

autostrade // per l'italia

NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

Adeguamento del sistema

A7 – A10 – A12

PROGETTO DEFINITIVO

OPERA A MARE NEL CANALE DI CALMA

PARTE GENERALE

Relazione descrittiva generale

IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE
SPECIALISTICA

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

IL DIRETTORE TECNICO

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

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

RESPONSABILE AREA DI PROGETTO GENOVA

RESPONSABILE FUNZIONE STP

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO				DATA: FEBBRAIO 2011	REVISIONE	
	DIRETTORIO		FILE			n.	data
G16	codice commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo	SCALA:	1	APRILE 2012
--	11071204		APG9030	-2		2	MAGGIO 2012

 spea autostrade	Ingegneria europea	COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO Ing. Ilaria Lavander	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	Ing. Alessio Bado
			ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	
CONSULENZA A CURA DI :		S.p.A.	IL RESPONSABILE UFFICIO/UNITA'	

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

INDICE

INDICE	1
1 AGGIORNAMENTO ED INTEGRAZIONI PROGETTO DEFINITIVO FEBBRAIO 2011	5
2 PREMESSA	12
2.1 Descrizione del progetto della Gronda di Ponente	12
2.2 Conferimento del materiale di smarino nell'area del Canale di Calma	18
2.3 Caratteristiche statico-funzionali dell'opera	20
2.4 Contenuti della relazione	21
3 INQUADRAMENTO	23
3.1 Inquadramento territoriale	23
3.2 Inquadramento amministrativo	30
3.3 Inquadramento topo-batimetrico	31
3.4 Inquadramento geologico	36
3.5 Caratterizzazione geotecnica	37
3.5.1 Indagini Geotecniche	37
3.5.2 Prove di laboratorio	41
3.5.3 Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione	42
3.6 Caratterizzazione sismica	44
3.7 Caratteristiche ambientali dei fondali dell'area d'intervento	47
3.8 Caratterizzazione meteomarina	57
3.8.1 Esposizione del paraggio d'interesse	57
3.8.2 I livelli del mare	58
3.8.3 Le correnti litoranee	59
3.8.4 Le condizioni anemometriche	61
3.8.5 Il moto ondoso al largo	62
3.8.6 Propagazione del moto ondoso in corrispondenza della diga foranea esistente	66
4 CRITERI DI PROGETTO	70
4.1 Caratteristiche statico-funzionali	70
4.2 Caratteristiche dell'area Portuale di intervento	70
4.3 Criteri di navigabilità nel Canale di Calma	71
4.4 Criteri di operatività alla banchina dell'ILVA	73

4.5	Criteri di operatività nell'area di accesso al bacino di Multedo.....	74
4.6	Criteri meteomarini - Dimensionamento delle opere.....	75
4.7	Criteri meteomarini - Tracimazione	77
4.8	Criteri ambientali	78
4.9	Criteri costruttivi.....	80
5	DESCRIZIONE DELLE OPERE	82
5.1	Analisi delle soluzioni progettuali	82
5.2	Le opere di conterminazione.....	86
5.3	L'utilizzo dello spazio all'interno delle opere di conterminazione	94
5.4	Il layout finale della colmata.....	97
5.5	Il "concept" del progetto di contenimento del materiale	99
5.6	Il versamento del materiale all'interno della colmata.....	102
5.6.1	La miscela sedimenti-acqua da versare (slurry).....	102
5.6.2	Le potenziali fibre libere di amianto	102
5.6.3	Il metodo di posa	103
5.6.4	Il contenimento della torbidità.....	108
5.7	Gli argini interni della colmata nei confronti della permeabilità.....	110
5.8	Il sistema di copertura del materiale amiantifero.....	111
5.9	La sistemazione superficiale e la captazione delle acque meteoriche.....	115
5.10	Bilancio dei materiali impiegati.....	119
6	VERIFICHE IDRAULICHE	122
6.1	Studio della tracimazione dell'onda dalla diga foranea esistente nel canale di calma	128
6.1.1	Valutazione dell'onda trasmessa a tergo della diga foranea esistente	128
6.1.2	Valutazione della portata di tracimazione in relazione alla distanza dal muro di protezione	131
6.1.3	Conclusioni e raccomandazioni.....	134
6.2	Studio degli effetti della nuova opera in termini di moto ondoso nell'area in prossimità della banchina dell'ILVA.....	135
6.3	Studio degli effetti della nuova opera in termini di moto ondoso sull'operatività dell'area di accesso al bacino di Multedo.....	139
6.4	Analisi della navigabilità nel nuovo Canale di Calma e dei fenomeni idraulici generati dal passaggio dei natanti	144
6.4.1	L'attività di navigazione esistente nel Canale di Calma	144

6.4.2	Verifica della profondità e larghezza del nuovo Canale di Calma.....	145
6.4.3	I fenomeni idraulici generati dal passaggio dei natanti	149
6.5	Studio di Simulazione di Manovra nel nuovo Canale di Calma	151
6.6	Analisi dell'idrodinamica e della dispersione potenziale	156
6.6.1	Il modello idrodinamico e dispersivo	158
6.6.2	Idrodinamica e dispersione potenziale nella zona di progetto	162
6.6.3	Trasporto solido nella zona di progetto	172
7	VERIFICHE GEOTECNICHE	178
7.1	Caratteristiche geotecniche materiale di smarino e materiali da costruzione.....	178
7.2	Verifica a liquefazione	180
7.3	Verifica opere di conterminazione.....	180
7.4	Calcolo dei cedimenti e verifiche agli stati limite di esercizio (sle) incluse le strutture in adiacenza	183
7.5	Verifiche di stabilità e calcolo dei cedimenti degli argini interni alla colmata.....	187
7.6	Fenomeni di compenetrazione.....	190
8	ASPETTI AMBIENTALI - IL CICLO DELL'ACQUA E L'IMPIANTO DI DEPURAZIONE	191
8.1	Il ciclo dell'acqua.....	191
8.2	L'impianto di depurazione.....	193
8.2.1	Dati di progetto	193
8.2.2	Schema di processo	194
8.2.3	Descrizione dell'impianto.....	194
8.2.4	La gestione dell'impianto	200
9	ILLUMINAZIONE E FORNITURA DI FORZA MOTRICE ALLE STAZIONI DI POMPAGGIO.....	202
10	LE INTERFERENZE CON L'AEROPORTO CRISTOFORO COLOMBO	204
11	LE INTERFERENZE CON I CORSI D'ACQUA RIO RONCALLO E RIO SECCO	208
12	FASI LAVORATIVE E MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLE OPERE PRINCIPALI	213
12.1	L'utilizzo di mezzi marittimi e di terra per la cantierizzazione	222
12.2	I rapporti con l'esercizio portuale e aeroportuale	228
13	CONFORMITA' DELL'OPERA CON GLI STRUMENTI DI PROGRAMMAZIONE E PIANIFICAZIONE	230

14	IMPATTO OPERA - PAESAGGIO	238
15	ESPROPRI ED OCCUPAZIONI TEMPORANEE	247

1 AGGIORNAMENTO ED INTEGRAZIONI PROGETTO DEFINITIVO FEBBRAIO 2011

La presente relazione illustra e descrive le componenti del Progetto Definitivo dell'Opera a Mare nel Canale di Calma, alla luce delle considerazioni e formulazioni progettuali illustrate nel Progetto Definitivo del Febbraio 2011 e delle richieste pervenute dagli enti preposti nel corso dell'arco temporale che va da Febbraio 2011 a Febbraio 2012.

L'attività d'integrazione e aggiornamento della documentazione di progetto è stata sviluppata con riferimento a:

- la Nota del 13 Ottobre 2011 formulata dalla Capitaneria di Porto di Genova (Prot.12.01.00/46535);
- la Relazione di Accompagnamento dello Schema di Deliberazione del Comitato Portuale del 27 Ottobre 2011, redatta dall'Autorità Portuale di Genova;
- l'incontro tenutosi presso il Consiglio dei Lavori Pubblici, in data 09 Febbraio 2012;
- l'incontro presso la Capitaneria di Porto di Genova in data 14 Febbraio 2012;
- richieste di integrazioni pervenute dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, con comunicazione prot. DVA-2012-0002060 del 27/01/2012;
- fax N°9651 del 01 Marzo 2013 della Capitaneria di Porto di Genova;
- lettera dell'Autorità Portuale di Genova del 5 Aprile 2012 (Prot N°0009034/P).

Si allegano alla presente relazione le comunicazioni pervenute al progettista e propedeutiche alla revisione della documentazione di progetto.

La Capitaneria di Porto di Genova, unitamente al Gruppo Piloti Genova, ai Rimorchiatori Riuniti Genova e al Gruppo Antichi Ormeggiatori, ha formulato con nota del 13 Ottobre 2011 (Prot.12.01.00/46535), le seguenti **osservazioni**:

- 1) "Per mantenere integra l'attuale funzione (comprensiva della necessità di mantenere il servizio di collegamento urbano Porto Antico – Pegli) la larghezza del bacino è stimata in mt 80";
- 2) "Non pare che lo studio prodotto, per ciò che attiene all'imboccatura del Polcevera, abbia tenuto conto del tombamento in atto dello specchio acqueo della calata Derma. In effetti, con il completamento del riempimento, calata Derna verrà "abilitata" a ricevere navi portacontainer di ultima generazione. La realizzazione del previsto intervento di conferimento del materiale di smarino limita il bacino di manovra delle unità (porta

container) destinate a detta calata, non escludendo il rinvio all'impiego di un maggiore di rimorchiatori per l'esecutività delle relative manovre di ormeggio e disormeggio”;

- 3) Conseguenze di impatto che l'intervento in oggetto della presente analisi sviluppa avuto a riguardo:
- 3.1. Alla corrente che crea il Torrente Polcevera soprattutto in presenza di piogge abbondanti;
 - 3.2. Ai rilievi anemometrici funzionali che devono essere riferiti allo specchio acqueo di intervento;
 - 3.3. Alle misurazioni dirette del moto ondoso anch'esse da riferirsi all'area di intervento e non costituite/calcolate in maniera deduttiva.
 - 3.4. Quanto sopra stante la concreta esigenza di ottenere uno studio mirato per l'area di influenza dell'intervento, caratterizzata da elementi (correnti, maree) propri dell'area stessa”;
- 4) “Gli studi prodotti non permettono di stabilire l'influenza delle onde riflesse della Diga di Voltri sull'accesso del canale al Porto di Multedo”;
- 5) “Non appare superfluo valutare l'impatto del moto ondoso sulla banchina ILVA in occasioni di particolari mareggiate provenienti dai quadranti meridionali (per memoria si fa espresso rinvio a quanto accaduto a quella banchina nell'ottobre 2008)”.

L'Autorità Portuale di Genova nella Relazione di Accompagnamento dello Schema di Deliberazione del Comitato Portuale del 27 Ottobre 2011 formalizza le seguenti condizioni per l'espressioni di un parere favorevole:

- 6) “Ai fini di assicurare un adeguato specchio acqueo al transito dei mezzi nautici in servizio tra il bacino di Sampierdarena ed i poli di Multedo/Voltri occorre valutare con particolare attenzione la dimensione del parziale riempimento del canale. In particolare, la proposta di riempire uno specchio acqueo di 3600 m di lunghezza per 180 m di larghezza non pare garantire i requisiti per un normale e sicuro transito dei mezzi di servizio. Secondo quanto indicato nella nota della Capitaneria di Porto sopra richiamata, si tratterebbe di ridurre l'ampiezza del riempimento garantendo una dimensione del canale navigabile al momento in 80 m, idonea a garantire transiti sicuri anche in condizioni meteo marine avverse”;
- 7) “Al fine di evitare effetti di agitazione ondosa, in particolare durante il passaggio dei mezzi nautici nel residuo specchio acqueo destinato al transito, occorre prevedere che la

banchina ed il muro paraonde di nuova realizzazione da parte di Autostrade S.p.A. siano costruiti con tecniche tali da indurre la riflessione del moto ondoso stesso. Allo scopo occorrerà prevedere banchine e muro paraonde con coefficienti di riflessione non superiori a 0,3”;

- 8) “Si rende necessario verificare gli stessi effetti generati dal riempimento sul moto ondoso sia sul fronte di levante, sia su quello di ponente. Si tratta di verificare, secondo le metodologie adottate dagli Uffici Tecnici dell’Autorità Portuale, lo stato della navigabilità, accessibilità e manovrabilità degli specchi acquei costituenti l’imboccatura di ponente del bacino di Sampierdarena e di quelli afferenti il canale di accesso del bacino di Multedo, nonché le condizioni di agibilità delle banchine ILVA e di quelle del fronte Ronco - Canepa – Libia. Tali approfondimenti andranno svolti tenendo anche conto degli interventi già programmati dall’Amministrazione, quali la creazione di un unico fronte di banchina parallelo alla diga fra il Molo Ronco e Molo Libia e l’ampliamento dell’imboccatura di ponente”;
- 9) “Si ritiene necessario completare le verifiche tecnico-nautiche e di navigabilità attraverso l’utilizzo di un modello con simulatore di manovra, allo scopo di verificare per ciascuno Scenario citato nella nota menzionata le effettive condizioni di sicurezza della navigazione in concomitanza con i definiti e preposti stati di mare e di di vento”.

