di vento proveniente da Libeccio, che tende a muovere il "plume" di dragaggio verso Levante.

In aggiunta all'utilizzo della draga meccanica di tipo ambientale, è prevedibile la messa in opera di panne galleggianti in grado di contenere i solidi risospesi dal dragaggio laddove i risultati delle attività di monitoraggio previste (Paragrafo 7.2.2) dovessero mostrare, in prossimità delle aree sensibili poste a levante del porto, il superamento dei valori massimi accettabili definiti nella fase di *ante operam*.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti residui a seguito all'adozione delle previste misure di mitigazione.

TABELLA 6-1 - ACQUE MARINO COSTIERE. PROPAGAZIONE DI TORBIDITÀ. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE APPLICANDO LE MISURE DI MITIGAZIONE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Propagazione di torbidità	1	0	2	2	2	0	Nessun effetto

6.1.2. Acque marino costiere - Rumore

6.1.2.1 Mammiferi marini e rettili marini

I risultati delle analisi svolte hanno mostrato impatti alti sui mammiferi marini ed i rettili marini per effetto della realizzazione dell'opera.

È dunque stato previsto di adottare specifiche misure di mitigazione.

La scelta finale delle misure da adottare dovrà avvenire a valle delle previste attività di monitoraggio *ante operam* (Paragrafo 7.1.2) e del campo prove nel seguito descritto.

La maggior parte delle misure di mitigazione esistenti non sono ritenute pienamente efficaci nel ridurre i possibili impatti cumulativi e sinergici del rumore antropogenico sulla fauna marina (Wright, 2014). Inoltre, non considerano pienamente il contesto di esposizione degli individui e come una combinazione di rumore acuto e cronico può interagire con le condizioni degli animali per provocare una risposta comportamentale (Ellison *et al.*, 2011), in particolare nei mammiferi marini.

Nonostante le incertezze legate all'efficacia delle misure di mitigazione, attualmente i metodi utilizzati per gestire e mitigare l'impatto del rumore antropogenico subacqueo possono essere classificati in due gruppi:

- quelli incentrati sulla riduzione del suono irradiato dalla sorgente, che comprende diversi tipi di dispositivi passivi di attenuazione installati sopra o intorno la sorgente di rumore nelle aree di cantiere (es.: cortine di bolle, risonatori acustici, cofferdam) e soluzioni operative (es.: selezione attiva di strumentazioni a basso rumore o la scelta di imbarcazioni con bassi livelli di emissioni acustiche);
- quelli rivolti alle specie target presenti nella zona dei lavori, che includono il monitoraggio visivo e acustico e l'interruzione temporanea delle attività fino all'allontanamento dall'area.

Tutti i metodi possono essere combinati per ottenere un più alto grado di riduzione del rumore (Elmer *et al.*, 2007; ICF Jones & Stokes, 2009).

Misure di mitigazione per la riduzione dei livelli acustici a sorgente

Barriere a bolle d'aria

Questo metodo consiste nel creare uno strato (cortina) di bolle d'aria intorno al perimetro dell'area di interesse per inibire/attenuare la propagazione del suono nella colonna d'acqua. Le barriere a bolle d'aria possono essere non confinate o confinate. Una cortina di bolle d'aria non confinata consiste in un anello perforato o un tubo flessibile che giace sul fondo del mare.

L'aria compressa viene pompata attraverso il tubo e un flusso di bolle sale in superficie creando un vero e proprio schermo alla propagazione del rumore.

I sistemi non confinati sono relativamente poco costosi e la loro efficacia è più elevata in aree con correnti ridotte. L'attenuazione dei livelli sonori delle barriere a bolle d'aria non confinate varia considerevolmente, con valori nell'intervallo di 0-20 dB (Jiménez-Arranz *et al.*, 2020). La riduzione è generalmente più elevata per i valori *Sound Pressure Level (peak)* $L_{p,pk}$, mentre risulta meno sensibile per *Sound Pressure Level (root mean square)* $L_{p,rms}$ e *Sound Exposure Level* LE_p .



FIGURA 6-1 - ZONE CON CORTINA DI BOLLE RILASCIATA DA UN TUBO PERFORATO POGGIATO SUL FONDO (SINISTRA) E DOPPIA CORTINA DI BOLLE UTILIZZATA INTORNO AD UNA IMBARCAZIONE (A DESTRA) (FONTE: © HYDROTECHNIK LÜBECK GMBH)

Una cortina di bolle d'aria confinata utilizza tipicamente una combinazione di generatori d'aria e di rivestimento in tessuto. Ad esempio, il sistema di attenuazione sonora Gunderboom® (SAS) consiste in una barriera di tessuto a doppia parete usata in combinazione con una cortina di bolle confinata all'interno dei due strati di tessuto (Funk & Rodrigues, 2005). Il tessuto stesso agisce come un efficace attenuatore. Il sistema è abbastanza costoso, ma più efficace delle cortine a bolle d'aria non confinate soprattutto nell'attenuazione dei suoni a bassa frequenza prodotti dalle imbarcazioni (PND Engineering, 2005).

L'Hydro Sound Damper (HSD) consiste invece in una rete posta intorno al palo con piccole vesciche riempite di gas ed elementi in schiuma attaccati ad essa. Lo spettro di attenuazione della rete HSD può essere "sintonizzato" per ottenere la riduzione del rumore desiderata. I sistemi HSD sono piuttosto compatti ed economici (Bruns *et al.*, 2014).



FIGURA 6-2 - SISTEMA HSD DI 40 M DI LUNGHEZZA (FONTE: © OFFNOISE-HSD-SYSTEMS GMBH)

Le cortine a bolle d'aria confinate sembrano raggiungere livelli moderati ma coerenti di attenuazione, tra 5 e 15 dB per i valori di *Sound Pressure Level (peak)* $L_{p,pk}$, *Sound Pressure Level (root mean square)* $L_{p,rms}$ e *Sound Exposure Level* $L_{E,p}$.

Le misure presentate da Illinworth & Rodkin (2005) mostrano un'attenuazione di 5 dB per il Gunderboom®, mentre il sistema HSD risulta essere particolarmente efficace a 100-2000 Hz, con riduzioni del livello sonoro fino a 19 dB (Burns et al., 2014).

Risonatori ad aria

La società AdBm ha sviluppato tecniche che utilizzano aria incapsulata per attenuare la pressione sonora prodotta da una fonte acustica in una vasta gamma di frequenze. In particolare, i risonatori aperti (Elzinga *et al.*, 2019), che consistono in una camera quadrata riempita d'aria, con una combinazione di pareti rigide ed elastiche e un'apertura sul fondo, possono ridurre in maniera consistente i livelli di pressione

sonora (fino a 50 dB), specialmente alle basse frequenze, e possono essere adattati al fine di coprire una gamma di frequenze specifiche.

I risonatori aperti hanno alcuni vantaggi rispetto alle cortine di bolle, come una dimensione più piccola per una frequenza di risonanza equivalente, un alto fattore di qualità, e un picco secondario di assorbimento sotto la frequenza di risonanza principale.

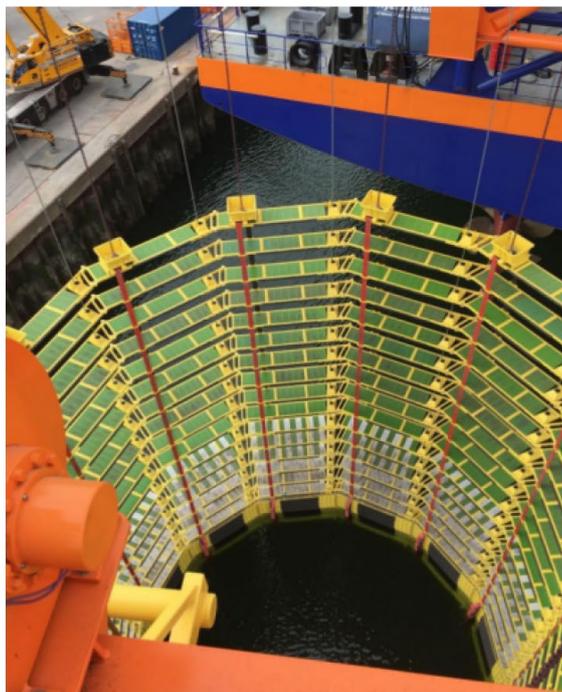


FIGURA 6-3 - ARRAY DI RISONATORI AD ARIA (FONTE: © ADBM TECHNOLOGIES)

Cofferdam.

Un “cofferdam” è un “recinto” comunemente costruito da palancole ad incastro in una area ridotta intorno al sito di lavorazione. Si tratta di costose strutture temporanee, in cui il rumore generato durante la loro installazione (normalmente con vibro infissori) si aggiunge a quello delle lavorazioni che intendono attenuare (PND Engineering, 2005).

L'acqua all'interno del “cofferdam” può essere pompata fuori e questo sembra essere il sistema di attenuazione più efficace (PND Engineering, 2005; ICF Jones & Stokes, 2009), con una riduzione del rumore pari a quello delle cortine di bolle.

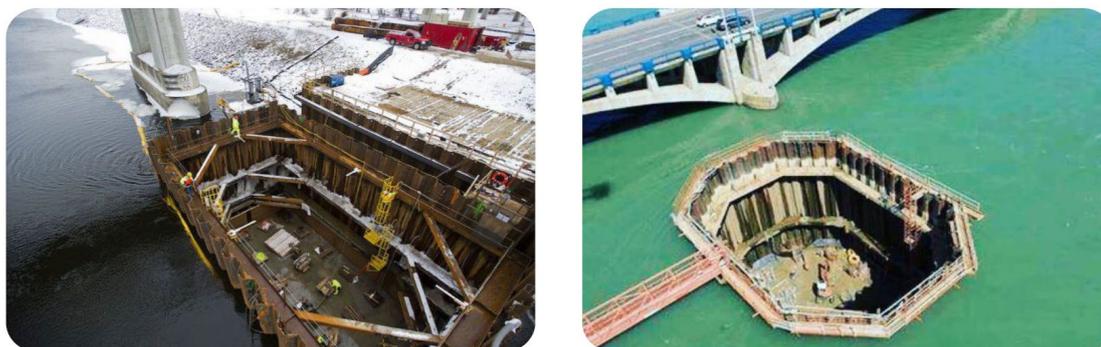


FIGURA 6-4 - ESEMPI DI COFFERDAM SENZA ACQUA (FONTE: JIMÉNEZ-ARRANZ ET AL., 2020)

Misure operative per le specie

L'esecuzione di monitoraggi acustici e visivi durante le fasi dei lavori assicura la realizzazione di misure operative di mitigazione in tempo reale.