Dal punto di vista progettuale tali osservazioni hanno comportato sia una revisione delle caratteristiche tecnico geometriche dell’opera, sia un approfondimento degli studi specialistici.

La nuova geometria dell’Opera a Mare risulta essere così definita:

- la larghezza dell’opera è stata variata dai 180 m riportati nel Progetto Definitivo Febbraio 2011, ai 165 m (lasciando quindi una larghezza residua del Canale di Calma pari a 75 m);
- il lato Est dell’Opera a Mare è stato modificato per preservare il bacino di manovra delle imbarcazioni operanti sulla Banchina ILVA, arretrandolo di circa 34 m rispetto al Progetto Definitivo ed inclinandolo rispetto all’attuale Banchina ILVA di circa 128° in direzione sud-ovest, mentre nella configurazione di Progetto Definitivo risultava ad essa perpendicolare.

Al fine di minimizzare l’agitazione ondosa all’interno del Canale di Calma i cassoni cellulari che costituiscono tutto il marginamento dell’Opera a Mare, dovranno garantire un coefficiente di riflessione teorico pari a 0,5 attraverso l’adozione di celle antiriflettenti.

In analogia a quanto fatto per il Progetto Definitivo Febbraio 2011 le caratteristiche dello stato di addensamento dei terreni di riempimento costituenti la colmata dell'Opera a Mare sono state determinate in accordo alle prescrizioni ENAC (Linee guida per l'adeguamento delle strip aeroportuali - 2008).

Sono state inoltre considerate le modifiche che gli interventi programmati nell'ambito del tombamento di Calata Derna, apportano ai seguenti elementi:

- l'imboccatura di ponente del Bacino di Sampierdarena, attraverso la demolizione di alcune componenti dell'attuale Diga Foranea e operazioni di dragaggio;
- i fondali portuali in corrispondenza della foce del Torrente Polcevera, soggetti a significative operazioni di dragaggio.

La revisione del Progetto Definitivo ha previsto lo sviluppo dei seguenti approfondimenti tematici:

- Aggiornamento e integrazione dello Studio di propagazione del moto ondoso con riferimento a:
 - le nuove caratteristiche tecniche e geometriche dell'Opera a Mare;
 - la nuova configurazione di progetto dell'Imboccatura di Ponente del Bacino portuale di Sampierdarena, conseguente agli interventi programmati sulla Calata Derna;
 - l'analisi degli effetti, in termini di agitazione ondosa, che si generano in corrispondenza delle Banchina ILVA e degli apprestamenti necessari per minimizzare l'interferenza sull'operatività di tale banchina;
 - l'analisi degli effetti, in termini di agitazione ondosa, nel Canale di accesso al Bacino di Multedo, ed individuazione degli interventi necessari a preservare le attuali condizioni;
 - la valutazione, correlata al fenomeno dell'onda tracimante dalla Diga Foranea, di fasce di canale all'interno del Canale di Calma, caratterizzate da differenti valori di portata tracimante e corrispondenti gradi di sicurezza per gli operatori.
- Aggiornamento ed integrazione dello Studio Idrodinamico e Dispersivo con riferimento:
 - alle nuove caratteristiche tecniche e geometriche dell'Opera a Mare;

- alla nuova conformazione dei fondali nell'area dell'Imboccatura Ponente del Bacino di Sampierdarena e della Foce del Torrente Polcevera;
- alle portate di deflusso e alle correnti del Torrente Polcevera associate ad eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni.
- Aggiornamento e integrazione dell'Analisi della navigabilità del nuovo Canale di Calma e dei fenomeni idraulici generati dal passaggio dei natanti. L'analisi di navigabilità verrà sviluppata considerando:
 - la nuova geometria del Canale di Calma;
 - i risultati derivanti dall'aggiornamento dello Studio di propagazione del moto ondoso;
 - le due tipologie di imbarcazioni riconducibili al naviglio che effettua il servizio:
 - nave bus tra il Porto Antico e Pegli;
 - rimorchiatore tra il bacino portuale di Sampierdarena e quello di Multedo;
 - gli scenari che simulano il verificarsi di possibili condizioni operative all'interno del Canale di Calma.

L'aggiornamento dell'analisi di navigabilità avrà l'obiettivo di verificare le attuali condizioni di manovra o di identificare nuove condizioni di manovra che soddisfino il requisito di navigazione in sicurezza del Canale di Calma alla luce della nuova larghezza di progetto.

Inoltre per rispondere alle richieste formulate dall'Autorità Portuale è stato sviluppato lo studio di simulazioni di manovra all'interno del Canale di Calma, con l'ausilio di un simulatore in tempo reale.

Per un'agevole lettura del documento si riporta di seguito un sinottico riassuntivo che indica per le singole osservazioni presentate i paragrafi che ne descrivono le considerazioni progettuali integrate nella presente revisione di progetto.

Osservazione	Paragrafo
1)	4.3 Criteri di navigabilità 6.5 Analisi della navigabilità nel nuovo Canale di Calma e dei fenomeni idraulici
2)	4.2 Caratteristiche dell'area portuale di intervento
3.1	6.6 Analisi della navigabilità nel nuovo Canale di Calma e dei fenomeni idraulici generati dal passaggio dei natanti
3.2	3.8.1 Esposizione del paraggio d'interesse 3.8.4 Le condizioni anemometriche
3.3	3.8.1 Esposizione del paraggio d'interesse 3.8.5 Il moto ondosso al largo
3.4	3.8.1 Esposizione del paraggio d'interesse
4)	4.5 Criteri di operatività nell'area di accesso al bacino di Multedo 6.2 Studio della tracimazione dell'onda dalla diga foranea esistente nel Canale di Calma
5)	6.3 Studio degli effetti della nuova opera in termini di moto ondosso nell'area in prossimità della banchina dell'ILVA
6)	4.3 Criteri di navigabilità nel Canale di Calma 6.5 Analisi della navigabilità nel nuovo Canale di Calma e dei fenomeni idraulici generati dal passaggio dei natanti
7)	5.2 Le opere di conterminazione 4.6 Criteri meteomarini – Dimensionamento delle opere
8)	6.1 Propagazione del moto ondosso nel Canale di Calma attraverso le imboccature alle estremità della Diga Foranea 6.3 Studio degli effetti della nuova opera in termini di moto ondosso nell'area in prossimità della banchina dell'ILVA

	6.6.3 Trasporto solido nella zona di progetto
	4.2 Caratteristiche dell'area portuale di intervento
9)	6.5 Studio di Simulazione di Manovra nel nuovo Canale di Calma

2 PREMESSA

2.1 Descrizione del progetto della Gronda di Ponente

Le infrastrutture autostradali dell'area genovese (A10, A7, A12, A26) pur essendo nate per favorire gli spostamenti extraurbani, svolgono di fatto anche la funzione di tangenziale per il traffico urbano e di scambio nonché quella di redistribuzione del traffico di attraversamento. E' chiaro che l'attuale configurazione della rete autostradale - sia per le caratteristiche plano altimetriche spesso inferiori agli standard minimi, sia per il carico di traffico peraltro a forte componente commerciale - è ormai inadeguata ad espletare entrambi i compiti.

Il Progetto della Gronda di Genova o di Ponente (Figura 2.1) si è quindi posto l'obiettivo di sgravare il tratto di A10 più interconnesso con la città di Genova - cioè quello dal casello di Genova Ovest (Porto di Genova) sino all'abitato di Voltri - trasferendo il traffico passante su una nuova infrastruttura che si affianca all'esistente, costituendone di fatto un raddoppio.

La nuova infrastruttura è quasi completamente in sotterraneo (per oltre il 95% del suo sviluppo e le caratteristiche sia tecnologiche che di tracciato sono nettamente distinte tra le opere poste a dx o a sx del torrente Polcevera.

Il Polcevera infatti rappresenta:

- lo spartiacque geologico tra i terreni potenzialmente amiantiferi della sua sponda dx e quelli non amiantiferi del lato sx, con forti implicazioni sulla scelta tecnologiche degli scavi in sotterraneo;
- l'elemento separatore tra il tracciato tortuoso ed articolato dei rami sul lato sx – che si occupano di assicurare l'interconnessione tra i vari tratti autostradali esistenti e la nuova infrastruttura – e quello più lineare della sponda dx, da dove parte la "Gronda" che si occupa essenzialmente di trasferire il traffico fino a Vesima, raddoppiando l'A10 esistente.

Questa netta divisione del tracciato ha influenzato vari elementi della cantierizzazione - ad es. l'uso di sistemi di scavo meccanizzato in dx Polcevera e di avanzamento tradizionale (con esplosivo o martelloni) in sponda sx - concentrando lungo il Polcevera varie infrastrutture di servizio alla costruzione.

La volumetria totale di materiale di smarino proveniente dagli scavi propedeutici alla realizzazione delle opere è pari a 9.270.126,1 m³

Nel documento "Relazione di caratterizzazione ambientale" (Doc N° APG0006), è riportata la caratterizzazione ambientale delle terre e rocce di scavo provenienti dalla realizzazione delle opere a progetto.

Ai sensi del D.Lgs. 152/06 e in funzione del contenuto di amianto, il materiale di smarino può essere così suddiviso:

- con un contenuto in amianto (pari a 5.131.619,2 m³);
- non contenenti amianto, siano esse provenienti dallo scavo meccanizzato o da quello tradizionale, sono destinate in parte alla colmata oggetto di questo progetto, ed in parte ad altri utilizzi (pari 4.138.506,9 m³).

Considerando un coefficiente di rigonfiamento pari al 30%, la volumetria complessiva del materiale di smarino da gestire pari a circa 12.051.164 m³, suddivisa come riportato nella seguente tabella.

		Materiale non contenente amianto	Materiale con possibile contenuto di amianto	Totale Disponibile
		(m ³)	(m ³)	(m ³)
A	Volume Scavo Meccanizzato	544.830,0	6.266.480,2	6.811.310,2
B	Volume Scavo Tradizionale	4.835.229,0	404.624,7	5.239.853,7
C= A+B	VOLUME RIGONFIATO	5.380.059,0	6.671.104,9	12.051.163,9

Tabella 2-1 - Suddivisione del materiale di smarino da gestire

Il ricollocamento sul territorio dei milioni di metri cubi di smarino avrebbe costituito una difficoltà quasi insormontabile nel contesto genovese, caratterizzato da ambienti o fortemente urbanizzato o di elevato pregio.

L'individuazione dell'area destinata ad ospitare lo smarino proveniente dalle opere in sotterraneo della Gronda di Ponente ha comportato lo sviluppo, presso gli enti locali e governativi, del seguente iter tecnico/autorizzativo:

- nel Protocollo d'Intesa del 05.02.2007 - sottoscritto da Regione Liguria, Provincia di Genova, Comune di Genova, Autorità Portuale e Anas - si conveniva che per "il

materiale di risulta proveniente dagli scavi in galleria sia allocato nel nuovo sito aeroportuale all'esterno della diga foranea attuale, previa una verifica di fattibilità tecnica a carico di Autostrade per l'Italia”;

- il 05.04.2007 Autostrade/Spea presentavano lo Studio di Fattibilità Tecnica in merito alla possibilità di recapitare oltre la diga foranea antistante l'aeroporto Colombo il materiale proveniente dallo scavo delle gallerie, evidenziando le difficoltà pressoché insormontabili di tale soluzione;
- in data 24.05.2007 Autostrade/Spea consegnavano ufficialmente lo Studio di Fattibilità Tecnica, all'interno del quale veniva esaminata - su richiesta della Regione Liguria - anche la possibilità di conferire il materiale di risulta nel Canale di Calma prospiciente l'aeroporto di Genova;
- nell'aprile 2008 è stato reso operativo il Gruppo Tecnico di Lavoro – istituito presso il Ministero delle Infrastrutture - che, anche con il contributo del Ministero dell'Ambiente, doveva individuare, tra i due siti analizzati nello Studio di Fattibilità Tecnica presentato da Autostrade/Spea, quello ottimale in cui conferire il materiale proveniente dallo scavo delle gallerie;
- in data 04.08.2008, con nota n° 288041 inviata al Ministero delle Infrastrutture e ad Anas, la Regione Liguria, la Provincia di Genova e il Comune di Genova confermavano il Canale di Calma come sito idoneo al conferimento del materiale di risulta;
- in data 10.09.2008 il Gruppo Tecnico di Lavoro istituito presso il Ministero delle Infrastrutture - con il contributo del Ministero dell'Ambiente, espresso con nota prot. DSA-2008-0021242 del 30.07.2008 - ha concluso i lavori individuando nel Canale di Calma (Figura 2.2 e Figura 2.3), antistante l'Aeroporto “Cristoforo Colombo” di Genova, il recapito finale del materiale di risulta.