In caso di rilevazione delle specie target (mammiferi marini o altre specie pelagiche di dimensioni apprezzabili e/o appartenenti a gruppi sistematici sottoposti a tutela) nell'area dei lavori, a seconda delle attività in corso e delle condizioni di sicurezza delle operazioni, si attuano opportune azioni di mitigazione che includono:

- il posticipo dell'avvio dei lavori in caso di presenza visiva/acustica delle specie target nella zona delle operazioni;
- l'avvio morbido (soft-start) delle operazioni, in particolare all'inizio delle attività più impattanti;
- la sospensione delle attività in caso di presenza di individui appartenenti alla specie target all'interno di una zona di esclusione (il cui raggio è definito attraverso specifiche modellazioni acustiche) intorno al sito dei lavori; le attività possono riprendere dopo almeno 30 minuti di assenza degli animali nella zona di esclusione effettuando un avvio morbido;
- il rallentamento delle attività in caso di presenza di individui appartenenti alla specie target in prossimità (ma all'esterno) della zona di esclusione intorno al sito dei lavori.

Quando è previsto l'uso di esplosivi, il primo passo per operare le opportune misure di mitigazione è determinare in anticipo, tramite modellazione acustica rispetto alle soglie delle specie target, la distanza alla quale le detonazioni potrebbero causare danni fisici o comportamentali ai mammiferi marini.

Considerando che attualmente non sono disponibili informazioni sui livelli sonori della deflagrazione delle cartucce Autostem, prima dell'inizio dei lavori di demolizione mediante esplosivi dovrà essere effettuato uno specifico campo prove per determinare gli effettivi livelli generati da questa tipologia di esplosivo a sorgente e la propagazione del rumore con la distanza.

L'esecuzione del campo prove consentirà altresì di calibrare i modelli numerici da impiegare per la progettazione ed il posizionamento delle barriere per la riduzione dei livelli acustici a sorgente e di cui in precedenza.

Queste misure dirette, e le successive modellazioni acustiche, consentiranno di definire un'adeguata estensione della zona di mitigazione durante questa attività, ovvero l'area in cui le misure di mitigazione devono essere attuate per garantire che i danni siano evitati

In linea generale, le linee guida JNCC per minimizzare il rischio di lesioni ai mammiferi marini dall'uso di esplosivi (JNCC, 2010), la zona predefinita per la mitigazione dell'osservazione dei mammiferi marini dovrebbe essere 1 Km misurato dalla sorgente, con una copertura circolare di 360 gradi. Il raggio della zona di mitigazione potrebbe essere aumentato o ridotto dal valore predefinito di 1 Km se le prove a sostegno di questo cambiamento (ottenute tramite modello) sono accettate dalle Autorità regolatorie (ISPRA e Ministero dell'Ambiente).

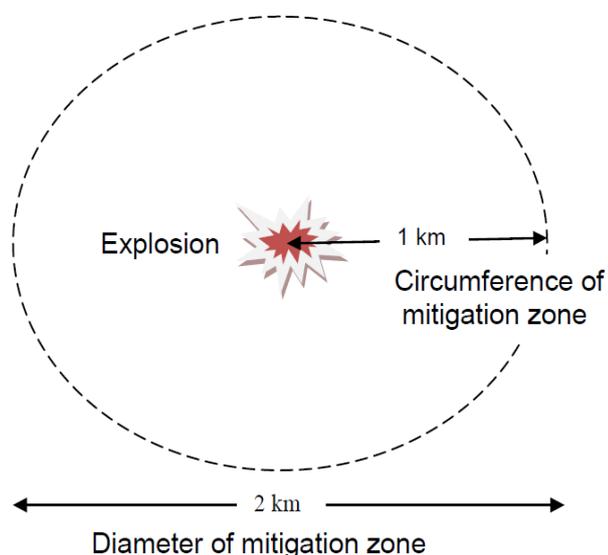


FIGURA 6-5 - ESTENSIONE DELLA ZONA DI MITIGAZIONE PER I MAMMIFERI MARINI IN CASO DI UTILIZZO DI ESPLOSIVI (FONTE: JNCC, 2010)

Specifiche misure di mitigazione in fase di pianificazione e di realizzazione per minimizzare il rischio di danni e/o disturbo ai mammiferi marini ed ai rettili marini

derivanti dal rumore generato dalle diverse fasi dei lavori, e in particolare dall'utilizzo di esplosivi includono:

- il differimento delle attività più rumorose nel periodo tardo autunno-inverno, al fine di limitare l'interferenza con le specie target nei mesi in cui la presenza nell'area è conclamata e in cui avvengono attività chiave come l'alimentazione e la riproduzione;
- l'opportuna programmazione spazio-temporale delle suddette attività per limitare impatti cumulativi/sinergici sulle specie nei periodi "critici";
- la definizione della quantità di esplosivo necessaria per l'operazione di demolizione, in modo che la quantità sia proporzionata all'attività e non eccessiva;
- la pianificazione della sequenza delle cariche esplosive multiple in modo che, ove possibile, le cariche più piccole siano fatte esplodere per prime al fine di massimizzare l'effetto "soft-start";
- l'uso di dispositivi di attenuazione acustica sul sito di detonazione prima di qualsiasi esplosione;
- l'inizio delle detonazioni solo durante le ore di luce e in buone condizioni di visibilità.

È inoltre indispensabile prevedere che le attività di demolizione inizino a valle dell'ultimazione della nuova diga foranea, consentendo in tal modo di schermare, almeno parzialmente, la propagazione verso il largo delle onde acustiche impulsive generate dall'utilizzo degli esplosivi. La sinergia tra la nuova diga e le barriere acustiche, opportunamente progettate e posizionate, può dunque condurre ad un significativo abbattimento dei rumori impulsivi conseguenti alle demolizioni

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti residui a seguito all'adozione delle previste misure di mitigazione.

TABELLA 6-2 - AGENTI FISICI. EMISSIONI SONORE IN MARE. MAMMIFERI MARINI. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE APPLICANDO LE MISURE DI MITIGAZIONE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Emissioni sonore in mare - Danni fisici o disturbo dei mammiferi marini	4	-1	2	2	2	-24	Medio

TABELLA 6-3 - AGENTI FISICI. EMISSIONI SONORE IN MARE. RETTILI MARINI. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE APPLICANDO LE MISURE DI MITIGAZIONE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Emissioni sonore in mare - Danni fisici o disturbo dei rettili marini	4	-1	2	2	2	-24	Medio

6.1.2.2 Fauna ittica

Quanto riportato al precedente Paragrafo in relazione alle mitigazioni da adottare in fase di cantiere risulta in gran parte applicabile anche alla fauna ittica.

Rimane comunque sempre essenziale disporre dei risultati delle previste attività di monitoraggio (Paragrafo 7.1.5), al fine di individuare le misure più corrette.

La letteratura scientifica o le linee guida internazionali non prevedono per la fauna ittica specifiche mitigazioni tanto che Popper *et al.* (2014) segnalano una carenza di dati scientifici sugli effetti del rumore per i pesci che possono rendere le regolamentazioni e le mitigazioni applicate prive di una reale verifica ed efficacia.

La letteratura al riguardo delle mitigazioni focalizza l'attenzione soprattutto sulle problematiche del rumore relativo alle lavorazioni con "pile driving", survey geosismici ("seismic airgun"), gli effetti di dispositivi acustici o delle esplosioni (Buehler *et al.*, 2015; Hastings *et al.*, 2008; Keevin e Hempen, 1997).

La ricchezza di specie e differenti tipologie di organi di ricezione e sensibilità non permettono di rendere specifiche e mirate le misure di mitigazione come invece può avvenire con maggiore dettaglio per i mammiferi marini.

Si ritiene che siano appropriate ed applicabili anche per la fauna ittica le misure di mitigazione già esposte al precedente Paragrafo, dopo aver messo in atto le possibili misure e tecnologie esistenti per ridurre la sorgente sonora in fase di emissione.

Nello specifico del lato a mare della diga da demolire, dove si concentra la gran parte dell'ittiofauna, è ipotizzabile l'impiego della tecnica delle barriere a bolle d'aria, per separare il tratto sottoposto a demolizione da quello ancora integro ed arretrando man mano durante il proseguo della demolizione.

Si ritiene inoltre opportuno, in tutti i casi, attivare in concomitanza delle lavorazioni più critiche sotto il profilo delle emissioni sonore, significative la tecnica del "soft start" che favorisce un allontanamento graduale dalla zona di lavoro della fauna ittica.

Tale metodica, anche se non totalmente efficace per alcune specie, prevede di utilizzare la medesima sorgente sonora per emettere suoni blandi che man mano aumentano di potenza prima dell'inizio dell'attività.

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti residui a seguito all'adozione delle previste misure di mitigazione.

TABELLA 6-4 - AGENTI FISICI. EMISSIONI SONORE IN MARE. FAUNA ITTICA. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI NELLA FASE DI CANTIERE APPLICANDO LE MISURE DI MITIGAZIONE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Emissioni sonore in mare - Disturbo della fauna ittica	1	0	1	1	3	0	Nessun effetto

6.2. Misure di gestione ambientale e mitigazione in fase di esercizio

6.2.1. Biodiversità - Avifauna

I risultati delle analisi svolte hanno mostrato impatti lievi sull'avifauna indotti dalla presenza del parco eolico.

Tuttavia, si ritiene opportuno prevedere la messa in opera di misure di mitigazione.

A tal riguardo, al fine di individuare le misure più corrette e già applicate in contesti simili, è essenziale disporre dei risultati delle previste attività di monitoraggio (Paragrafo 7.1.1), volte alla caratterizzazione sito specifica delle specie ornitiche presenti.

Tra le misure per limitare l'effetto frontale per cui le pale in rapido movimento divengono pressoché invisibili agli esemplari in avvicinamento ("motion smear"), si ricordano: l'installazione di turbine con una pala di colore contrastante rispetto alle altre e preferibilmente nera (Hodos, 2003), dipingere i generatori eolici con colori brillanti, l'impiego di pale a bande trasversali colorate e larghe almeno 20 cm, maggiormente visibili per i rapaci diurni (McIsaac, 2001), l'applicazione di vernici che riflettono le radiazioni ultraviolette, invisibili per l'uomo ma percettibili dagli uccelli (Young *et al.*, 2003), segnalatori sonori di pericolo, fermare le pale durante i periodi di intensa migrazione.

L'impiego di luci per rendere più visibili gli aerogeneratori ai migratori notturni, invece, dovrà essere attentamente verificata, in quanto ci sono evidenze che le torri illuminate possono esercitare un'attrazione nei loro confronti, soprattutto in condizioni di visibilità ridotta (Johnson, 2007).

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti residui a seguito all'adozione delle previste misure di mitigazione.