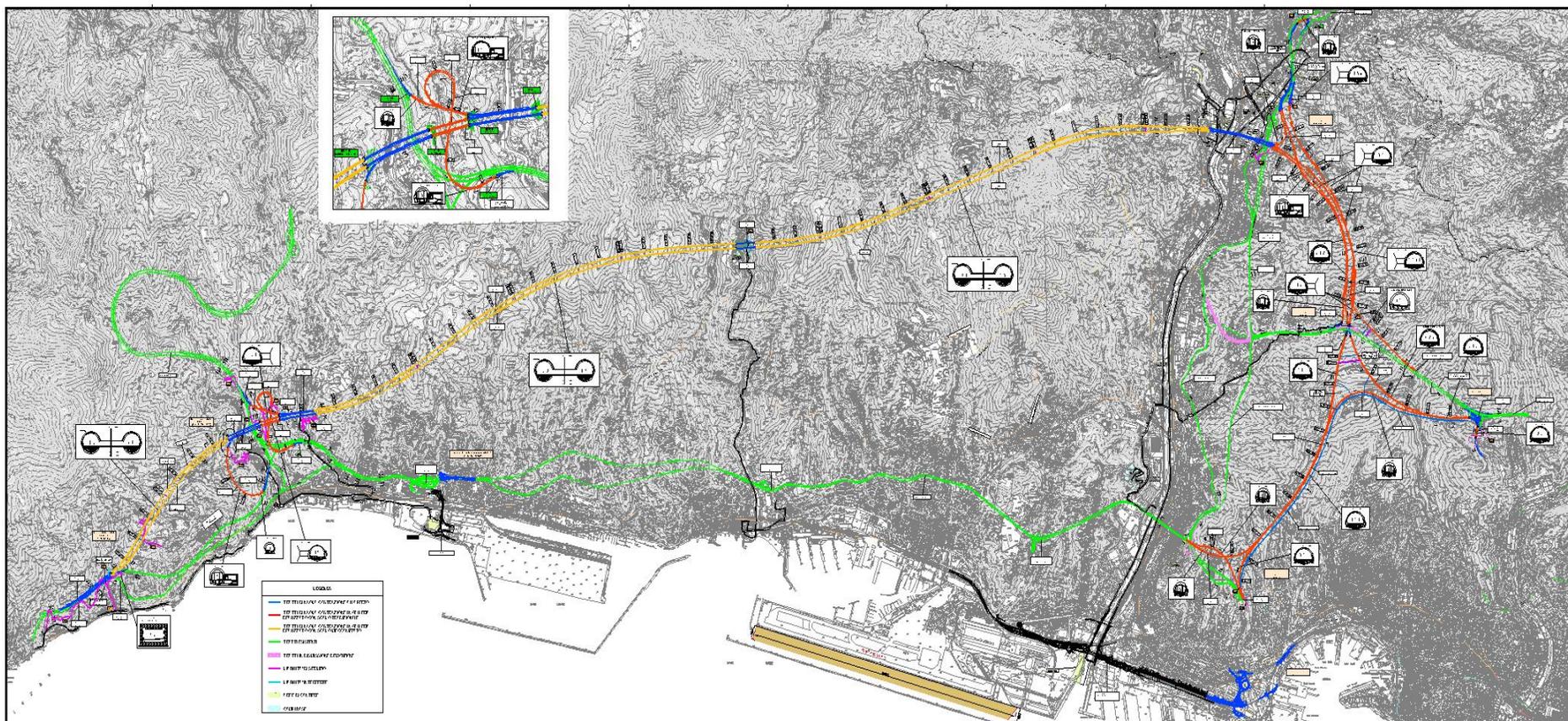


Figura 2.1 - Corografia Generale.



Figura 2.2 - Canale di Calma, ubicazione area d'intervento

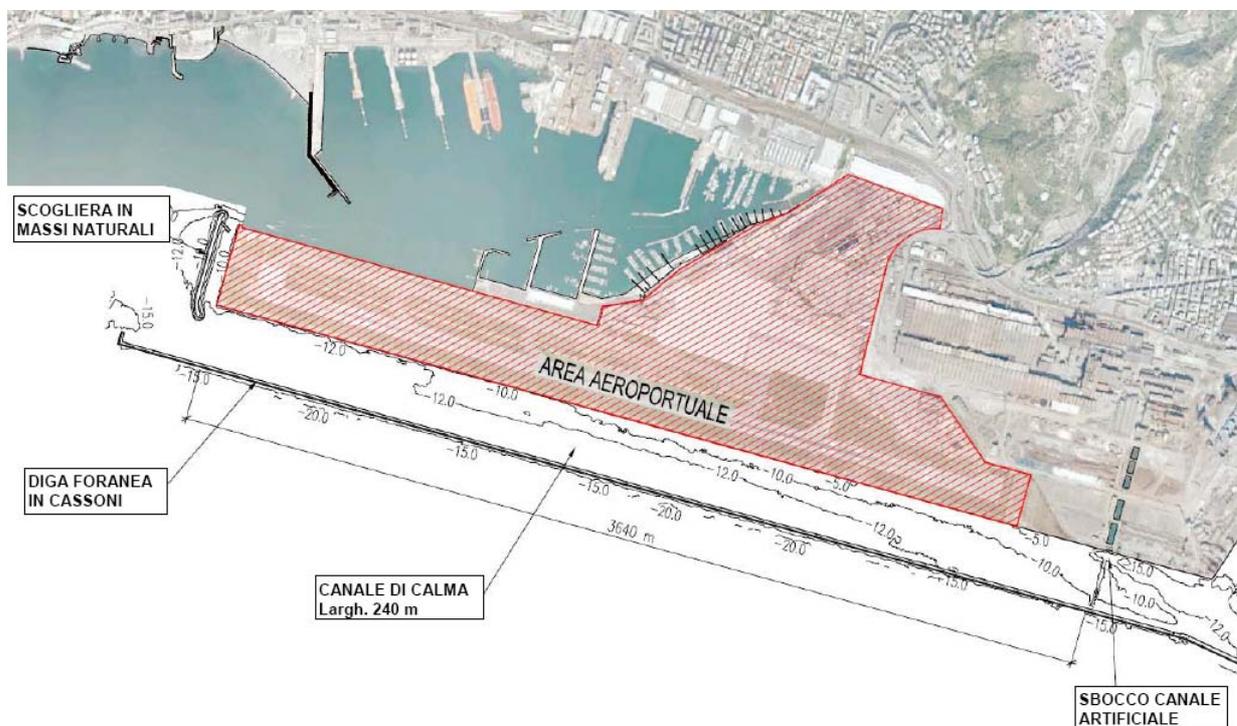


Figura 2.3 - Canale di Calma, opere al contorno

Si prevede quindi di conferire all'interno del Canale di Calma il materiale di smarino, attraverso la realizzazione di una cassa di colmata (definita Opera a Mare) in continuità con l'attuale sedime aeroportuale.

Esternamente alla realizzazione della colmata è previsto il riutilizzo del materiale di smarino, per un volume totale pari a circa a 2.125.822 m³, con la destinazione e la ripartizione riportate nella seguente tabella Tabella 2-2..

		Materiale non contenente amianto	Materiale con possibile contenuto di amianto	Totale Disponibile
		(m ³)	(m ³)	(m ³)
D	Sistemazione Morfologia Sori	0	0	0
E	Sistemazione Morfologica C106 a GE EST "Campursone"	329.000	0	329.000
F	Riempimento arco rovescio	365.029	903.732	1.268.761
G	Riempimento agli imbocchi	988.543	0	988.543
H	Smaltimento a discarica	0	156.622	156.622
I	Pavimentazioni "bianche"	272.250	0	272.250,0
L	Calcestruzzi non strutturali	396.175	0	396.175
M= D ÷ L	TOTALE DEPOSITO A TERRA	2.350.997	1.060.354	3.411.351
N=C-M	DISPONIBILITA' RESIDUA	3.029.062	5.610.751	8.639.813

Tabella 2-2 - Volumetrie terre e rocce da scavo riutilizzate esternamente all'Opera a Mare

Pertanto resta da ubicare all'interno della colmata un volume totale di materiale di smarino pari a circa **8.639.813 m³** di cui:

- **3.029.062 m³** di materiale non contenente amianto;
- **5.610.751 m³** di materiale con contenuto di amianto inferiore ai limiti posti dal D.Lgs. 152/06.

2.2 Conferimento del materiale di smarino nell'area del Canale di Calma

Il conferimento del materiale all'interno del Canale di Calma risulta differente in funzione della tipologia di materiale.

Il materiale di smarino non contenente amianto, viene prima trasportato su gomma nell'area di cantiere a Cornigliano, ubicata sulla destra del Torrente Polcevera e da lì attraverso l'utilizzo di idonei mezzi navali (bettoline) nell'area d'intervento nel Canale di Calma (Figura 2.4). Nei successivi capitoli saranno descritti con maggiore dettaglio le operazioni di conferimento.

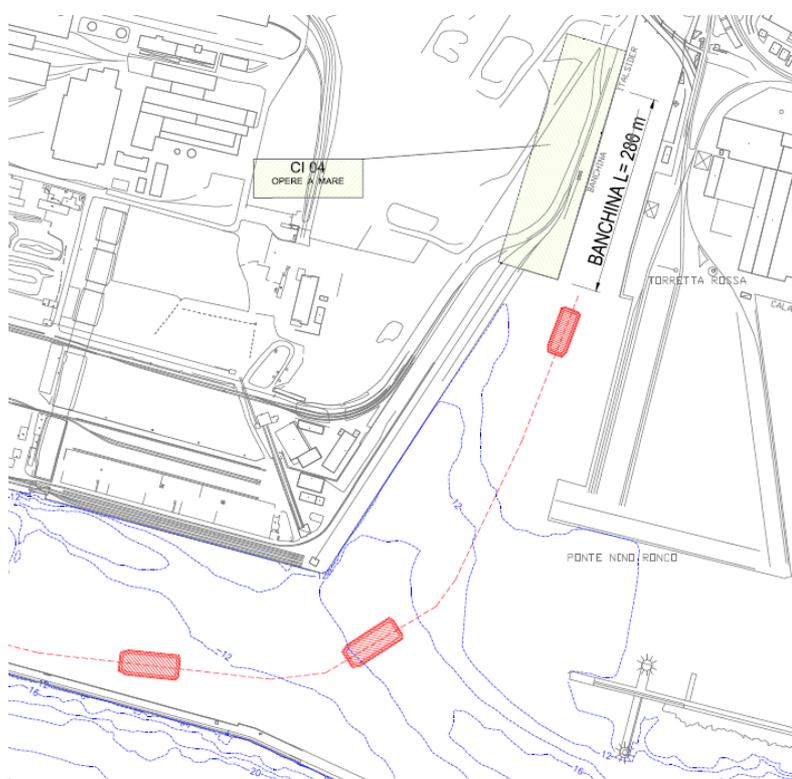


Figura 2.4 - Conferimento materiale di smarino non contenente amianto

Il materiale con un contenuto in amianto inferiore ai limiti del D.Lgs. 152/06, viene convogliato nell'area del Canale di Calma attraverso la realizzazione di un circuito slurry (Figura 2.5), che permette il trasporto all'interno di tubazioni del materiale addizionato con acqua, garantendo l'abbattimento delle parti fini e delle fibre di amianto eventualmente presenti all'interno dello smarino. Il circuito di slurry che viene presentato si svilupperà quindi per circa 8.8 km dall'area di stoccaggio del cantiere Polcevera fino a raggiungere la banchina dell'Italsider, nell'area dell'Aeroporto di Genova, prospiciente il Canale di Calma.



Figura 2.5 - Conferimento materiale di smarino con un contenuto in amianto inferiore ai limiti del D.Lgs. 152/06

Il tracciato così valutato per il circuito, prevede il prelievo di acqua salata direttamente dal Mar Ligure all'altezza del porto di Cornigliano al livello del mare e raggiungerà l'area di stoccaggio dello smarino, presso il cantiere Polcevera, alla quota di circa 65 m s.l.m. Il tratto di mandata del circuito è stato dimensionato per il solo pompaggio dell'acqua marina verso il cantiere di stoccaggio. In seguito, al cantiere Polcevera si provvederà all'estrazione del materiale dai silos e alla successiva miscelazione degli stessi con l'acqua di mare. Questa miscela verrà condotta attraverso il circuito di ritorno al cantiere portuale e area di deposito temporaneo di Cornigliano per poi essere definitivamente trasportato al Canale di Calma antistante il porto.

Maggiori dettagli concernenti il circuito dello slurrydotto sono riportati nel documento "Relazione Scavo Meccanizzato" e nei successivi capitoli della presente relazione.