TABELLA 6-5 - BIODIVERSITÀ. AMBIENTE TERRESTRE. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI RESIDUI NELLA FASE DI ESERCIZIO APPLICANDO LE MISURE DI MITIGAZIONE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Disturbo della fauna terrestre (avifauna)	1	0	1	1	2	0	Nessun effetto

6.2.2. Acque marino costiere - Linea di costa

Le analisi modellistiche condotte in merito agli effetti delle nuove opere sulle spiagge a levante della foce del Torrente Bisagno hanno evidenziato in generale modifiche modeste.

Gli effetti più evidenti, seppure sempre di lieve entità, si sono riscontrati in corrispondenza della spiaggia compresa tra la foce e Punta Vagno di estensione 500 m, ben confinata alle estremità da opere trasversali alla costa, nella quale si è ottenuta una rotazione della linea di riva, con un modesto accrescimento a ponente a fronte di un piccolo arretramento nella parte a levante nell'ambito della spiaggia stessa.

Questa tendenza evolutiva peraltro risulta già in atto ed è fortemente condizionata da interventi effettuati in anni recenti su questo tratto di spiaggia (armature di foce del Bisagno, pennelli, apporti di materiale). La valutazione degli effetti indotti dalla sola nuova diga foranea è pertanto complessa in quanto, se effettivamente attribuibili alla diga, sono di modesta entità, e peraltro in sovrapposizione con una tendenza evolutiva analoga in atto dovuta a cause esterne o altri interventi localizzati.

Occorre peraltro evidenziato a riguardo che le analisi previsionali mediante i tradizionali strumenti modellistici sono affette da approssimazioni paragonabili ai modesti effetti in termini di modifiche morfologiche ottenute nella spiaggia d'interesse.

Le misure di mitigazione per contrastare gli effetti potrebbero eventualmente prevedere un periodico ripascimento localizzato nel tratto di ponente della spiaggia o una ridistribuzione dei sedimenti nell'ambito della stessa spiaggia trasferendo materiale da ponente (in accrescimento) a levante (in arretramento).

L'effettiva esigenza di intervento e nel caso la definizione delle modalità più adeguate e quantificazione dell'entità delle attività di ripascimento, potrà avvenire solo a valle delle

previste attività di monitoraggio sistematico del litorale a seguito della costruzione della nuova diga foranea (Paragrafo 7.2.1).

Nella Tabella seguente si riporta la sintesi della valutazione degli impatti residui a seguito all'adozione delle previste misure di mitigazione.

TABELLA 6-6 - ACQUE MARINO COSTIERE. LINEA DI COSTA. SINTESI DELLA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI RESIDUI NELLA FASE DI ESERCIZIO APPLICANDO LE MISURE DI MITIGAZIONE

Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Variazione dell'equilibrio della linea di costa	1	0	1	1	2	0	Nessun effetto

6.3. Compensazioni

Il processo di analisi e valutazione degli impatti per la fase di cantiere e di esercizio non ha messo in evidenza effetti significativi sulle componenti ambientali tali da determinare la necessità di adozione di misure di compensazione.

Si segnala che per quanto riguarda la perdita di habitat nei confronti della fauna ittica, e delle biocenosi bentoniche che colonizzano la mantellata dei tratti di diga attuale che saranno demoliti, si ritiene che, con la necessaria progressività, la struttura della nuova diga, ed in particolare le parti previste con mantellata, costituiranno di fatto una misura di compensazione in quanto potranno subire un graduale ripopolamento e permettere la ricostruzione nel tempo della comunità originaria.

6.4. Stima complessiva dell'interazione opera - ambiente a valle dell'applicazione delle misure di mitigazione e compensazione

Nei Paragrafi seguenti si riporta la stima complessiva dell'interazione opera - ambiente a valle dell'applicazione delle misure di mitigazione e compensazione.

Per semplicità di lettura le componenti oggetto di mitigazione e per le quali è variato il giudizio di impatto ambientale sono evidenziate in giallo.

6.4.1. Fase di cantiere

Componente	Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Popolazione e salute umana	Interferenze con le attività portuali	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
	Interferenze con il transito delle navi	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
Biodiversità	Disturbo della fauna terrestre (avifauna)	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
	Disturbo delle biocenosi bentoniche - Biocenosi di substrato duro	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
	Perdita di habitat - Biocenosi bentoniche di substrato duro	1	-2	3	3	2	-16	Basso (-)
	Disturbo delle biocenosi bentoniche - Biocenosi di substrato molle	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
	Modifica di habitat pregiati (fanerogame marine)	1	0	2	2	1	0	Nessun effetto
	Disturbo della fauna ittica	1	-2	3	3	3	-18	Basso (-)
	Perdita di habitat - Fauna ittica	1	-2	3	3	2	-16	Basso (-)
Suolo	Modifica della qualità dei sedimenti	1	1	3	3	2	8	Lieve (+)
Acque marino costiere	Inquinamento delle acque marino costiere	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
	Propagazione di torbidità	1	0	2	2	2	0	Nessun effetto
Aria e clima	Emissione di inquinanti in atmosfera	1	0	2	2	2	0	Nessun effetto
	Emissione di polveri in atmosfera	1	0	2	2	2	0	Nessun effetto
Sistema paesaggistico	Alterazione della percezione visiva	1	-1	2	2	2	-6	Lieve (-)
Agenti fisici	Emissioni sonore a terra	1	-1	2	2	3	-7	Lieve (-)
	Emissioni sonore in mare - Danni fisici o disturbo dei mammiferi marini	4	-1	2	2	2	-24	Medio (-)
	Emissioni sonore in mare - Danni fisici o disturbo dei rettili marini	4	-1	2	2	2	-24	Medio (-)
	Emissioni sonore in mare - Disturbo della fauna ittica	1	0	1	1	3	0	Nessun effetto

6.4.2. Fase di esercizio

Componente	Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
Popolazione e salute umana	Interferenze con le attività portuali	1	1	3	3	2	8	Lieve (+)
	Interferenze con il transito delle navi	3	3	3	3	2	56	Alto (+)
Biodiversità	Disturbo della fauna terrestre (avifauna)	1	0	1	1	2	0	Nessun effetto
	Creazione di habitat -Biocenosi bentoniche di substrato duro	1	2	3	3	2	16	Basso (+)
	Creazione di habitat - Fauna ittica	1	2	3	3	2	16	Basso (+)
Acque dolci superficiali	Variazione dell'idrodinamica delle foci e della sedimentazione nel bacino portuale	1	-1	3	3	2	-8	Lieve (-)
Acque marino costiere	Variazione della circolazione idrica	1	-1	3	3	2	8	Lieve (+)
	Variazione delle condizioni di moto ondoso all'interno del bacino	1	-1	3	3	2	-8	Lieve (-)

Componente	Effetto potenziale	A1	A2	B1	B2	B3	i	Giudizio
	portuale							
	Variazione delle condizioni di moto ondoso lungo il litorale	1	-1	3	3	2	-8	Lieve (-)
	Alterazione del trasporto solido litoraneo	1	-1	3	3	2	-8	Lieve (-)
	Variazione dell'equilibrio della linea di costa	1	0	1	1	2	0	Nessun effetto
	Variazione della capacità di ricambio idrico del bacino portuale	1	1	3	3	2	8	Lieve (+)
	Variazione del ricambio idrico portuale e influenza delle acque portuali sulle coste adiacenti	1	1	3	3	2	8	Lieve (+)
Aria e clima	Emissione di inquinanti in atmosfera	2	2	3	3	2	32	Medio (+)
Sistema paesaggistico	Alterazione della percezione visiva	2	0	3	3	2	0	Nessun effetto
Agenti fisici	Emissioni sonore a terra	1	0	3	3	3	0	Nessun effetto

7. PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE

Nel presente Capitolo sono riportate le linee guida per le attività di monitoraggio ambientale emerse come necessarie a valle dei processi di analisi degli impatti condotti per confermare le valutazioni previsionali da esse derivanti e per consentire il controllo dei parametri più critici.

La definizione in dettaglio e l'implementazione delle misure di mitigazione di cui al Capitolo precedente potranno avvenire a valle dell'analisi dei risultati delle attività di monitoraggio.

Le specifiche dettagliate di tali attività dovranno essere redatte nella successiva fase progettuale (Progetto Definitivo), quando saranno disponibili informazioni di maggiore dettaglio sull'ubicazione dei cantieri, sulle modalità realizzative e sul programma delle lavorazioni. Le specifiche dovranno essere preventivamente discusse e concordate con gli Enti competenti.

7.1. Biodiversità

7.1.1. Monitoraggio dell'avifauna

I risultati delle analisi svolte hanno mostrato che per poter calcolare in modo specifico il rischio di collisione dell'avifauna con il parco eolico per l'area in esame, e individuare in modo più preciso le eventuali azioni di mitigazione (Paragrafo 6.2.1) da mettere in atto, è necessario effettuare una caratterizzazione delle specie presenti.

A tale fine, si propone un monitoraggio *ante operam* tramite la tecnica del "visual count" (Clark, 1985) che prevede la permanenza sul campo in orari definiti nei periodi di attenzione. Il riconoscimento e la conta degli individui visibili in transito consentiranno di definire nel dettaglio l'utilizzo dell'area di intervento e delle zone circostanti da parte dell'avifauna con particolare riferimento a quella migratrice.

Vista l'estensione dell'opera in progetto saranno utilizzati in contemporanea due operatori, con comprovata esperienza in ambito avifaunistico nelle giornate di rilievo previste nei periodi indicati nella seguente Tabella.

Le osservazioni dovranno essere effettuate con l'ausilio di strumentazione ottica idonea allo scopo, come binocolo 10x e cannocchiale 60x, e presso punti individuati come ottimali per gli avvistamenti quali, ad esempio, l'esistente diga foranea da cui, data la propria conformazione, è possibile individuare le prevalenti direttrici di migrazione che possono interessare l'area prevista per l'opera in progetto.

Successivamente alla costruzione dell'opera in progetto, sarà comunque importante prevedere uno specifico piano di monitoraggio finalizzato alla raccolta di informazioni sulle eventuali collisioni delle specie ornitiche con gli impianti in funzione (fase di *post operam*).

TABELLA 7-1 - PIANO DI MONITORAGGIO PREVISTO PER L'AVIFAUNA

Categoria fenologica	Numero di uscite
Avifauna svernante	8
Avifauna nidificante	16
Avifauna migratrice	40
Numero complessivo di uscite	64

7.1.2. Monitoraggio delle biocenosi bentoniche

La biocenosi del coralligeno, presente nelle aree prossime a quelle di intervento, è di notevole valore ecosistemico, vista l'elevata biodiversità e la presenza di specie protette dalla legislazione vigente e inserite nelle liste di specie da tutelare in più Convenzioni e Direttive (Convenzione di Berna e ASPIM, DIR 92/43/CEE) (rif. Volume 02, Paragrafo 3.1.2.2).

Le comunità macrozoobentoniche dei fondi incoerenti nell'area di progetto, invece, non rappresentano elementi di pregio dal punto di vista naturalistico e conservazionistico, mentre la componente macrofitobentonica di substrato duro presenta un valore ecosistemico interessante solo in riferimento ai primi metri di profondità dei massi della mantellata della diga attuale, dove è evidenziata la presenza di alghe frondose "habitat forming" (rif. Volume 02, Paragrafo 3.1.2.2).

La valutazione della propagazione della torbidità (Paragrafo 4.7.1.2 e Allegato B), che ha tenuto conto del potenziale export di solidi sospesi in uscita dall'area portuale durante le lavorazioni in grado di risospingere i sedimenti (dragaggio in primis), tenderebbe ad escludere la possibilità di effetti significativi sulle biocenosi del coralligeno e comunità algali di substrato duro artificiale e naturale, dominate da alghe brune strutturanti (appartenenti al genere *Cystoseira*), che si trovano nelle aree di levante prossime all'area di intervento.

Tenuto conto di queste considerazioni di base, ma applicando un approccio cautelativo, è stato ritenuto opportuno predisporre una serie di controlli minimali, che consentano di monitorare lo stato di qualità dei popolamenti indicati presenti in prossimità dell'area di intervento e, nel caso, di attivare eventuali misure correttive.

Le attività saranno svolte nella fase di *ante operam* e di corso d'opera ed interesseranno le aree levante prossime a quella portuale. L'ubicazione delle stazioni di monitoraggio sarà effettuata a valle di specifiche verifiche in campo e previa condivisione con gli Enti competenti.

Per le biocenosi del coralligeno, i controlli in *ante operam* e in corso d'opera saranno effettuati seguendo le metodologie definite da ISPRA (ISPRA, 2020), al fine di delineare una procedura integrata e standardizzata per il monitoraggio e la valutazione, tramite l'applicazione di indici di qualità ecologica, dello stato di salute del coralligeno di parete presente nei primi 40 m di profondità, la fascia più esposta alle pressioni antropiche e alle alterazioni ambientali.

Per le comunità algali di substrato duro, nell'ambito dell'applicazione della DIR 2000/60/CE, ARPAL conduce da diversi anni per le coste liguri, in 26 corpi idrici, il monitoraggio secondo un protocollo definito. I controlli in *ante operam* e corso d'opera saranno effettuati seguendo le medesime metodologie, al fine di poter effettuare un raffronto ed una integrazione con i dati del monitoraggio istituzionale.

Anche per il macrozoobenthos di substrato mobile, saranno seguite le modalità del monitoraggio istituzionale e, in particolare, l'applicazione dell'indice M-AMBI nella valutazione dell'Elemento di Qualità Biologica (EQB).

7.1.3. Monitoraggio delle fanerogame marine

Le fanerogame marine sono diffusamente richiamate nelle convenzioni e protocolli interazioni per i ruoli chiave che svolgono nell'ambiente marino. Le stesse direttive europee (DIR 92/43/CEE, DIR 2000/60/CE e DIR 2008/56/CE) assegnano loro la massima importanza come elementi indicatori di livello integrato e riassuntivo delle condizioni marine.

La valutazione della propagazione della torbidità (Paragrafo 4.7.1.2 e Allegato B), che ha tenuto conto del potenziale export di solidi sospesi in uscita dall'area portuale durante le lavorazioni in grado di risospingere i sedimenti (dragaggio in primis), tenderebbe ad escludere la possibilità di effetti significativi sui popolamenti di fanerogame marine che si trovano nelle aree di levante prossime all'area di intervento, sia in termini di seppellimento e/o erosione, sia di riduzione della trasparenza dell'acqua con conseguenze negative di soffocamento e sui processi fotosintetici.

Tenuto conto di queste considerazioni di base, ma applicando un approccio cautelativo, è stato ritenuto opportuno predisporre una serie di controlli minimali, che consentano di

monitorare lo stato di qualità dei popolamenti di fanerogame prossimi all'area di intervento e, nel caso, di attivare eventuali misure correttive.

Le attività saranno svolte nella fase di *ante operam* e di corso d'opera ed interesseranno i popolamenti delle praterie a *Posidonia oceanica* e *Cymodocea nodosa* situate in località Sturla - Quarto - Quinto, incluse nella zona ZSC IT1332576 "Fondali Boccadasse", a circa 2 Km ad Est dell'area di intervento (rif. Volume 02, Paragrafo 3.1.2.2).

L'ubicazione delle stazioni di monitoraggio sarà effettuata a valle di specifiche verifiche in campo e previa condivisione con gli Enti competenti.

Tenendo conto che a livello nazionale, nell'ambito dell'applicazione della DIR 2000/60/CE, è attivo per le praterie a *Posidonia oceanica* un protocollo di monitoraggio, oramai standardizzato e adottato anche da diversi anni da ARPAL per le coste liguri in 26 corpi idrici, i controlli in *ante operam* e corso d'opera saranno effettuati seguendo le medesime metodologie. Sarà così possibile effettuare un raffronto ed una integrazione con i dati del monitoraggio istituzionale.

Nello specifico, per *Posidonia oceanica* saranno raccolti una serie di parametri necessari per il calcolo dell'indice PREI: densità fogliare, superficie fogliare per fascio, biomassa epifiti, biomassa fogliare, profondità e tipologia del limite inferiore.

Qualora non fosse possibile condurre i rilievi alla profondità prestabilita dal protocollo di 15 m, si potranno comunque rilevare i parametri standard previsti ai fini della valutazione degli impatti dell'opera nel corso degli anni e per un confronto solo parziale con i dati dei monitoraggi istituzionali.

Considerando, inoltre, che le praterie a fanerogame marine sono il substrato di elezione del mollusco bivalve *Pinna nobilis* (Borum *et al.*, 2004), specie inserita nell'allegato IV della DIR 92/43/CEE, per la quale è necessario adottare misure di rigorosa tutela, e nell'Allegato II del Protocollo SPA/BIO della Convenzione di Barcellona, si ritiene opportuno durante le attività di monitoraggio se ne verifichi la presenza, e, nel caso, sia attivata una specifica attività di monitoraggio secondo i protocolli previsti da ISPRA (2019) e Bianchi *et al.* (2004).

Allo stato attuale, la specie non è segnalata come presente nella zona ZSC di interesse ed in prossimità dell'area di cantiere.

7.1.4. Monitoraggio dei mammiferi marini e dei rettili marini

Per tutelare le specie target da eventuali impatti causati dal rumore subacqueo generato nel corso delle operazioni a mare, sarà realizzato un programma di monitoraggio acustico (rumore e presenza dei mammiferi marini) e visivo (presenza di mammiferi marini e rettili marini) durante le fasi di *ante operam*, corso d'opera e *post operam*.

Ante operam

Monitoraggio acustico. Saranno posizionati registratori acustici autonomi (“bottom recorder”) in siti chiave di campionamento (es.: interno del Porto, esterno del Porto e canyon sottomarino di Genova, testata del canyon del Torrente Polcevera e testata del canyon del Torrente Bisagno). I registratori saranno collocati almeno 12 mesi prima dell'inizio dei lavori e raccoglieranno dati acustici per 24 ore e per almeno 9 mesi (con scarico dei dati e sostituzione batterie 1 volta/mese). L'analisi successiva dei dati fornirà una “baseline” stagionale dei livelli di rumore dell'area e della “presenza” acustica delle specie, permettendo anche di modellare i possibili effetti (impatti) sui mammiferi marini.

Il rumore sarà caratterizzato attraverso la stima dei seguenti livelli (norma ISO 18405:2017):

- Sound Pressure Level (root mean square) [($L_{p,rms}$) dB re 1 μ Pa]
- Sound Pressure Level (peak) [(L_{p-pk}) dB re 1 μ Pa]
- Sound Exposure Level [($L_{E,p}$) dB re 1 μ Pa²s], stimato anche nelle bande di un terzo di ottava centrate a 63 Hz e a 125 Hz

La “presenza” acustica dei mammiferi marini sarà determinata attraverso l'identificazione dei suoni tipici emessi dalle differenti specie.

In aggiunta, potranno essere effettuati rilievi puntuali (utilizzando un mezzo dedicato) tramite idrofono calibrato omnidirezionale per stimare i livelli di rumore nel Porto (o altre aree di interesse) in condizioni specifiche (ad esempio in momenti di intenso traffico navale). L'idrofono sarà selezionato considerando le “Linee guida per il monitoraggio del rumore Sottomarino nei mari europei” (Dekeling *et al.*, 2014).

Monitoraggio visivo. Saranno effettuati rilievi visivi diurni per determinare l'eventuale presenza delle specie target nell'area nel corso dei 12 mesi antecedenti l'inizio dei lavori. Le osservazioni saranno condotte per 1 settimana/mese da qualificati operatori MMO (“Marine Mammals Observer”) e PAM (“Passive Acoustic Monitoring”) da

imbarcazione dedicata e appositamente dotata delle tecnologie/attrezzature necessarie alla corretta realizzazione del monitoraggio stesso. Saranno definiti a priori transetti lineari da seguire nel corso del monitoraggio, in modo da coprire idonee porzioni dell'area di interesse. Le osservazioni saranno condotte continuativamente dall'alba al tramonto in condizioni meteo marine favorevoli.

Corso d'opera

Monitoraggio acustico. Sarà utilizzato un idrofono omnidirezionale con cavo calato da un'imbarcazione unitamente a una sonda multiparametrica CTD per la contemporanea rilevazione dei principali parametri oceanografici (corrente, temperatura e salinità). L'idrofono sarà selezionato considerando le "Linee guida per il monitoraggio del rumore Sottomarino nei mari europei" (Dekeling *et al.*, 2014).

Il rumore sarà registrato in continuo (h 24) e sarà caratterizzato in tempo reale attraverso la stima dei livelli usati nell'acustica subacquea (norma ISO 18405:2017) (rif. attività di *ante operam*).

Il monitoraggio acustico fornirà dati in merito al rumore generato durante l'esecuzione dei lavori a mare e permetterà, in combinazione all'attività di osservazione visiva dei mammiferi marini, di determinare i possibili effetti delle attività su questa componente biologica e fornire informazioni di base per l'attuazione di misure di mitigazione in tempo reale.

Monitoraggio visivo. Ogni giorno, prima dell'avvio delle attività, sarà effettuata una ricognizione visiva con l'ausilio di binocoli (scansionando la superficie del mare a 360°), all'interno dell'area portuale di almeno 30 minuti. In caso di avvistamento, l'inizio delle attività sarà ritardato fino all'allontanamento degli individui dalla zona. Le osservazioni saranno condotte da qualificati operatori MMO ("Marine Mammals Observer") e PAM ("Passive Acoustic Monitoring") da imbarcazione dedicata e appositamente dotata delle tecnologie/attrezzature necessarie alla corretta realizzazione del monitoraggio stesso. Saranno definiti a priori transetti lineari da seguire nel corso del monitoraggio, in modo da coprire interamente la zona di mitigazione. Le osservazioni saranno condotte continuativamente dall'alba al tramonto in condizioni meteo marine favorevoli.