2.3 Caratteristiche statico-funzionali dell'opera

Contestualmente alla ricollocazione delle volumetrie di materiali di smarino la realizzazione della nuova opera si propone di assolvere ai seguenti obiettivi tecnico funzionali:

- **Adeguamento della Runway strip** dell'Aeroporto di Genova (fascia di rispetto laterale alla pista aeroportuale) alle prescrizioni dell'Annesso 14 ICAO. L'Aeroporto di Genova è operativo sulla base della certificazione rilasciata da ENAC che contiene, tra le altre, una "non conformità" dovuta alla ridotta dimensione della Runway strip. In particolare la strip si dovrebbe estendere simmetricamente da ambo i lati della pista e la sua larghezza è fissata dal Regolamento ENAC in 150 m per lato dall'asse pista. Nel caso di Genova l'attuale runway strip presenta una lunghezza pari a 105 m. Con la realizzazione dell'opera a progetto si otterrebbero i 45 m necessari per il completamento della runway strip lato mare;
- **Realizzazione di una strada perimetrale** per l'accesso al lato della pista e alla stessa runway strip;
- **Protezione dell'infrastruttura aeroportuale** da eventi meteomarini significativi. Attualmente in occasione di determinati eventi meteo marini (quali ad esempio le mareggiate verificatesi nel 2010) le onde tracimanti la diga foranea esistente hanno interessato direttamente la pista aeroportuale, causando l'interruzione del servizio ed arrecando danni alle strutture esistenti. La realizzazione di una nuova banchina dotata di muro paraonde e l'aumento della distanza tra lo specchio acqueo e la pista aeroportuale assolve l'obiettivo di garantire una maggiore protezione;

- **Adeguamento della rete di drenaggio della piattaforma aeroportuale.** L'attuale rete di drenaggio della pista aeroportuale presenta scarichi con quota sul livello medio mare, con conseguente criticità legate al funzionamento in presenza di determinate condizioni meteo marine. La nuova rete garantisce una capacità di accumulo all'interno delle strutture tale da ottenere un tirante di invaso massimo che non comporti rigurgito all'interno delle condotte di scarico esistenti (quota massima +0.20 m s.m.m.). Inoltre la rete di drenaggio esistente può scaricare sempre a "bocca libera", evitando quindi che i rialzi mareali possano mandarla "sottobattente" con conseguenti problemi di scarico ed esondazioni a monte.

Ciò premesso, il riempimento parziale del Canale di Calma – realizzando una cassa di colmata in continuità con l'attuale sedime aeroportuale e con superfici trattate in modo idoneo si configura come un'opera in grado di configurare l'uso dello smarino come "sottoprodotto", ai sensi del D.Lgs 152/06.

2.4 Contenuti della relazione

La presente relazione si propone di illustrare il progetto delle opere all'interno del Canale di Calma, attraverso:

- un inquadramento dell'area dal punto di vista territoriale, amministrativo topografico, geologico, geotecnico, ambientale e meteo marino (Capitolo 3);
- l'individuazione dei criteri di progetto seguiti per la definizione delle caratteristiche tecnico/funzionali delle opere (Capitolo 4);
- la descrizione delle opere a progetto e le modalità di funzionamento (Capitolo 5);
- il riassunto delle verifiche idraulico-marittime e geotecniche eseguite sulle opere a progetto (Capitolo 6 e 7);
- l'illustrazione degli aspetti ambientali, da perseguire e considerare durante la costruzione dell'opera (Capitolo 8);
- gli impianti e gli apprestamenti necessari per la funzionalità dell'opera (Capitolo 9);
- la descrizione delle fasi di realizzazione e le interferenze con il vicino Aeroporto "Cristoforo Colombo" (Capitolo 10, 11 e 12);

- l'analisi della conformità dell'opera con gli strumenti urbanistici (Capitolo 13), l'impatto paesaggistico dell'opera (Capitolo 14) e le aree soggette a esproprio ed occupazioni temporanee (Capitolo 15).

3 INQUADRAMENTO

3.1 Inquadramento territoriale

L'area oggetto di intervento ricade a Cornigliano, quartiere periferico situato sulla fascia costiera ad ovest di Genova, a circa 7 chilometri dal centro del capoluogo ligure, compresa tra le delegazioni di Sampierdarena e Sestri Ponente.

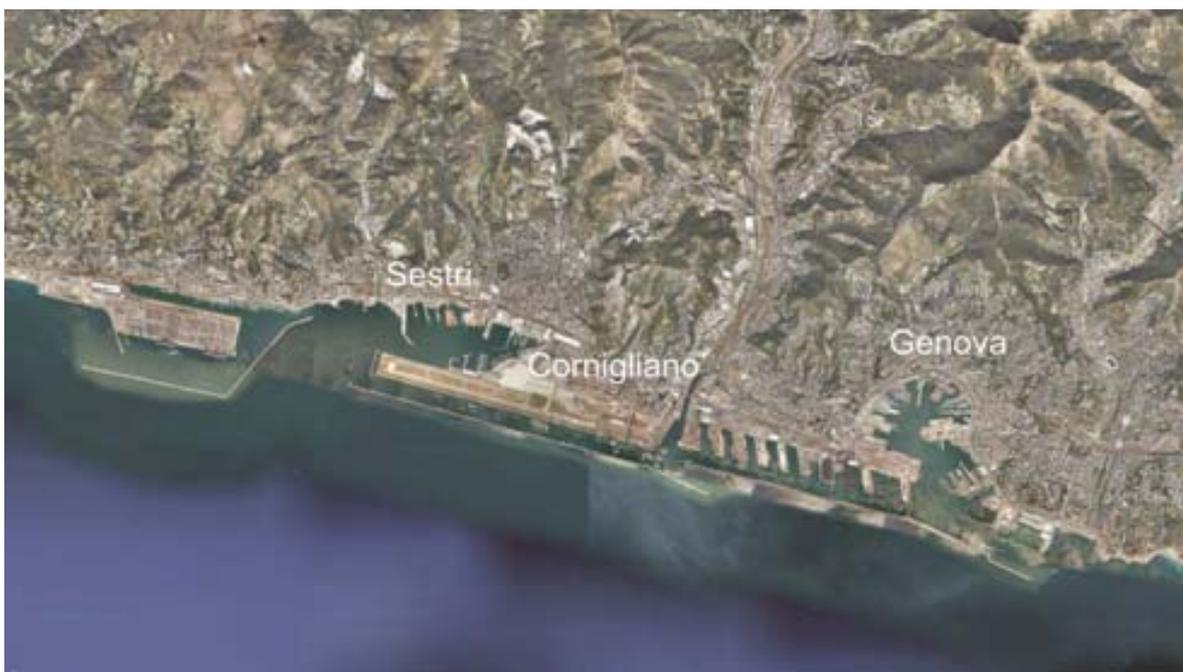


Figura 3.1 - Inquadramento territoriale

Il territorio si presenta prevalentemente scosceso con quattro crinali principali che digradano al mare da un'altezza iniziale di 100 - 200 metri, fatta eccezione per la zona pianeggiante adiacente alla costa e allargata a mare dai riempimenti che si effettuarono nel dopoguerra proprio per far spazio a quegli impianti siderurgici che trasformarono Cornigliano in uno dei primi quartieri industriali edificati in Italia.

Il crescente sviluppo degli insediamenti industriali e delle infrastrutture in prossimità della costa ha comportato infatti l'alterazione e la distruzione del tessuto storico esistente e la stessa compressione orografica della fascia costiera ha condizionato la costruzione del paesaggio antropico a tal punto da creare delle forti contaminazioni tra la grande industria, considerata il meccanismo territoriale propulsore per la produzione della zona, e la mera città,

generando così aree cosiddette di frontiera perché in balia dei contrasti derivanti dai differenti processi evolutivi industria - città.



Figura 3.2 - Panorama del quartiere di Cornigliano - Sullo sfondo le industrie e l'aeroporto che trasformarono pesantemente il territorio

In particolare è dopo la seconda guerra mondiale che la linea di costa viene completamente alterata con la scomparsa della spiaggia, del promontorio roccioso dell'Abbazia di Sant'Andrea e del Castello Raggio per la realizzazione dei riempimenti a mare necessari non solo all'ampliamento delle intense attività siderurgiche.



Figura 3.3 - Vista panoramica inizi Novecento - Come si presentava la costa prima degli interventi di riempimento a mare

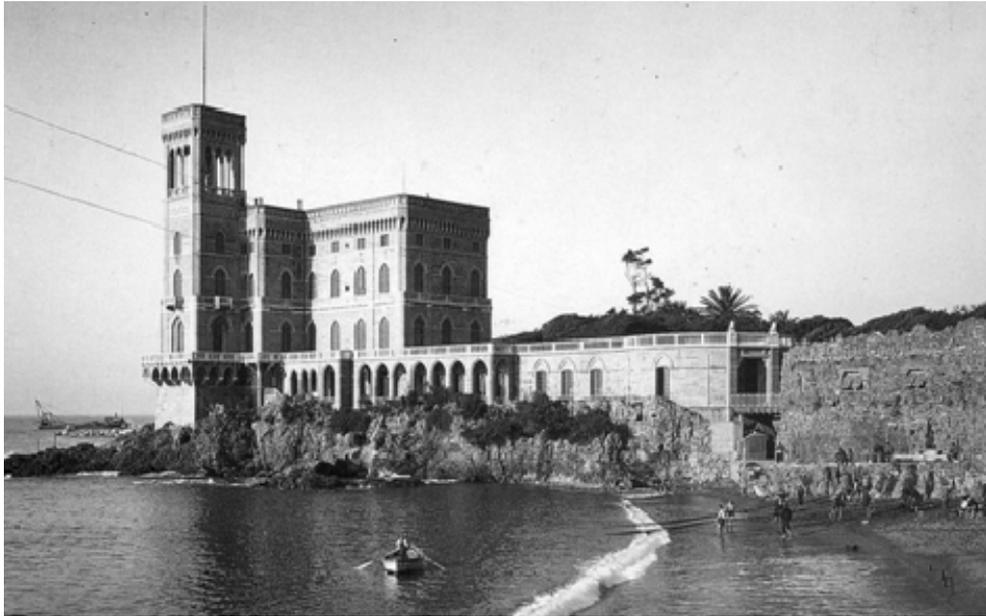


Figura 3.4 - Castello Raggio, Anni '30 - L'edificio venne demolito il 14 aprile del 1951 per far costruire il riempimento dello stabilimento siderurgico Italsider

La pesante urbanizzazione ha prodotto così un'irreversibile frammentazione del paesaggio, in cui le antiche case coloniche e le piccole porzioni dell'antica proprietà sono diventate aree residuali.



Figura 3.5 - Collina degli Erzelli - a sinistra Villa Negrone con il suo parco circondata da containers. Oggi si sta realizzando il progetto di riconversione dell'intera area



Figura 3.6 - Villa Durazzo Brombini, vanto del quartiere

Dell'amenissimo paesaggio agrario, coltivato a vigneti, frutteti, oliveti e alberi da frutto, segnato dai terrazzamenti secondo le modalità dell'agricoltura storica del genovesato e ben documentato dal Catasto napoleonico del 1810, rimane ormai ben poco e riscontrabile nelle aree collinari dove i versanti ben soleggiati presentano ancora una distribuzione diffusa di aree agricole e di insediamenti abitativi sparsi.

Le coltivazioni attualmente utilizzate presentano ancora la disposizione a terrazzamento e sono costituite prevalentemente da colture orticole, vigneti e frutteti e, se in passato rappresentavano la fonte di reddito principale, al momento costituiscono attività "part - time" e/o a carattere integrativo.

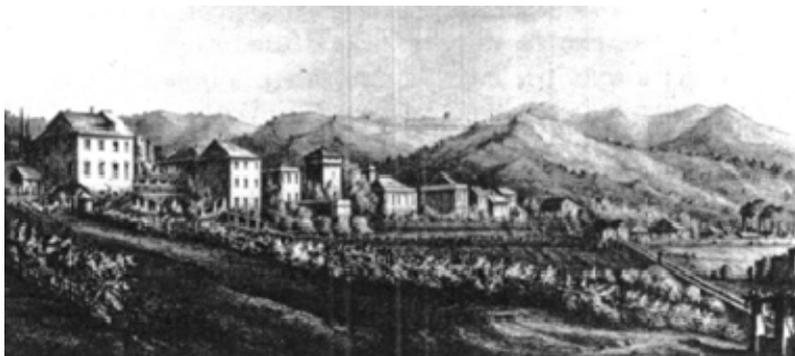


Figura 3.7 - Lorenzo Centurione, 1863 - Particolare delle ville cinquecentesche che si allineano lungo la viabilità interna

Dei quattro crinali principali infatti che digradano al mare da un'altezza iniziale di 100 – 200 mt solo le collina di Passo Speich e di Coronata hanno conservato per la maggior parte i caratteri sopra descritti, mentre le colline degli Erzelli e di Colombara hanno subito un processo di consumo del suolo che li ha snaturalizzati.