Post operam

Sarà replicato lo schema di monitoraggio *ante operam* per i 12 mesi successivi al completamento dei lavori. I dati ottenuti saranno confrontati al fine di stimare le variazioni dalla “baseline”.

7.1.5. Monitoraggio della fauna ittica

Il sorgitore della diga attuale rappresenta il punto più importante del sito di progetto in quanto a presenza di fauna ittica.

A dimostrazione di ciò, nell’assenza di dati quantitativi disponibili, le maggiori informazioni sulle specie esistenti sono giunte dai pescatori dilettantisti in apnea che ne frequentano massicciamente il tratto consentito (rif. Volume 02, Paragrafo 3.1.2.2).

I controlli in fase di *ante operam* dovranno essere attuati con la tecnica del “visual census”, applicata a diversi transetti posti lungo la diga, ortogonali a questa e a seguire il profilo discendente della mantellata, attenzionando le specie demersali, quelle di tana, quelle pelagiche, ma attratte dalla scogliera, ed eventualmente valutando la presenza di cefalopodi e crostacei.

Tale tecnica sarà continuamente riutilizzata anche in corso d’opera, per una serie di controlli da posizionare appropriatamente e con opportuna frequenza, lungo l’estensione lineare della diga, in ragione del proseguo delle attività di demolizione. Man mano che la struttura sarà smantellata, i controlli saranno effettuati nella parte ancora integra, al fine di definire il risentimento subito dalla fauna ittica in conseguenza del rumore prodotto dalle cariche esplosive e dalle altre lavorazioni correlate.

7.2. Acque marino costiere

7.2.1. Monitoraggio dell’evoluzione del litorale

I risultati delle analisi svolte hanno consentito di valutare gli effetti delle nuove opere sull’evoluzione morfologica del litorale ed in particolare sulle spiagge adiacenti al porto e alle nuove opere, situate a levante (Paragrafo 4.7.2.4 e Paragrafo 4.7.2.5).

In generale, non si sono riscontrate modifiche apprezzabili.

Tuttavia, attenzione deve essere posta alla spiaggia compresa tra la foce del Bisagno e Punta Vagno di lunghezza 500 m, più a ridosso delle nuove opere, nella quale si è riscontrata una rotazione della linea di riva, con un modesto accrescimento a ponente a fronte di un arretramento nella parte a levante.

Si tratta di fenomeni localizzati di entità assai modesta, peraltro già in atto nell’ultimo decennio, difficilmente quantificabili quanto a effetti indotti dalla sola nuova diga

considerati gli interventi antropici realizzati negli anni in questa spiaggia. Occorre anche evidenziare che le analisi previsionali mediante i tradizionali strumenti modellistici sono affette da approssimazioni paragonabili ai modesti effetti ottenuti nella spiaggia d'interesse.

Stante tale situazione di complessa valutazione degli effetti, sarà eseguita un'attività sistematica di monitoraggio del litorale, per verificare l'evoluzione della costa su scala locale, nella spiaggia in particolare tra Punta Vagno e la foce del Bisagno, al fine di predisporre eventuali misure di mitigazione.

Il monitoraggio dovrà essere effettuato secondo quanto stabilito nella Deliberazione della Giunta Regionale Ligure n° 1793 del 30 Dicembre 2005 "Criteri generali per il monitoraggio delle opere di difesa della costa e degli abitati costieri e di ripascimento degli arenili".

I dati raccolti in ciascuna campagna di rilievi saranno validati ed elaborati al fine di ricostruire la tendenza evolutiva del litorale e, dunque, gli effetti delle nuove opere.

Il monitoraggio del litorale che interesserà le spiagge esistenti nel tratto di costa a levante della foce del Bisagno per uno sviluppo di 2,5 km (si veda la Figura seguente), dovrà dunque essere avviato dall'inizio dei lavori di costruzione della nuova diga e protrarsi per almeno 5 anni dopo la fine dei lavori.



FIGURA 7-1 - SPIAGGE A LEVANTE INTERESSATE DAL MONITORAGGIO

Si fa notare che secondo il programma temporale previsto nei documenti progettuali, la costruzione delle opere interesserà un periodo di 7 anni (5 anni per la fase a di costruzione + 2 anni per la fase b di costruzione).

Il rilievo della linea di costa sarà effettuato prima dell'inizio della costruzione (*ante operam*) e per 5 anni dopo la fine della costruzione delle opere (*post operam*), con cadenza annuale alla fine della stagione invernale.

Il rilievo topografico della spiaggia emersa, il rilievo batimetrico della spiaggia sommersa ed il rilievo sedimentologico, sarà eseguito prima dell'inizio della costruzione dell'opera (*ante operam*) e nel primo anno dopo la fine della costruzione delle opere (*post operam*).

Nel caso il rilievo della linea di costa di *post operam* dovesse mostrare significative differenze rispetto allo stato attuale, il rilievo topografico, batimetrico e sedimentologico in fase di *post operam* sarà esteso a 5 anni, con cadenza annuale.

Sarà competenza dell'AdSP di concerto con il Settore Ecosistema Marino della Regione Liguria, esaminata l'evoluzione della linea di costa, valutare l'effettiva necessità di estendere il periodo di esecuzione di tali rilievi.

Durante la costruzione delle opere, sarà valutata dall'AdSP anche la necessità di effettuare, alla fine dell'inverno (prima degli interventi di sistemazione delle spiagge) o a seguito di eventi meteomarini di particolare intensità, un controllo della linea di riva nel tratto di litorale d'interesse.

Nel periodo in cui saranno eseguiti i rilievi sul litorale, saranno acquisiti i dati di moto ondoso (altezza, periodo e direzione dell'onda), e, nel caso del rilievo di *ante operam*, includendo anche l'anno precedente.

Si farà riferimento alle "time series" ricostruite con modello previsionale (altezza d'onda significativa, direzione e periodo) che saranno acquisite presso il centro del DICCA per il punto al largo in cui sono state effettuate le elaborazioni in fase di progetto.

I dati di moto ondoso raccolti saranno elaborati al fine di estrarre le caratteristiche (intensità e direzione) delle mareggiate più significative verificatesi nel periodo precedente la data dei rilievi sul litorale. Con i dati di moto ondoso raccolti ogni anno verrà estesa la serie storica utilizzata per il progetto delle nuove opere e verrà aggiornato il clima di moto ondoso e la statistica degli estremi direzionali. Questa analisi potrà consentire di caratterizzare la significatività delle condizioni meteomarine nel periodo

precedente la data dei rilievi sul litorale, rispetto alle condizioni medie valutate sulla base dell'intera serie storica, e pertanto di esaminare l'evoluzione del litorale in un determinato periodo oggetto del monitoraggio con riferimento alle condizioni meteomarine occorse.

I dati e le informazioni ottenute dalle attività di campo sul litorale saranno accuratamente esaminati, validati e resi in un formato tale da poter essere utilizzate per definire le tendenze evolutive del litorale d'interesse e individuare eventuali effetti delle nuove opere.

Saranno messe a confronto le linee di riva rilevate nei vari anni evidenziando i ratei di avanzamento/arretramento e di conseguenza i valori di ampiezza di spiaggia.

Anche gli eventuali rilievi topografici della spiaggia emersa e batimetrici della sommersa, laddove eseguiti, saranno messi a confronto e sarà valutata l'evoluzione del volume di spiaggia per tratti significativi di litorale.

Le informazioni relative alle eventuali campagne sedimentologiche saranno elaborate per definire le variazioni in termini spaziali delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti della spiaggia emersa e sommersa.

Le suddette analisi consentiranno di valutare gli effetti delle nuove opere mettendo a confronto:

- l'evoluzione del litorale nel periodo precedente alla costruzione delle nuove opere, ottenuta sulla base delle informazioni/rilievi storici disponibili relativamente allo stato di fatto delle opere;
- l'evoluzione del litorale nel periodo durante e successivo alla costruzione delle nuove opere, ottenuta sulla base delle informazioni/dati del piano di monitoraggio.

I risultati delle analisi saranno discussi tra l'AdSP e Settore Ecosistema Marino della Regione Liguria, al fine di individuare congiuntamente gli eventuali effetti evolutivi del litorale imputabili alle nuove opere ed il connesso piano di manutenzione da porre a carico delle stesse, restando esclusiva competenza dell'AdSP la realizzazione degli interventi di mitigazione individuati.

7.2.2. Monitoraggio della torbidità

Con riferimento ai risultati dello studio condotto relativo alla propagazione della torbidità (Paragrafo 4.7.1.2 ed Allegato A), il monitoraggio della torbidità dovrà essere effettuato in modo tale da controllare la concentrazione dei solidi risospesi sia nelle aree

oggetto delle lavorazioni (consolidamento dei fondali con colonne in ghiaia, rimozione dello scanno di imbasamento della diga attuale, dragaggio del bacino di Sampierdarena e dell'Avamporto), sia in prossimità delle aree sensibili posti a levante dell'attuale imboccatura portuale.

Saranno preferibilmente utilizzate sonde multi-parametriche in grado di rendere disponibili i dati con continuità e in tempo reale.

Le sonde multi-parametriche dovranno misurare oltre che la concentrazione dei sedimenti risospesi a varie quote anche il profilo verticale della direzione e dell'intensità della corrente.

In aggiunta alle sonde, sarà predisposta l'esecuzione di misure di concentrazione dei solidi risospesi, con strumenti mobili impiegabili da natanti.

Sarà inoltre necessario eseguire mediante una stazione meteorologica, la misura dei parametri atmosferici principali (vento, pressione atmosferica, precipitazioni, temperatura dell'aria e dell'acqua). La stazione meteorologica andrà posizionata in una zona rappresentativa dell'area di intervento, ad esempio in corrispondenza della porzione più orientale dell'attuale diga che non sarà oggetto di rimozione.

Le attività di *ante operam* dovranno avere una durata sufficiente per definire il "bianco" di riferimento, utilizzando la medesima metodologia e strumentazione, sopra sintetizzata, prevista per la fase di corso d'opera.

In particolare, dovranno essere interessate dall'attività di *ante operam* le aree sensibili posti a Levante dell'attuale imboccatura e le zone interne al bacino portuale oggetto di dragaggio.

I risultati delle attività di *ante operam* consentiranno di pianificare i dettagli operativi (tempistiche, modalità, definizione dei valori soglia, ecc.) cui fare riferimento nella fase di corso d'opera.

7.3. Agenti fisici - Emissioni sonore in mare

Per tale attività di monitoraggio si rimanda al precedente Paragrafo 7.1.2.

8. BIBLIOGRAFIA E FONTI CONSULTATE

A.A.V.V. 2010 - MORUS – Progetto Uccelli Marini. Bollettino n.3, giugno 2010.

AAVV, Colombo '92: la città, il porto, l'esposizione – Quaderni di Mostrare, Edizioni Lybra Immagine, Milano, 1992

Aguilar A., Gaspari S. 2012. *Stenella coeruleoalba* (Mediterranean subpopulation). The IUCN Red List of Threatened Species 2012: e.T20731A2773889.

Albertelli G., Harriague A., Danovaro R., Fabiano M., Frascchetti S., Pusceddu A., 1999. Differential responses of bacteria, meiofauna and macrofauna in a shelf area (Ligurian Sea, NW Mediterranean): Role of food availability. *Journal of Sea Research*, 42: 11-26. DOI: 10.1016/S1385-1101(99)00012-X.

Anderson R.L., Strickland D., Tom J., Neumann N., Erickson W., Cleckler J., Mayorga G., Nuhn G., Leuders A., Schneider J., Backus L., Becker P. & Flagg N., 2000 - Avian monitoring and risk assessment at Tehachapi Pass and San Geronio Pass wind resource areas, California: Phase 1 preliminary results. *Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning Meeting* 3:31-46. National Wind Coordinating Committee, Washington, D.C.

Annalisa Maniglio Calcagno. *Architettura del Paesaggio. Evoluzione storica*, Franco Angeli, Milano 2006

Anton I.A., Panaitescu M., Panaitescu F.V. & Ghita S., 2019 - Impact of coastal protection systems on marine ecosystems. *EENVIRO 2018 – Sustainable Solutions for Energy and Environment*, 85.

Aria Technologies (2010): *Swift General Design Manual*. ARIA Report, March 2010, Aria Technologies 2001

ARIANET (2015): *SURFPro3 (SURrface-atmosphere interFace PROcessor, Version 3) Reference guide*. <http://95.228.102.186/trac/SURFPro>

Azzola A., Bavestrello G., Bertolino M., Nike Bianchi C., Bo M., Enrichetti F., Morri C., Oprandi A., Toma M., Montefalcone M., 2021. You cannot conserve a species that has not been found: the case of the marine sponge *Axinella polypoides* in Liguria, Italy. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. DOI: 10.1002/aqc.3492

Baccetti N., Fracasso G. & Commissione Ornitologica Italiana., 2021 – *Lista CISO-COI 2020 degli Uccelli italiani*. *Avocetta*, 45.

Baghino L., Borgo E., Bottero M., Galli L. & Valfiorito R., 2012 - Check-list degli uccelli di Liguria. *Rivista Italiana di Ornitologia*, 81 (1): 15-42.

Bald J., Borja A., Muxika I., Franco J., Valencia V., 2005. Assessing reference conditions and physico-chemical status according to the European Water Framework Directive: a case-study from the Basque Country (Northern Spain). *Marine Pollution Bulletin*, 50: 1508–1522.

Balduzzi A., Bavestrello G., Belloni S., Boero F., Cattaneo R., Pansini M., Pronzato R., 1984. Valutazione dello stato di alcune praterie di Posidonia del mare ligure sottoposte a diverse condizioni di inquinamento. In: *International Workshop Posidonia oceanica beds. GIS Posidonie publ.*, 1: 73-78.

Ballesteros E., Torras X., Pinedo S, García M., Mangialajo L., Torres de M., 2007. A new methodology based on littoral community cartography for the implementation of the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 55: 172-180.

Bearzi G. 2012. *Delphinus delphis* (Mediterranean subpopulation). The IUCN Red List of Threatened Species 2012: e.T134817215A195829089.

Bearzi G., Fortuna C., Reeves R. 2012. *Tursiops truncatus* (Mediterranean subpopulation). The IUCN Red List of Threatened Species 2012: e.T22563A2782611.

Becker J.H., van Eekelen E., van Wiechen J., De Lange W., Damsma T., Smolders T., van Koningsveld M. (2015). Estimating source terms for far field dredge plume modelling. *J. Environ. Manag.*, 149, 282–293.

Bertolini S., Borsani J.F., Curcuruto S., De Rinaldis L., Farchi C., 2012. Valutazione e mitigazione dell’impatto acustico dovuto alle prospezioni geofisiche nei mari italiani. *ISPRA Rapporto Tecnico*, 1-37 pp.

Bertrand J., Gil de Sola L., Papakonstantinou C., Relini G., Souplet A., 2000. Contribution on the distribution of Elasmobranchs in the Mediterranean (from the MEDITS surveys). *Biologia Marina Mediterranea*, 7 (1), 385–399.

Betti F., Bo M., Bava S., Faimali M., Bavestrello G., 2018. Shallow-water sea fans: the exceptional assemblage of *Leptogorgia sarmentosa* (Anthozoa: Gorgoniidae) in the Genoa harbour (Ligurian Sea). *The European Zoological Journal*, 85: 291-299. DOI: 10.1080/24750263.2018.1494219.

Bianchi C. N., Azzola A., Bertolino M., Betti F., Bo M., Cattaneo-Vietti R., Cocito S., Montefalcone M., Morri C., Oprandi A., Peirano A., Bavestrello G., 2019.

Consequences of the marine climate and ecosystem shift of the 1980-90s on the Ligurian Sea biodiversity (NW Mediterranean), *The European Zoological Journal*, 86(1): 458-487.

Bianchi C.N., Caroli F., Guidetti P., Morri C., 2017. Seawater warming at the northern reach for southern species: Gulf of Genoa, NW Mediterranean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98: 1-12. DOI: 10.1017/S0025315417000819.

Bianchi C.N., Caroli F., Guidetti P., Morri C., 2018. Seawater warming at the northern reach for southern species: Gulf of Genoa, NW Mediterranean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98(1): 1–12.

Bianchi C.N., Morri C., 2000. Marine biodiversity of the Mediterranean Sea: situation, problems and prospects for future research. *Marine Pollution Bulletin* 40 (5): 367–376.

Bianchi C.N., Peirano A., 1995. Atlante delle fanerogame marine della Liguria: *Posidonia oceanica* e *Cymodocea nodosa*. La Spezia: ENEA. Centro Ricerche Ambiente Marino.

Bianchi C.N., Pronzato R., Cattaneo-Vietti R., Benedetti Cecchi L., Morri C., Pansini M., Chemello R., Milazzo M., Frascchetti S., Terlizzi A., Peirano A., Salvati E., Benzoni F., Calcinai B., Cerrano C., Bavestrello G., 2004. Hard bottoms. *Biologia Marina Mediterranea* 11(suppl. 1), 185-215.

Borgo E., Galli L., Galuppo C., Maranini N. & Spanò S., (Cur.) 2005 - Atlante ornitologico della città di Genova. *Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova*, 69-70: 1-317.

Borja A., Franco J., Pérez V., 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*, 40: 1100–1114.

Borsani J.F., Farchi C. 2011a. Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne. Parte I. ISPRA Rapporto Tecnico.

Borsani J.F., Farchi C. 2011b. Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne. Parte II. ISPRA Rapporto Tecnico.

Borum J., Duarte C.M., Krause-Jensen D., Greve T.M., 2004. *European Seagrasses: An Introduction to Monitoring and Management (The M&MS Project, Copenhagen)*. Pp.95.

- Bregman A.S. 1994. Auditory Scene Analysis: The Perceptual Organization of Sound. Cambridge, MA: MIT Press.
- Bruns B., Kuhn C., Stein P., Gettermann J., Elmer K.H. 2014. The new noise mitigation system 'Hydro Sound Dampers': history of development with several hydro sound and vibration measurements. In Inter-Noise 2014, 16-19 November, Melbourne, Australia.
- Buck B.M., Chalfant D.A. 1972. Deep water narrowband radiated noise measurement of merchant ships. Delco TR 72-28. Santa Barbara, California: Delco Electronics. 30 pp.
- Buehler D., Oestman R., Reyff J., Pommerenck K., Mitchell B. 2015. Technical Guidance for Assessment and Mitigation of the Hydroacoustic Effects of Pile Driving on Fish. California Department of Transportation, CALTRANS Technical Report No. CTHWANP-RT-15-306.01.01. 532 pp.
- Buehler D., Oestman R., Reyff J., Pommerenck K., Mitchell B. 2015. Technical Guidance for Assessment and Mitigation of the Hydroacoustic Effects of Pile Driving on Fish. California Department of Transportation, CALTRANS Technical Report No. CTHWANP-RT-15-306.01.01. 532 pp. Disponibile online: <https://tethys.pnnl.gov/sites/>
- Burgos-Juan E., Montefalcone M., Ferrari M., Morri C., Bianchi C.N., 2016. A century of change in seagrass meadows of Liguria. Biol. Mar. Mediterr., 23 (1): 78-81.
- Cañadas A. 2012. *Globicephala melas* (Mediterranean subpopulation). The IUCN Red List of Threatened Species 2012: e.T16376479A16376495.
- Cañadas A. 2012. *Ziphius cavirostris* (Mediterranean subpopulation). The IUCN Red List of Threatened Species 2012: e.T23211A2785108.
- Cánovas Molina A., Montefalcone M., Canessa M., Coppo S., Diviacco G., Morri C., Ferrari M., Cerrano C., Armstrong R., Bianchi C., Bavestrello G., 2014. Coralligenous reefs in Liguria: distribution and characterization. Conference: 2nd Mediterranean Symposium on the Conservation of coralligenous and other calcareous bioconcretions.
- Cánovas Molina A., Montefalcone M., Vassallo P., Morri C., Nike Bianchi C., Bavestrello G., 2016. Combining literature review, acoustic mapping and in situ observations: an overview of coralligenous assemblages in Liguria (NW Mediterranean Sea). Scientia Marina, 80(1), 7-16.
- Carson D.J. (1973): The development of a dry inversion-capped convectively unstable boundary layer, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 99, 450-467.

Casale P., Margaritoulis D. 2010. Sea turtles in the Mediterranean: distribution, threats and conservation priorities. Gland, Switzerland, IUCN. 294 pp.

Casale P., Nicolosi P., Freggi D., Turchetto M., Argano R. 2003. Leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) in Italy and in the Mediterranean basin. Herpetological Journal, 13: 135-139.

Casale P., Tucker A.D. 2015. *Caretta caretta*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e. T3897A83157651.

Cattaneo-Vietti R., Albertelli G., Aliani S., Bava S., Bavestrello G., Benedetti Cecchi L., Bianchi C.N., Bozzo E., Capello M., Castellano M., Cerrano C., Chiantore M., Corradi N., Cocito S., Cutroneo L., Diviaco G., Fabiano M., Faimali M., Ferrari M., Gasparini G.P., Locritani M., Mangialajo L., Marin V., Moreno M., Morri C., Orsi Relini L., Pane L., Paoli C., Petrillo M., Povero P., Pronzato R., Relini G., Santangelo G., Tucci S., Tunesi L., Vacchi M., Vassallo P., Vezzulli L., Wurtz M. 2010. The Ligurian Sea: present status, problems and perspectives. Chemistry and Ecology 6(S1), 319–340.