Gli stessi corsi d'acqua, quali i torrenti Polcevera e Chiaravagna, che accompagnavano rigogliosi il digradare degli acclivi giungendo a mare con ampi alvei caratterizzati da una ricca vegetazione, oggi difficilmente sono percepibili come importanti elementi naturali scavalcati da numerosi ponti e con sponde artificializzate che hanno profondamente alterato la vegetazione riparia.

Altri rii minori, quali Rio Roncallo e Rio Secco, sfocianti nel Canale di Calma, sono stati totalmente interrati al di sotto del denso tessuto urbano.

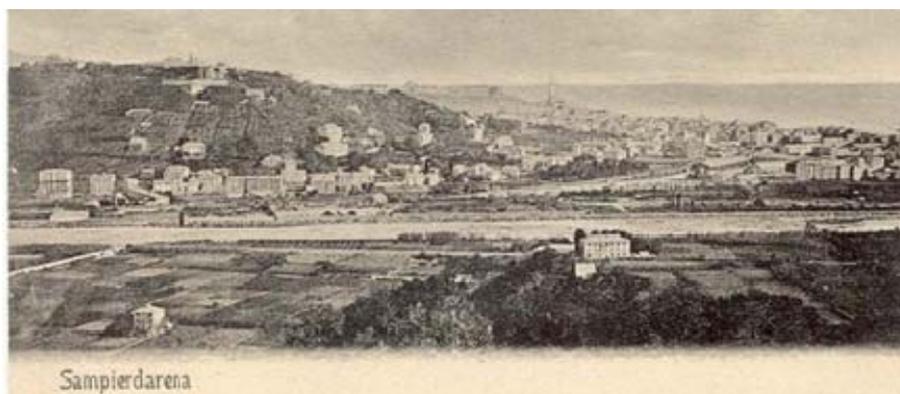


Figura 3.8 - Il torrente Polcevera in prossimità dello sbocco a mare, fine Ottocento



Figura 3.9 - Il torrente Polcevera come si presenta oggi in prossimità dello sbocco a mare

Man mano quindi che si scende sul fondovalle il paesaggio muta ed i pendii scompaiono fagocitati dalla caotica edilizia popolare degli anni '50 e '60 a cui si alternano, senza alcuna regola, gli insediamenti industriali e portuali.

Accanto a questi impianti ancora in parte attivi, si trova l'aeroporto internazionale "Cristoforo Colombo", la cui area si sviluppa su una penisola artificiale iniziata nel 1954 ed inaugurata ben 8 anni dopo. Il sedime aeroportuale ricopre un'area di circa 155 ettari dove le

infrastrutture aeroportuali si distinguono tra “lato aria”, comprendenti le piste di volo, le vie di rullaggio ed i piazzali aeromobili, e “lato terra”, comprensivi di viabilità di accesso al sedime aeroportuale, viabilità interna, parcheggi autoveicoli, terminal passeggeri e merci e gli edifici di supporto.



Figura 3.10 - Vista panoramica di Cornigliano dal mare - In primo piano la piattaforma aeroportuale

Dalle caratteristiche fisiche della pista di volo e delle vie di rullaggio, l'aeroporto rientra nella classe 4E ICAO, ovvero è abilitato a movimentare aeromobili che necessitano di una pista di base superiore a 1800 metri e che fisicamente hanno un'apertura alare fino a 65 metri ed una carreggiata delle ruote del carrello principale fino a 14 metri.



Figura 3.11 - Vista dalla piattaforma aeroportuale verso Sampierdarena

Per quanto riguarda la viabilità di accesso all'infrastruttura, questa è costituita da una strada a doppia carreggiata che ha origine dagli svincoli dell'autostrada A10 e raggiunge l'aerostazione con un percorso ad anello.

La viabilità di collegamento con l'aerostazione merci è utilizzata anche come strada del porticciolo turistico, ed è congestionata per le ridotte dimensioni della carreggiata e per la carenza di aree destinate al parcheggio. All'interno di tale anello è stato ricavato un parcheggio che offre la capacità di circa 1000 posti auto.



Figura 3.12 - Vista dell'aeroporto "C. Colombo" – In primo piano la pista di atterraggio, a seguire le industrie e la foce del Torrente Polcevera

Lo scalo viene spesso utilizzato come supporto per gli aeroporti del nord Italia qualora questi siano chiusi per nebbia e riveste un ruolo importante per il sostegno fornito alle strutture ed al personale del porto mercantile, che costituisce il principale bacino d'utenza, insieme alle industrie manifatturiere e alle rinomate strutture fieristiche che accolgono ogni anno eventi, quali il Salone Nautico di Genova.

Lo stato di progetto, che ha per oggetto la realizzazione delle infrastrutture connesse al nodo autostradale di Genova, prevede l'allargamento della piattaforma aeroportuale nello specchio acqueo antistante l'attuale aeroporto, andando così a riconfigurare il Canale di Calma.

Il suddetto allargamento sarà realizzato da una cassa di colmata, ottenuta mediante il versamento a mare del materiale di scavo proveniente dalla costruzione delle gallerie stradali a terra.



Figura 3.13 - Planimetria area di intervento con individuazione degli elementi esistenti interferiti dal progetto

3.2 Inquadramento amministrativo

Cornigliano è un quartiere del ponente della città di Genova che, dal punto di vista amministrativo, appartiene al *Municipio VI Medio Ponente* (vedasi figura seguente).



Figura 3.14 - Mappa dei municipi di Genova

Il comune di Genova è infatti amministrativamente suddiviso in nove municipi secondo la regolamentazione intitolata "Regolamento per il decentramento e la partecipazione

municipale” approvata dal Consiglio Comunale del 6 febbraio 2007 dove si stabilì la trasformazione dei consigli di circoscrizione in municipi. I suddetti municipi elencati entrarono così in vigore dopo le elezioni amministrative del 27 e 28 maggio 2007.

Ciascun municipio risulta suddiviso in unità urbanistiche definite sulla base di specifiche analisi urbanistiche ed edilizie; in particolare sono comprese in Cornigliano le unità di Cornigliano, Coronata, Erzelli e Campi, situato quest’ultimo sulle sponde del Polcevera, che insieme hanno una popolazione di circa 60.000 abitanti secondo il censimento del 31 dicembre 2006.

N°	Denominazione	Residenti	Superficie	Presidente	Unità urbanistiche comprese
VI	Medio Ponente	61.810 (10,1%)	1885,13 di cui 723,60 di centro abitato	Stefano Bernini	Sestri, San Giovanni Battista, Calcinara, Borzoli Ovest, Cornigliano, Campi

Tabella 3-1 - Municipalità VI - Medio Ponente

Ai 9 comuni si deve aggiungere la zona del porto con un’estensione di 845,48 ettari di cui 234,97 di centro abitato, per una popolazione di soli 83 residenti.

3.3 Inquadramento topo-batimetrico

Lo sviluppo del progetto definitivo dell’opera a mare nel Canale di Calma è basato sui seguenti rilievi:

- un rilievo celerimetrico a terra, in scala 1:1000, risalente al novembre 2009;
- un rilievo batimetrico del Canale di Calma, risalente al luglio-agosto 2010.

Il rilievo celerimetrico, impostato in coordinate Gauss-Boaga, copre la diga a mare e l’area a terra compresa tra il limite occidentale dell’aeroporto Cristoforo Colombo e la foce del torrente Polcevera per una fascia di circa 500 m (vedi Figura 3.15), del tutto sufficiente per l’individuazione dell’opera a mare e delle sue interferenze con l’esistente.

Il rilievo batimetrico, pure impostato in coordinate globali, copre l’intera zona del Canale di Calma compresa tra l’esistente diga foranea e l’attuale struttura di marginamento in cassoni cellulari dell’area dell’aeroporto; il rilievo, sul lato ovest, è esteso di circa 200 m oltre alla diga

in scogliera di protezione del marginamento ovest dell'aeroporto e, sul lato est, per tutta l'estensione della diga foranea, circa 500 m oltre la foce del torrente Polcevera (Figura 3.16).

Per le tavole di maggior estensione lato terra, detti rilievi sono stati interfacciati con il CTR regionale, in scala 1:5000, in coordinate Gauss-Boaga.

Per gli studi meteomarini ed idrodinamici, per i quali le batimetrie lato mare rispetto all'attuale diga foranea erano rilevanti, e per le tavole grafiche la cui estensione arriva oltre alla diga stessa, sono state utilizzate le carte nautiche, in scala 1:20.000, relative al Porto di Genova, fogli Est ed Ovest, ed in scala 1:30.000, relativa al litorale di Genova.

Per quanto riguarda le interferenze con gli scarichi dell'Aeroporto Cristoforo Colombo, ci si è avvalsi della cartografia fornita dall'Aeroporto stesso, riguardante gli schemi di smaltimento delle acque meteoriche (Figura 3.17).

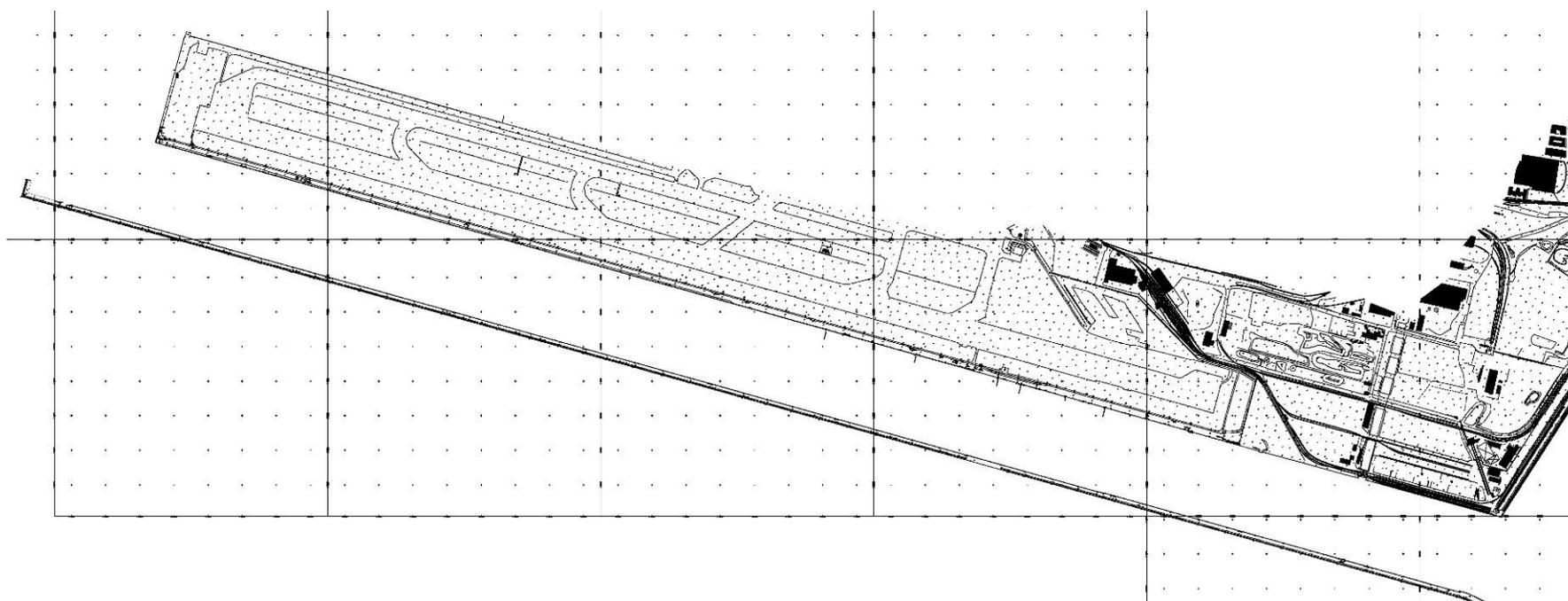


Figura 3.15 - Opera a mare nel Canale di Calma - Estensione del rilievo celerimetrico a terra