CBD. 2020. Anthropogenic Underwater Noise: Impacts on Marine and Coastal Biodiversity and Habitats, and Mitigation and Management Measures. Technical Series Draft.

Chang Y.-C., Zhang X. 2021. Legal Issues Concerning the Impact of Anthropogenic Underwater Noise in the Marine Environment. Sustainability, 13: 4612.

Chefaoui R.M., Duarte C.M., Serrão E.A., 2018. Dramatic loss of seagrass habitat under projected climate change in the Mediterranean Sea. Global Change Biology 24: 4919–4928.

Chevallier D., Handrich Y., Georges, J. Y., Baillon F., Brossault P., Aurouet A., & Massemin S., 2010. Influence of weather conditions on the flight of migrating black storks. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 277 (1695): 2755-2764.

Clark W. S., 1985 - Techniques and methodology used to study raptor migration - ICBP Technical Publication, 5:229-236.

Collins M. (1995). Dredging Induced Near Field Resuspended Sediment Concentration and Source Strengths. US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, pp. 232.

Costanza R., D'arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K. Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., Van Den Belt M., 1987. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253–260.

Covazzi Harriague A., Bianchi C.N., Albertelli G., 2006. Soft-bottom macrobenthic community composition and biomass in a *Posidonia oceanica* meadow in the Ligurian Sea (NW Mediterranean). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 70: 251-258.

Covazzi Harriague A., Misic C., Petrillo M., Albertelli G., 2007. Stressors affecting the macrobenthic community in Rapallo Harbour (Ligurian Sea, Italy). *Scientia Marina*, 71: 705-714.

CSA Ocean Sciences Inc. 2013. Quieting Technologies for reducing noise during seismic surveying and pile driving. Information Synthesis. BOEM. 53 pp.

Davies C.E., Moss D., Hill M., 2004. EUNIS habitat classification. Report to the european topic centre on nature protection and biodiversity. Paris for European Environment Agency. Pp. 310.

De Lucas M., Janss G. F. & Ferrer M., 2004 - The effects of a wind farm on birds in a migration point: the Strait of Gibraltar. *Biodiversity & Conservation*, 13 (2): 395-407.

default/files/publications/Caltrans_2009_Guidance_Manual_for_noise_effects_on_fish.pdf.

Dekeling R.P.A., Tasker M.L., Van der Graaf A. J., Ainslie M. A., Andersson M. H., André M., Borsani J. F., Brensing K., Castellote M., Cronin D., Dalen J., Folegot T., Leaper R., Pajala J., Redman P., Robinson S. P., Sigray P., Sutton G., Thomsen F., Werner S., Wittekind D., Young J. V. 2014. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas Part I, Part II e Part III. EUR, Scientific and Technical Research series, ISSN 1831-9424, ISBN 978-92-79-36339-9.

Demicheli F., Rossi A. & Spanò S., 2015 - A forty-year (1968-2009) avian survey at Genoa Airport. *Boll. Mus. Ist. Biol. Univ. Genova*, 77.

DeRuiter S.L., Doukara R.L. 2012. Loggerhead turtles dive in response to airgun sound exposure. *Endangered Species Research*, 16: 55–63.

Di Risio, M., Pasquali, D., Lisi, I., Romano, A., Gabellini, M., & De Girolamo, P. (2017). An analytical model for preliminary assessment of dredging-induced sediment plume of far-field evolution for spatial non homogeneous and time varying resuspension sources. *Coastal Engineering*, 127, 106-118.

- Diviacco G., Coppo S., 2006. Atlante degli Habitat Marini della Liguria. Regione Liguria, Genova.
- Diviacco G., Coppo S., 2009. Atlante degli Habitat Marini della Liguria. Regione Liguria, Genova.
- Diviacco G., Coppo S., 2020. Nuovo atlante degli Habitat Marini della Liguria. Regione Liguria, Genova.
- Duarte C.M., 2002. The future of seagrass meadows. *Environ. Conserv.* 29, 192-206.
- Duarte C.M., Cebrián J. 1996. The fate of marine autotrophic production. *Limnol. Oceanogr.*, 41: 1758–1766.
- Ellison W.T., Southall B.L., Clark C.W., Frankel A.S. 2011. A new context-based approach to assess marine mammal behavioural responses to anthropogenic sounds. *Conservation Biology*, 26(1): 21-28. doi: 10.1111/j.1523-1739.2011.01803.x.
- EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019 - Technical Guidance to Prepare National Emission Inventories
- Enrichetti F., Dominguez-Carrió C., Toma M., Bavestrello G., Betti F., Canese S., MarBo M., 2019. Megabenthic communities of the Ligurian deep continental shelf and shelf break (NW Mediterranean Sea). *PLoS One*, 14(10): e0223949. DOI: 10.1371/journal.pone.0223949
- Erbe C. 2011. *Underwater Acoustics: Noise and the Effects on Marine Mammals*, A Pocket Handbook, 3rd ed. Brisbane, Australia: JASCO Applied Sciences.
- Finardi S., Tinarelli G., Faggian P. and Brusasca G. (1998): Evaluation of Different Wind Field Modeling Techniques for Wind Energy Applications Over Complex Topography, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74-76, 283-294, 1998
- Finneran J.J., Henderson E.E., Houser D.S., Jenkins K., Kotecki S., Mulsow J. 2017. Criteria and Thresholds for U.S. Navy Acoustic and Explosive Effects Analysis (Phase III). Technical report by Space and Naval Warfare Systems Center Pacific (SSC Pacific). 183 pp.
- Gaspari S., Natoli A. 2012. *Grampus griseus* (Mediterranean subpopulation). The IUCN Red List of Threatened Species 2012: e.T9461A3151471

- Gatti G., Montefalcone M., Rovere A., Parravicini V., Morri C., Albertelli G., Bianchi C.N., 2012. Seafloor integrity down the harbor waterfront: The coralligenous shoals off
- Gnone, G., Bellingeri, M., Dhermain, F., Dupraz, F., Nuti, S., Bedocchi, D., Moulins, A., Rosso, M., Alessi, J., McCrea, R.S., Azzellino, A., Airoidi, S., Portunato, N., Laran, S., David, L., Di Meglio, N., Bonelli, P., Montesi, G., Trucchi, R., Fossa, F. and Wurtz, M. (2011). Distribution, abundance, and movements of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Pelagos Sanctuary MPA (north-west Mediterranean Sea). *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.*, 21: 372-388
- Götz T., Hastie G., Hatch L., Raustein O., Southall B., Tasker M., Thomsen F., Campbell J., Fredheim B. 2009. Overview Of The Impacts Of Anthropogenic Underwater Sound In The Marine Environment. Report by OSPAR Commission.
- Graziella Pellicci, Genova Nuova, Edizioni Colombo, Genova, 1992
- Hastings M.C., Reid C.A., Grebe C.C., Hearn R.L., Colman J.G. 2008. The effects of seismic airgun noise on the hearing sensitivity of tropical reef fishes at Scott Reef, Western Australia. Underwater noise measurement, impact and mitigation. *Proc Inst Acoust* 30(5).
- Helal M., Huang H., Fathallah E., Wang D., Mokbel El Shafey M., Ali M.A.E.M. 2019. Numerical Analysis and Dynamic Response of Optimized Composite Cross Elliptical Pressure Hull Subject to Non-Contact Underwater Blast Loading. *Applied Sciences*, 9(17): 3489.
- Hildebrand J. 2005. Impacts of anthropogenic sound. – In: Reynolds J.E. et al. (eds.), *Marine mammal research: conservation beyond crisis*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, pp. 101-124.
- Hildebrand J.A. 2009. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 395: 4-20.
- Holtslag A.A.M., van Ulden A.P. (1983): *Scaling the Atmospheric Boundary Layer*, *Boundary Layer Meteorology*, 36, 201-209
- INFN. 2017. Controllo e riduzione del rumore antropogenico nei Mari Italiani e mitigazione dei suoi effetti. Report del workshop “Il rumore acustico e il suo impatto sui cetacei” Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – Laboratori Nazionali del Sud, 21 Aprile 2017.

ISO 18405:2017. Underwater acoustics - Terminology, International Organization for Standardization (ISO, Geneva, Switzerland).

ISPRA, 2008. Quaderno Metodologico sull'elemento biologico MACROALGHE e sul calcolo dello stato ecologico secondo la metodologia CARLIT. Mangialajo L., Sartoni G., Giovanardi F. (ed.).

ISPRA, 2012. Elemento di Qualità Biologica Angiosperme - Scheda metodologica ISPRA per il calcolo dello stato ecologico secondo la metodologia PREI. Aggiornamento. Procedure di campionamento per la raccolta dati.

ISPRA, 2019. Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE e Direttiva 09/147/CE) in Italia: ambiente marino. La Mesa G., Paglialonga A., Tunesi L. (ed.). Serie Manuali e linee guida, 190/2019.

ISPRA, 2020. Monitoraggio e valutazione dello stato ecologico dell'habitat a coralligeno. Il coralligeno di parete. Gennaro P., Piazzini L., Cecchi E., Montefalcone M., Morri C., Bianchi C.N. ISPRA, Manuali e Linee Guida n.191/2020.

ISPRA. 2012. Valutazione Iniziale Sottoregione Mediterraneo Specie Rettili Marini. Strategia Marina, 10 maggio 2012. 11 pp.

IUCN-MMPATF. 2017. North-West Mediterranean Sea, Slope and Canyon system IMMA Factsheet. IUCN Joint SSC/WCPA Marine Mammal Protected Areas Task Force, 2017.

Jiménez-Arranz G., Banda N., Cook S., Wyatt R. 2020. Review on Existing Data on Underwater Sounds from Pile Driving Activities. A report prepared by Seiche Ltd for the Joint Industry Programme (JIP) on E&P Sound and Marine Life. 82 pp.

JNCC. 2010. JNCC guidelines for minimising the risk of injury to marine mammals from using explosives. 10 pp.

Johnson G.D., Erickson W.P., Strickland M.D., Shepherd M.F. & Shepherd D.A., 2000 - Avian Monitoring Studies at the Buffalo Ridge Wind Resource Area, Minnesota: Results of a 4-year study. Technical report prepared for Northern States Power Co., Minneapolis, MN. Pp:212.

Keevin T.M., Hemen G.L. 1997. The environmental effects of underwater explosions with methods to mitigate impacts. US Army Corps of Engineers, St Louis District, St. Louis, Mo. Pp.99. (<https://semspub.epa.gov/work/01/550560.pdf>)

Koessler M.W., Welch S., McPherson C.R. 2020. Learmonth Pipeline Bundle Fabrication Facility: Assessment of Marine Fauna Underwater Sound Exposures. Document 01998, Version 1.0. Technical report by JASCO Applied Sciences for MBS Environmental.

Lauriano G., Panigada S., Casale P., Pierantonio N., Donovan G.P. 2011. Aerial survey abundance estimates of the loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*) in the Pelagos Sanctuary, Northwestern Mediterranean Sea. Marine Ecology Progress Series, 437: 291-302.

Lavender A.L., Bartol S.M., Bartol I.K. 2014. Ontogenetic investigation of underwater hearing capabilities in loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) using a dual testing approach. The Journal of Experimental Biology, 217: 2580-2589.

Leaper R., Renilson M. 2012. A review of practical methods for reducing underwater noise pollution from large commercial vessels. International Journal of Maritime Engineering, 154: A79-A88.

Li.Bi.Oss. <http://www.banchedati.ambienteinliguria.it/index.php/natura/biodiversita>.

Lisi I., Feola A., Bruschi A., Di Risio M., Pedroncini A., Pasquali D., Romano E. (2017). La modellistica matematica nella valutazione degli aspetti fisici legati alla movimentazione dei sedimenti in aree marino-costiere. Manuali e Linee Guida ISPRA, 169/2017

Lisi, I., Di Risio, M., De Girolamo, P., Gabellini, M. (2016). Engineering tools for the estimation of dredging-induced sediment resuspension and coastal environmental management. Applied Studies of Coastal and Marine Environment, 55-83.

Lv, X., Liu, B., Yuan, D., Feng, H., & Teo, F. Y. (2016). Random walk method for modeling water exchange: An application to coastal zone environmental management. Journal of hydro-environment research, 13, 66-75.

Miles P.R., Malme C.I., Richardson W.J. 1987. Prediction of drilling site-specific interaction of industrial acoustic stimuli and endangered whales in the Alaskan Beaufort Sea. OCS Study MMS 87-0084. BBN Report No. 6509. BBN Inc., Cambridge, Massachusetts. 341 pp.

MMO. 2015. Modelled Mapping of Continuous Underwater Noise Generated by Activities. A report produced for the Marine Management Organisation, Technical Annex, pp 43. MMO Project No: 1097. ISBN: 978-1-909452-87-9.

NMFS - National Marine Fisheries Service (US). 2014. Marine Mammals: Interim Sound Threshold Guidance (webpage). National Marine Fisheries Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce.

NMFS - National Marine Fisheries Service (US). 2018. Revision to: Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing (Version 2.0): Underwater Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. US Department of Commerce, NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-59. 167 pp.

Notarbartolo di Sciara, G., Frantzi, A., Bearzi, G., Reeves, R. 2012. *Physeter macrocephalus* (Mediterranean subpopulation). The IUCN Red List of Threatened Species 2012: e.T16370739A16370477.

Orloff S. & Flannery A., 1992 - Wind turbine effects on avian activity, habitat use, and mortality in Altamont Pass and Solano County wind resource areas. Prepared by BioSystems Analysis, Inc. Tiburon, California. Prepared for the California Energy Commission, Sacramento. Grant: 990- 89-003. Pp:150.

Pace DS, Tizzi R, Mussi B (2015). Cetaceans Value and Conservation in the Mediterranean Sea. J Biodivers Endanger Species, S1:004

Panigada, S., Notarbartolo di Sciara, G. 2012). *Balaenoptera physalus* (Mediterranean subpopulation). The IUCN Red List of Threatened Species 2012: e.T2478A2787161

Pendoley K. 1997. Sea turtles and management of marine seismic programs in Western Australia. Petrol. Expl. Soc. Austral. J., 25: 8-16.

Percival S. M., 2007 - Predicting the effects of wind farms on birds in the UK: the development of an objective assessment method. Chap. 7. In: De Lucas M., Janss G.F.E. & Ferrer M., - Birds and Wind Farms. Quercus/Libreria Linneo, Spagna: 137-152.

Pielke R.A., Cotton W.R., Walko R.L., Tremback C.J., Lyons W.A., Grasso L.D., Nicholls M.E., Moran M.D., Wesley D.A., Lee T.J. and Copeland J.H. (1992): A Comprehensive Meteorological Modeling System – RAMS. Meteorol. Atmos. Phys., 49, 69-91

Plonczkier P. & Simms I. C., 2012. Radar monitoring of migrating Pink-footed Geese: behavioural responses to offshore wind farm development. Journal of Applied Ecology, 49 (5): 1187-1194.

Popper A., Hawkins A., Fay R., Mann D., Bartol S., Carlson T., Coombs S., Ellison W., Gentry R., Halvorsen M., Løkkeborg S., Rogers P., Southall B., Zeddies D., Tavalga W., 2014. Sound Exposure Guidelines. 10.1007/978-3-319-06659-2_7.

Realini G. (cur. Provincia di Genova) & S., 2002 - Il flusso degli uccelli migratori in Liguria. Pp:180.

Realini G., Galli L. & Spanò S., (cur. Provincia di Genova) 2007 - Avifauna minore di passo in Liguria. Pp:193.

Regione Toscana, 2004 – Linee guida per la valutazione di impatto ambientale degli impianti eolici. Pp:74.

Richardson W.J., Malme C.I., Green C.R. Jr., Thomson D.H. 1995. Marine Mammals and Noise. Academic Press, San Diego, CA. 576 pp.

Road Construction Emission Model (RCEM) v.9

Robinson S.P., Lepper P.A., Hazelwood R.A. 2014. Good Practice Guide for Underwater Noise Measurement, National Measurement Office, Marine Scotland, The Crown Estate, NPL Good Practice Guide No. 133, ISSN: 1368-6550.

Samuel Y., Morreale S.J., Clark C.W., Greene C.H., Richmond M.E. 2005. Underwater, low-frequency noise in a coastal sea turtle habitat. Journal of the Acoustical Society of America, 117(3): 1465-1472.

Scaravelli D., Sartirana F. & Valfiorito R. 2015 - La comunità ornitica migratrice e svernante dell'area portuale di Genova - XVIII Convegno Italiano di Ornitologia: Abstract del Convegno di Caramanico Terme. Stazione Ornitologica Abruzzese, 78 pp.

Silibello C. (2006): SURFPRO (SURrface-atmosphere interFace PROcessor) User's guide", Rapporto ARIANET R2006.06

Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene, C.R., Kastak, Jr., D., Ketten, D.R., Miller, J.H., et al. 2007. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations. Aquatic Mammals 33(4): 411-521.

Southall, B.L., Finneran, J.J., Reichmuth, C., Nachtigall, P.E., Ketten, D.R., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Nowacek, D.P., Tyack, P.L. 2019. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Updated Scientific Recommendations for Residual Hearing Effects. Aquatic Mammals, 45(2): 125-232.

Southwood A., Fritches K., Brill R., Swimmer, Y. 2008. Sound, chemical and light detection in sea turtles and pelagic fishes: sensory-based approaches to bycatch reduction in longline fisheries. *Endangered Species Research*, 5: 225-238.

Tasker M.L, Amundin M., André M., Hawkins A., Lang W., Merck T., Scholik-Schlomer A., Teilmann J., Thomsen F., Werner S., Zakharia M. 2010. Marine Strategy Framework Directive. Task Group 11. Report Underwater noise and other forms of energy. EUR 24341 EN. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union. JRC58105.

Tinarelli G. (2019): SPRAY 3.1.15, General description and User's Guide, Rapporto ARIANET R2013.27

Tinarelli G., Anfossi D., Brusasca G., Ferrero E., Giostra U., Morselli M.G., Moussafir J., Tampieri F., Trombetti F., (1994): Lagrangian particle simulation of tracer dispersion in the lee of a schematic two-dimensional hill, *Journal of Applied Meteorology*, 33, N. 6, 744-756

Tinarelli G., D. Anfossi, M. Bider, E.Ferrero, S. Trini Castelli (1999): A new high performance version of the Lagrangian particle dispersion model SPRAY, some case studies, *Air Pollution Modelling and its Applications XIII*, S.E. Gryning and E. Batchvarova eds., Kluwer Academic / Plenum Press, New York, 499-507

Tsouvalas A. 2020. Underwater Noise Emission Due to Offshore Pile Installation: A Review. *Energies* 13, 3037.

United Nations Environment Programme-Convention on Biological Diversity (UNEP-CBD). 2012. Scientific Synthesis on the Impacts of Underwater Noise on Marine and Coastal Biodiversity and Habitats. UNEP/CBD/SBSTTA/16/INF/12.

US EPA: AP-42 (2010): Compilation of Air Emissions Factors, AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 11, 11.12: Concrete Batching

US EPA: AP-42 (2010): Compilation of Air Emissions Factors, AP-42 Fifth Edition, Volume I, 11, 19.2 Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing

US EPA: AP-42 (2010): Compilation of Air Emissions Factors, AP-42 Fifth Edition, Volume I, ch13.2.3: Heavy Construction Operation

Venkatram A. (1980): Estimating the Monin-Obukhov length in the stable boundary layer for dispersion calculations, *Boundary Layer Meteorology*, 19, 481-485.

Visser, A. W. (1997). Using random walk models to simulate the vertical distribution of particles in a turbulent water column. *Marine Ecology Progress Series*, 158, 275-281.

Vitali, L., Finardi S., Pace G., Piersanti A., and Zanini Gabriele (2010): Validation of simulated atmospheric fields for air quality modeling purposes in Italy, *Proceedings of the 13th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, p.609-613, (2010)

Weil J.C., Brower R.P. (1980): Estimating convective boundary layer parameters for diffusion application, Martin Marietta Environmental Center, Columbia, MD, Report Number PPSP-MP-48, 37 pp.

Weilgart L. 2018. The impact of noise pollution on fish and invertebrates. Report for OceanCare, Switzerland. 34 pp.

Whitfield D.P., 2009 - Collision avoidance of Golden Eagles at wind farms under the “Band” collision risk model. Natural Research Ltd, Banchory. Pp:35.

Wright A.J. 2014. Reducing impacts of human ocean noise on cetaceans: Knowledge gap analysis and recommendations. WWF International, Gland, Switzerland.

Yang, F., Liang, D., Wu, X., & Xiao, Y. (2020). On the application of the depth-averaged random walk method to solute transport simulations. *Journal of Hydroinformatics*, 22(1), 33-45.

Zanini G., Mircea M., Briganti G., Cappelletti A., Pederzoli A., Vitali L., Pace G., Marri P., Silibello C., Finardi S., Calori G. (2010): Modeling Air Quality over Italy with MINNI Atmospheric Modeling system: from Regional to Local Scale, *Proceedings of 31st NATO/SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application 27 September - 1 October 2010 in Torino, Italy*.