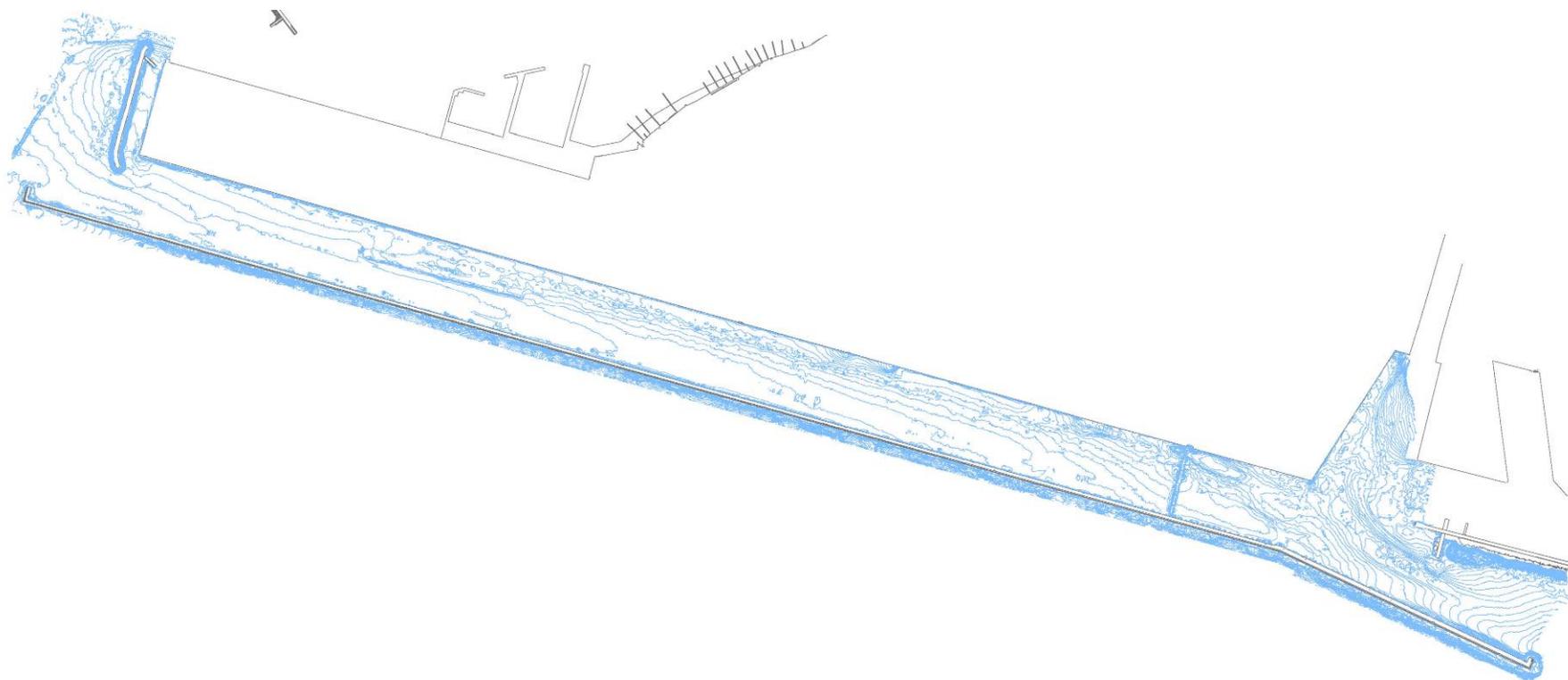


Figura 3.16 - Opera a mare nel Canale di Calma - Estensione del rilievo batimetrico

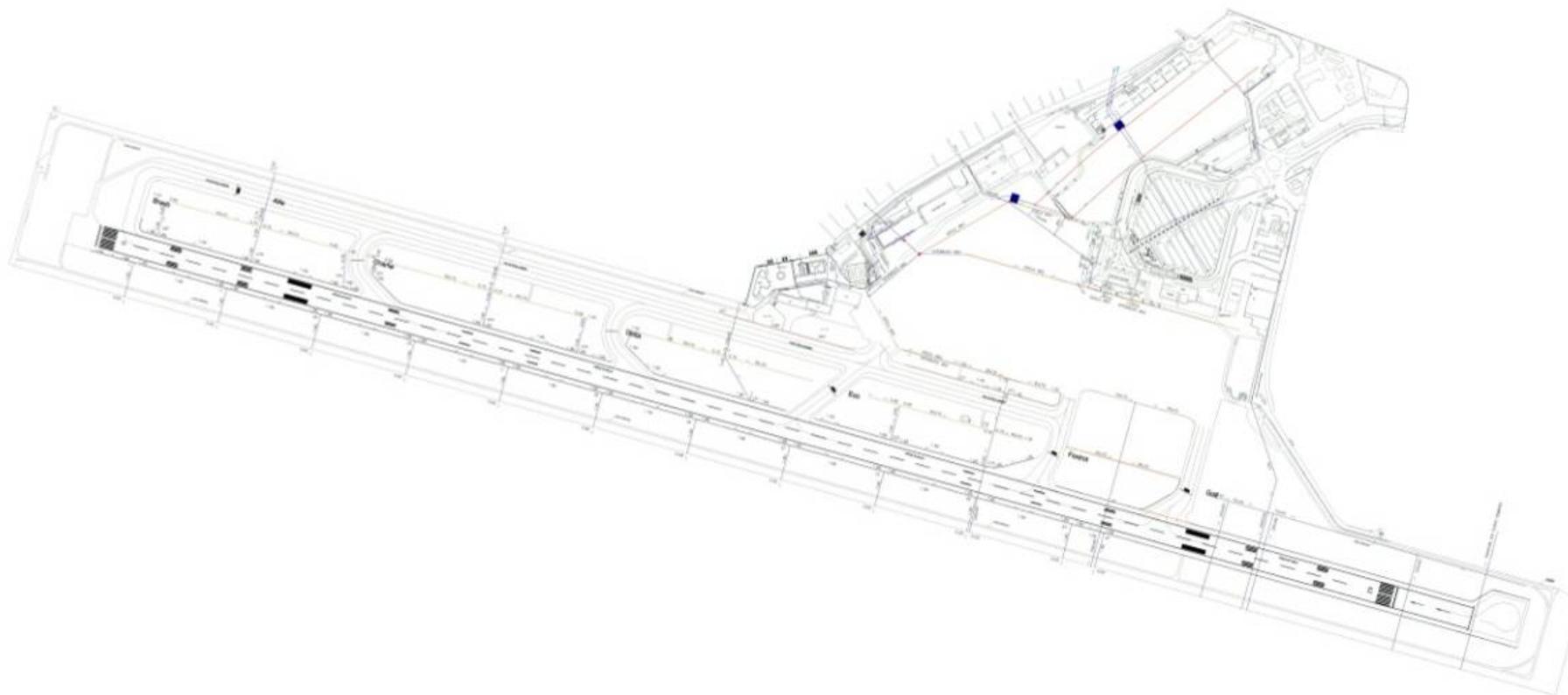


Figura 3.17 - Aeroporto Cristoforo Colombo - Schema del collettamento delle acque bianche

3.4 Inquadramento geologico

Si riporta di seguito una breve descrizione delle singole formazioni, rimandando a quanto descritto e riportato nel documento "Relazione Geologica" (Doc N°GEO-001)

Nell'ambito dell'area di interesse è stata riconosciuta una sola formazione geologica di substrato, rappresentata dai Metabasalti del Monte Figogna; al di sopra di tale formazione sono stati rinvenuti depositi alluvionali e marini, costituiti da materiale a granulometria eterogenea:

Metabasalti del Monte Figogna

Metabasalti massivi ed a cuscini, con orizzonti di brecce basaltiche a tessitura fluidale, più raramente si rinvencono filoni massicci a tessitura doleritica. Localmente sono presenti metadioriti in filoni, di spessore da decimetrico a metrico, a tessitura granulare, con fenomeni di autoclastesi ai bordi. I metabasalti si presentano poco deformati; un accenno di scistosità è più evidente dove si osserva lo stiramento dei pillow, che però solo raramente risulta accentuato. Età ipotizzata dal CARG: Malm

Depositi Alluvionali

Le alluvioni presenti nell'ambito dell'area indagata sono attribuibili al torrente Polcevera, che sfocia direttamente in mare proprio in questa zona; i depositi sono costituiti principalmente da ghiaie medie e grossolane a matrice sabbiosa.

Depositi Marini

Sono caratterizzati da assetti litostratigrafici e da composizione granulometrica estremamente eterogenea: superficialmente i depositi hanno granulometria variabile da sabbie a limi, con percentuali variabili di ghiaia e con consistenza tipicamente da sciolta a mediamente addensata. Questi depositi sovrastano i già descritti Metabasalti ed i depositi alluvionali. Nella porzione occidentale del canale di calma, a profondità variabile da 34 a 41 m, i depositi marini sono costituiti da argille consistenti. Tali depositi si interdigitano nella porzione orientale ai depositi alluvionali ascrivibili al torrente Polcevera.

Materiale di Riporto

Il riempimento antropico, costituito da materiale di svariata natura e pezzatura, si riscontra principalmente in prossimità del rilevato aeroportuale, che è stato costruito anche mediante l'impiego di cassoni; uno spessore ridotto di materiale antropico è comunque presente anche al di fuori delle pertinenze aeroportuali ed in particolare proprio all'interno del canale di

calma. Lo spessore del riporto in corrispondenza del rilevato aeroportuale si attesta tra i 16 ed i 17 metri circa, mentre nel canale di calma, ove presente, il materiale antropico raggiunge spessori massimi nell'ordine dei 5 metri.

3.5 Caratterizzazione geotecnica

Di seguito si descrivono le risultanze della caratterizzazione geotecnica dell'area d'intervento e del materiale di smarino utilizzato per la realizzazione dell'opera. Per maggiori dettagli e approfondimenti si rimanda all'elaborato "Relazione Geotecnica e Sismica" (Doc N°APE 9010).

3.5.1 Indagini Geotecniche

Nel periodo Ottobre-Novembre 2010 è stata eseguita una specifica campagna di indagini in corrispondenza dell'opera in progetto, al fine di verificare direttamente la litologia e le caratteristiche geotecniche dei terreni coinvolti e per eseguire tre prove di tipo Cross Hole funzionali alla determinazione dei parametri sismici.

Nell'ambito della campagna d'indagine geognostica, le attività sono state svolte principalmente nel canale di calma antistante l'aeroporto e in misura minore sul medesimo rilevato aeroportuale.

La campagna di indagini in sito ha previsto l'esecuzione delle seguenti prove:

- n° 9 Sondaggi a rotazione a carotaggio continuo, spinti fino alle quote, riferite al livello medio del mare (l.m.m.), specificate in Tabella 3-2, con prelievo di campioni indisturbati negli strati coesivi ed esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT, prevalentemente nei materiali più grossolani. I sondaggi SJ4 e SJ7 sono stati realizzati sulla banchina aeroportuale a tergo della quale si sviluppa la penisola artificiale sulla quale è realizzato l'aeroporto internazionale Cristoforo Colombo.

Sondaggio	Quote l.m.m. [m]
SJ1	-61.00
SJ2	-73.00
SJ3	-62.00
SJ4	-48.00
SJ5	-55.50
SJ6	-73.00
SJ7	-48.00
SJ8	-73.00
SJ9	-73.00

Tabella 3-2 – Quote dei sondaggi geotecnici

- n° 7 Prove penetrometriche statiche con punta piezometrica (CPTU, Cone Penetration Test Undrained), realizzate in prossimità dei sondaggi SJ2, SJ4, SJ5, SJ6, SJ7, SJ8, SJ9, spinte fino alle profondità indicate in Tabella 3-3.

Verticale	Quote l.m.m. [m]
CPTU-2	-49.44
CPTU-4	-46.40
CPTU-5	-40.70
CPTU-6	-77.10
CPTU-7	-48.00
CPTU-8	-74.73
CPTU-9	-51.32

Tabella 3-3 – Profondità raggiunte dalle CPTU.

- n°4 Prove dilatometriche Marchetti (DMT), realizzate in prossimità delle verticali di sondaggio SJ1, SJ2, SJ6, SJ8, spinte fino alle profondità indicate in Tabella 3-4.

Verticale	Quote l.m.m. [m]
DMT-1	-57.40
DMT-2	-62.20
DMT-6	-61.80
DMT-8	38.40

Tabella 3-4 – Profondità raggiunte dalle DMT.

- n°3 Prove geofisiche sismiche tipo Cross-Hole realizzate in corrispondenza delle verticali di indagine SJ2, SJ4 e SJ6.

La planimetria riportata in Figura 3.18, illustra l'ubicazione delle verticali d'indagine.

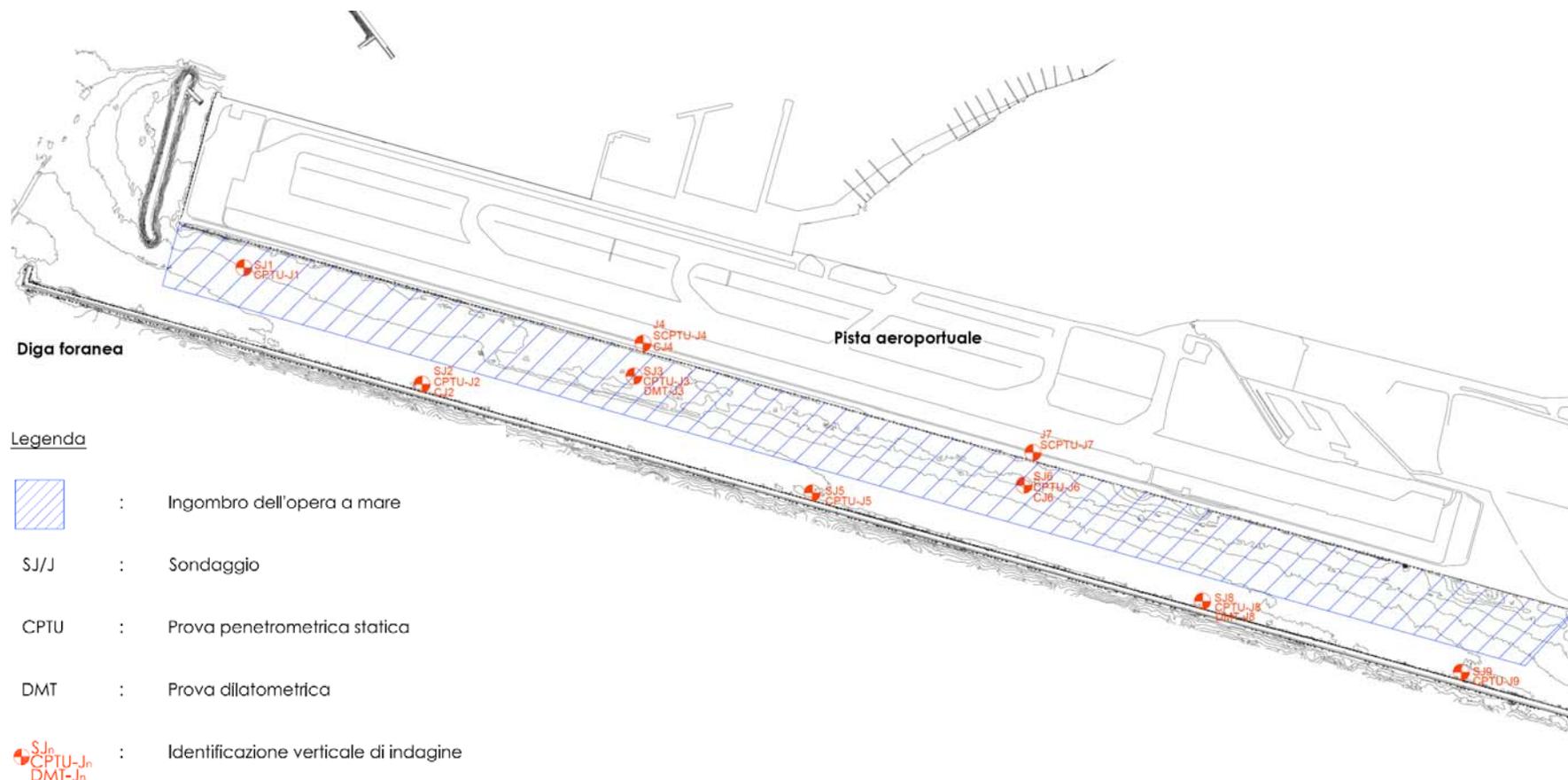


Figura 3.18 - Planimetria generale delle indagini geotecniche

3.5.2 Prove di laboratorio

Il programma delle indagini di laboratorio, tuttora in fase di completamento, prevede l'esecuzione di prove su campioni indisturbati e campioni rimaneggiati prelevati in sito e su campioni ricostituiti in laboratorio.

I risultati delle prove di laboratorio attualmente disponibili sono stati allegati al progetto e saranno riportati nel report finale del Laboratorio C.G.G. Geotechnical Analysis s.r.l., da considerare come allegato alla presente relazione.

Sono in programma le seguenti prove di laboratorio su campioni indisturbati:

- n°342 prove di classificazione ed identificazione, di cui nello specifico:
 - n° 57 misure del contenuto d'acqua;
 - n°57 misure del peso di volume naturale;
 - n°57 misure del peso specifico dei grani;
 - n°57 misure dei limiti di Atterberg;
 - n°57 analisi granulometriche per vagliatura;
 - n°57 analisi granulometriche per sedimentazione;
- n°30 prove di compressione edometrica, con determinazione del coefficiente di consolidazione secondario;
- n°4 prove di compressione edometrica a deformazione controllata, con determinazione del coefficiente di consolidazione secondario;
- n°32 prove di compressione triassiale non consolidata non drenata (UU);
- n°25 prove di compressione triassiale consolidate drenate (CID);
- n°25 prove di compressione triassiale consolidate non drenate (CIU), di cui n°2 mediante l'applicazione di carichi ciclici;
- n°9 prove di taglio diretto;
- n°2 prove di permeabilità;
- n°4 prove di colonna risonante;
- n°4 prove di taglio torsionale ciclico.

Con riferimento ai campioni rimaneggiati, sono in programma le seguenti prove di laboratorio:

- n°121 prove di classificazione ed identificazione, di cui nello specifico:
 - n°121 analisi granulometriche per setacciatura;
 - n°121 analisi granulometriche per sedimentazione.

Con riferimento ai campioni ricostituiti, sono in programma le seguenti prove di laboratorio:

- n°7 misure dei limiti di Atterberg;
- n°4 prove di compressione edometrica;
- n°1 prova di compressione triassiale consolidata non drenata ciclica (CIU).

3.5.3 *Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione*

Sulla base degli esiti dei sondaggi effettuati e dell'analisi dei risultati delle indagini geotecniche in sito e delle prove di laboratorio, si presentano e descrivono di seguito le formazioni geotecniche di riferimento.

La quota media di fondale è stata considerata pari a -13 m l.m.m..

Lo schema stratigrafico di riferimento comprende le seguenti unità, definite per profondità crescenti a partire dal fondale:

- Fondale 0. Orizzonte a grana fine, di scarse caratteristiche meccaniche, avente spessore variabile tra 1 e 4 m. Tale livello sarà direttamente interessato dal fenomeno di compenetrazione del materiale di riempimento. Si prevede l'eventuale dragaggio delle zone caratterizzate da spessori significativi di tale materiale (i.e. 3÷4 m), perlomeno al di sotto dello scanno di fondazione dei cassoni.
- Formazione A: sabbie limose. Terreno prevalentemente sabbioso con limo, di spessore pari a 7 m, con possibili intercalazioni di limi sabbiosi.
- Formazione B: limo sabbioso. Formazione di materiale prevalentemente a grana fine, di tipo limoso, con presenza talvolta significativa di frazioni sabbiose, generalmente più frequenti nelle verticali prossime alla pista aeroportuale, ed occasionalmente argillose. Si è assunto uno spessore pari a circa 20 m.
- Formazione C: sabbie limose. Formazione di materiale prevalentemente granulare, costituito da sabbie fini con percentuali limose e argillose significative, di spessore pari a circa 10 m.
- Formazione D: argilla. Formazione limoso/argillosa presente per profondità maggiori di 38 m dal fondale.

La Tabella 3-5 offre una sintesi della stratigrafia di riferimento sopra descritta.

ID strato	Materiale	Profondità da fondale [m]	
		da	a
0	Fondale	0	1
A	Sabbia limosa	1	8
B	Limo sabbioso	8	28
C	Sabbia limosa	28	38
D	Argilla	> 38	

Tabella 3-5 – Stratigrafia di riferimento

3.5.3.1 Modello geomeccanico dei terreni di fondazione

Per quanto riguarda i parametri geotecnici delle diverse unità deposizionali individuate, in Tabella 3-6 si riportano i valori di riferimento per le verifiche geotecniche in oggetto.

Strato	γ kN/m ³	φ' °	c' kPa	c_u kPa	E' MPa	ν' -	c_v m ² /s	$C_{\alpha\varepsilon}$ %
A	19.0	33	0	-	5	0.25	-	-
B	19.0	-	-	80	6	0.25	2x10 ⁻⁶	2·10 ⁻³
C	19.0	35	0	-	35	0.25	-	-
D	19.0	-	-	140	20	0.25	1x10 ⁻⁶	2·10 ⁻³

Tabella 3-6 – Parametri geotecnici di riferimento per i terreni naturali.

γ = peso di volume totale

φ' = angolo di attrito di picco, in sforzi efficaci

c' = coesione, in sforzi efficaci

c_u = resistenza al taglio non drenata non consolidata

E' = modulo di rigidezza o modulo di Young

ν' = coefficiente di Poisson

c_v = coefficiente di consolidazione verticale

$C_{\alpha\varepsilon}$ = coefficiente di consolidazione secondaria di compressione

Le stratigrafie di riferimento così determinate rappresentano una schematizzazione semplificata delle reali condizioni stratigrafiche, che sono, nella realtà, caratterizzate da intercalazioni e stratificazioni locali non riproducibili nei calcoli.

Si sottolinea, infine, che la caratterizzazione effettuata deriva dall'analisi critica e dal confronto dei risultati acquisiti dalle diverse indagini geotecniche eseguite, che ha consentito di stimare l'attendibilità e la rappresentatività dei dati disponibili. Sotto questo punto di vista è importante sottolineare che le sottostime dei parametri geotecnici associate ai dati ottenuti mediante le prove CPTU, derivano da problemi di taratura nella misura della resistenza alla punta delle stesse prove penetrometriche CPTU effettuate.

3.6 Caratterizzazione sismica

La definizione dell'azione sismica da considerare nel progetto dell'opera è riportata nella "Relazione Geotecnica e Sismica" (Doc N°APE 9010)

I parametri assunti per le verifiche con metodo pseudostatico, definiti sulla base della Normativa vigente, sono di seguito riportati:

- Classe d'uso: $C_U = 2.0$

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

- Vita nominale dell'opera: $V_N = 100$ anni
- Periodo di riferimento dell'opera: $V_R = V_N \cdot C_U = 200$ anni
- Probabilità di superamento nel periodo di riferimento allo SLV: $PVR = 0.10$

Coordinate di riferimento:

- Latitudine = 44.4092°
- Longitudine = 8.8439°

Sono stati quindi determinati i parametri rappresentativi della pericolosità sismica di base del sito (condizioni ideali di sito di riferimento rigido - Categoria A - con superficie topografica orizzontale), utilizzati successivamente per la determinazione dei coefficienti sismici, mediante

il programma *Azioni sismiche – Spettri di risposta* messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito (0.098 g)
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (2.582);
- T_C : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (0.314).

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito a_{max} è definita come:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

S_T : coefficiente di amplificazione topografica;

S_S : coefficiente di amplificazione stratigrafica.

Nel caso in esame, il coefficiente di amplificazione topografica S_T è stato assunto unitario.

In assenza di un'analisi di risposta sismica locale, per la definizione dell'azione sismica si è fatto riferimento all'approccio semplificato basato sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

La classificazione è stata effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (SPT) $N_{SPT,30}$ nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata $c_{u,30}$ nei terreni prevalentemente a grana fina.

I risultati ottenuti evidenziano una Categoria di sottosuolo C per le verticali 3, 6 e 8 ed una Categoria di sottosuolo D per le verticali 1, 2, 5 e 9.

In termini progettuali, si è quindi optato cautelativamente per l'adozione di una Categoria di sottosuolo D, per la quale si ottiene un coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S pari a 1.80.

A tale proposito e sulla base dei risultati ottenuti, che evidenziano valori di $N_{SPT,30}$ e di $c_{u,30}$ generalmente prossimi ai valori limite tra Categoria C e Categoria D posti dalla Normativa, è bene sottolineare che la scelta effettuata è stata confermata dalle 3 prove geofisiche di tipo cross-hole effettuate in sito, corrispondenti alle verticali CJ2, CJ4 e CJ6.

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito a_{max} risulta pertanto pari a:

$$a_{max} = S \cdot a_g = 1.8 \cdot 1 \cdot 0.098g = 0.176g$$

Con riferimento alle verifiche allo stato limite ultimo relative all'opera di sostegno in progetto, sono stati adottati i coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v valutati mediante le seguenti espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot a_{max}/g$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove:

- β_m : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Nel caso in esame, assumendo un valore di β_s pari a 0.18 si ottiene:

- $k_h = 0.032$
- $k_v = \pm 0.016$

3.7 Caratteristiche ambientali dei fondali dell'area d'intervento

Il documento "Scheda di rilievo parametri chimici dei sedimenti marini" (Doc N°MAM-C-AMBX-SUO-001), riporta le caratteristiche ambientali dei fondali dell'area d'intervento.

La descrizione delle caratteristiche chimiche dei sedimenti deriva dalle analisi svolte sui campioni prelevati dai sondaggi precedentemente descritti; in Tabella 3-7 per ogni sondaggio vengono presentate le profondità di prelievo dei campioni destinati alle analisi chimiche.

Come si può osservare in tabella, per ogni sondaggio sono stati prelevati 4 campioni a diverse profondità, in modo da caratterizzare i principali orizzonti sedimentari dei fondali. I campioni più profondi sono relativi ad un orizzonte di circa 8-9 m, ritenuto sufficiente a rappresentare condizioni attribuibili al fondo naturale o comunque a condizioni preindustriali.

I campioni CA1 dei sondaggi situati lungo il margine aeroportuale (SJ1, SJ3 e SJ6) sono rappresentativi degli strati limosi superficiali, con l'eccezione del punto SJ3 ove il campione è stato prelevato nell'orizzonte sabbioso per l'impossibilità di campionare lo strato sovrastante. Gli altri campioni (CA2, CA3 e CA4) sono tutti riferiti allo strato sabbioso sabbie fini con componenti limose), seppur a differenti profondità.

Nel caso dei sondaggi situati lungo la diga foranea invece solo i campioni superficiali dei sondaggi SJ8 e SJ9 sono rappresentativi dei sedimenti a granulometria fine presenti in superficie, gli altri due essendo collocati all'interno della struttura di imbasamento della scogliera. I campioni più profondi sono invece ricavati all'interno di strati sabbiosi o limosi a seconda delle caratteristiche stratigrafiche del sondaggio.

Dall'analisi visiva l'argilla ed il limo superficiali appaiono di colore "nerastro" ciò in genere è tipico di sedimenti fini, soggetti ad accumulo di sostanze organiche ove prevalgono condizioni di deficit di ossigeno e quindi la degradazione delle sostanze organiche è essenzialmente svolta da batteri anaerobi obbligati o facoltativi che portano alla formazione di composti ridotti (es. solfuri) E' una situazione che si riscontra spesso in ambienti portuali o in zone a debole ricambio.

Il riferimento alla profondità del campione ed alla granulometria dello stesso riveste una notevole importanza nell'interpretazione dei dati chimici, è infatti noto in letteratura che generalmente i contenuti di elementi in traccia sono più elevati nelle zone ove sono predominanti le frazioni fini, in quanto queste hanno una maggiore capacità di adsorbire le sostanze presenti in soluzione e accumularle nel sedimento.

Campione ambientale	SJ1	SJ2	SJ3	SJ5	SJ6	SJ8	SJ9
CA1	0,50-1,0 m Limo grigio scuro debolmente sabbioso e sabbia fine grigio scura da debolmente limosa a limosa	0,50-1,0 m Trovante e ghiaia; scoglio	1,00-1,40 m Sabbie, grigio-grigio scuro, da fini a medio fini, localmente limose	0,50-1,0 m Trovante e ghiaia scogliera	0,50-1,0 m Limo nerastro sabbioso	0,50-1,0 m Argilla debolmente limosa nerastra	0,70-1,00 m Argilla debolmente limosa nerastra con rari elementi di ghiaia
CA2	2,70-3,00 m Sabbia fine grigio scura da debolmente limosa a limosa	2,80-3,00 m Trovante e ghiaia; scoglio	2,80-3,00 m Sabbie, grigio-grigio scuro, da fini a medio fini, localmente limose	2,50-2,90 m Trovante e ghiaia scogliera	2,70-3,00 m Sabbie fini grigio scuro debolmente limose	3,60-4,00 m Sabbia fine con limo grigia	2,70-3,00 m Argilla debolmente limosa nerastra con rari elementi di ghiaia
CA3	5,50-6,0 m Sabbia fine grigio scura da debolmente limosa a limosa	4,50-4,85 m Sabbie grigie limose	5,00-5,30 m Sabbie, grigio-grigio scuro, da fini a medio fini, localmente limose	5,00-5,20 m Limi sabbiosi grigi	5,40-5,60 m Sabbie fini grigio scuro con aumento della frazione limosa	5,00-5,40 m Sabbia fine con limo grigia	5,50-5,80 m Sabbia fine grigia con limo
CA4	8,40-8,80 m Sabbia fine grigio scura da debolmente limosa a limosa	8,00-8,50 m Limi e sabbie limose grigie con raro ghiaino	8,00-8,30 m Sabbie, grigio-grigio scuro, da fini a medio fini, localmente limose	8,00-8,40 m Limi sabbiosi grigi	8,40-8,60 m Sabbie fini grigio scuro con aumento della frazione limosa	7,00-7,20 m Limo sabbioso da argilloso a debolmente argilloso, grigio	8,50-8,80 m Limo argillo-sabbioso grigio

Tabella 3-7 - Campioni ambientali su cui sono state eseguite le analisi chimiche

Per questo motivo spesso gli standard di qualità dei sedimenti vengono messi in relazione al contenuto di pelite (la frazione con granulometria inferiore a 60 micron) o del contenuto di carbonio organico, anch'esso in grado di intrappolare le sostanze organiche di sintesi presenti in soluzione, specialmente quelle non polari, a bassa solubilità in acqua. La profondità del campione invece, come è intuibile, è generalmente un indicatore dell'età del sedimento e quindi è utile per discriminare i contributi di elementi di origine antropica da quelli di origine naturale; è infatti possibile che alcuni elementi siano presenti con concentrazioni naturali (cui si riferisce abitualmente con il termine "fondo naturale") con valori molto diversi a seconda del luogo e delle loro caratteristiche mineralogiche; tanto che a livello nazionale APAT¹ prevede vengano definiti valori di riferimento locali (Livelli Chimici di Base locali) per i sedimenti delle diverse aree costiere

¹ APAT ICRAM (2008) Manuale per la movimentazione di sedimenti marini.

I risultati delle indagini condotte nei canali di calma sono riportati nella Tabella 3-8

Per valutare lo stato di qualità dei sedimenti sono state condotte due tipologie di analisi. La prima è finalizzata a valutarne la pericolosità associata all'attività di colmata; la seconda è finalizzata a confrontare i dati sito specifici con informazioni ricavate in ambiti limitrofi evidenziando l'eventuale presenza di livelli di fondo naturali.

Per valutare la pericolosità i risultati delle indagini svolte sono stati confrontati con il limite normativo indicato dal D.Lgs. 152/2006 (allegato 5 del titolo V della parte quarta) per i suoli destinati ad uso industriale. Benché tale valore si riferisca a terreni emersi è stato ritenuto corretto un suo utilizzo essendo lo stesso da adottare per valutare il materiale da impiegare per la costruzione della colmata, che andrà realizzata sopra i fondali del canale di calma.

Come si può osservare, il superamento dei limiti tabellari riguarda esclusivamente la frazione pesante ($C > 12$) degli idrocarburi. In particolare tali composti sono presenti in modo diffuso lungo tutto lo strato superficiale e raggiungono le concentrazioni più significative nella parte più orientale del canale.

La presenza di tali composti è ragionevolmente attribuibile ad attività antropiche, come per altro riscontrato in molti ambiti portuali, e che le condizioni idrodinamiche, già descritte in precedenza, abbiano favorito l'accumulo in prossimità della foce del T. Polcevera.

Con lo scopo di confrontare i dati ottenuti dalle analisi del sedimento del canale di calma con informazioni ricavate in ambiti limitrofi, sono stati considerati i risultati delle indagini condotte in tre stazioni:

- Stazione 008 ubicata in ambito portuale in prossimità della sinistra idrografica della foce del T. Polcevera (Figura 3.19). I dati utilizzati si riferiscono al periodo 2008-2009.
- Stazione 802 ubicata alla bocca dell'area portuale di Multedo (Figura 3.20). I dati utilizzati si riferiscono al periodo 2009.
- Stazione POLS facente parte della rete di monitoraggio regionale dell'ecosistema marino gestita da ARPAL. Tale stazione è ubicata a circa un chilometro dalla costa in direzione sud est rispetto all'area di intervento (Figura 3.21), e può essere ragionevolmente considerata come indicativa di condizioni naturali essendo distante da potenziali fattori di pressione antropica. I dati utilizzati si riferiscono al periodo 2006-2009.

	Antimonio	Arsenico	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo totale	Mercurio	Nichel	Piombo	Rame	Selenio	Stagno	Vanadio	Zinco	Idroc. aromatici	IPA	Idroc. leggeri C<12	Idroc. pesanti C>12
Colonna B (D.Lgs. 152/206)	30	50	10	15	250	800	5	500	1000	600	15	350	250	1500	100	100	250	750
SJ1-CA1	0,580	3,560	0,150	0,010	17,260	124,390	0,390	290,470	30,670	26,970	0,060	4,210	59,030	139,330	<0,01	0,009	<0,01	6,070
SJ1-CA2	0,690	12,480	0,120	0,540	20,610	210,070	0,360	338,940	27,490	18,970	0,100	2,600	85,560	135,350	<0,01	0,001	0,020	2,360
SJ1-CA3	0,830	12,090	0,160	<0,01	14,110	117,610	0,440	199,510	5,910	17,170	0,050	1,590	68,300	131,690	<0,01	<0,001	<0,01	28,710
SJ1-CA4	0,150	10,040	0,160	<0,01	15,750	144,160	0,120	213,120	6,110	18,090	0,070	0,790	65,960	87,880	0,030	<0,001	0,060	1,890
SJ2-CA1	0,400	2,660	0,240	0,040	4,270	20,900	1,650	30,570	20,370	20,430	0,100	0,280	17,380	65,330	<0,01	0,016	<0,01	67,270
SJ2-CA2	0,050	5,770	0,200	0,020	4,060	20,660	0,140	33,670	7,390	24,120	0,110	1,220	4,930	77,090	0,060	<0,001	0,180	7,950
SJ2-CA3	1,080	10,850	0,170	<0,01	17,010	107,020	0,090	219,880	9,720	23,630	0,050	1,900	57,600	132,220	<0,01	<0,001	<0,01	23,050
SJ2-CA4	0,250	15,730	0,130	<0,01	15,150	126,880	0,190	176,810	4,910	17,230	0,070	3,210	64,670	122,110	<0,02	<0,001	0,010	11,390
SJ3-CA1	1,500	6,120	0,180	0,160	6,950	33,840	0,820	54,750	138,980	44,590	0,070	3,940	42,160	140,090	<0,03	0,005	0,020	275,090
SJ3-CA2	1,310	10,150	0,080	<0,01	13,650	57,480	0,090	166,630	8,770	15,950	0,040	0,450	43,040	117,950	<0,04	0,007	<0,01	2,010
SJ3-CA3	0,520	4,620	0,130	<0,01	13,080	80,220	0,200	186,530	7,740	16,190	0,220	0,670	52,920	123,390	<0,05	0,001	0,010	4,210
SJ3-CA4	0,410	11,060	0,190	<0,01	16,070	161,790	0,740	249,710	9,910	16,460	0,080	0,210	71,580	110,950	0,010	<0,001	0,150	21,140
SJ5-CA1	0,460	6,570	0,310	0,100	10,830	10,350	0,360	56,930	17,590	16,020	0,150	1,540	22,600	73,110	<0,01	0,001	<0,01	32,550
SJ5-CA2	0,350	5,220	0,200	0,040	6,520	52,640	0,220	67,460	19,080	16,960	0,140	0,940	32,220	57,090	<0,02	<0,001	0,040	46,350
SJ5-CA3	0,190	8,950	0,080	<0,01	12,010	48,450	0,160	130,130	6,540	16,230	0,040	1,650	38,950	50,310	<0,03	<0,001	<0,01	4,190
SJ5-CA4	0,890	14,670	0,130	<0,01	14,940	119,430	0,130	179,680	5,820	16,710	0,070	0,760	65,690	108,170	0,040	<0,001	0,110	34,550
SJ6-CA1	0,080	14,000	0,290	0,480	13,790	103,970	1,390	146,580	99,570	74,230	0,080	49,350	81,750	95,960	<0,01	0,244	<0,01	5081,470
SJ6-CA2	0,460	11,610	0,150	<0,01	12,300	63,530	0,220	127,370	7,810	17,800	0,040	1,690	51,210	66,100	<0,01	<0,001	<0,01	24,160
SJ6-CA3	0,430	11,480	0,210	<0,01	14,590	122,870	0,320	165,060	29,240	24,340	0,080	1,790	67,940	112,050	<0,01	0,001	<0,01	17,680
SJ6-CA4	0,370	12,080	0,120	<0,01	13,880	143,560	0,100	180,660	10,580	15,420	0,060	4,750	71,410	119,310	<0,01	<0,001	<0,01	88,060
SJ8-CA1	0,130	8,540	0,270	0,770	10,870	173,060	1,070	122,010	141,580	72,600	0,190	36,100	98,550	145,300	0,030	0,001	0,070	1971,700
SJ8-CA2	0,570	5,220	0,150	<0,01	12,290	42,650	0,200	108,570	9,570	23,680	0,050	0,840	47,580	92,300	<0,01	<0,001	<0,01	10,390
SJ8-CA3	0,080	9,660	0,150	<0,01	12,740	49,320	0,110	113,080	8,880	21,280	0,060	0,730	52,990	87,420	<0,01	<0,001	<0,01	25,630
SJ8-CA4	0,460	7,960	0,220	<0,01	13,020	76,340	0,520	135,650	9,350	23,910	0,080	1,280	53,220	79,080	<0,01	<0,001	<0,01	32,160
SJ9-CA1	0,280	5,710	0,260	0,490	12,690	20,310	0,490	69,490	91,370	66,240	0,080	10,140	40,170	74,560	<0,01	<0,001	<0,01	630,690
SJ9-CA2	0,480	7,230	0,360	0,540	14,410	82,720	2,780	112,550	122,570	94,370	0,170	1,110	133,100	131,100	<0,01	3,900	0,030	3039,650
SJ9-CA3	0,340	9,520	0,230	<0,01	19,070	69,630	0,190	169,920	35,720	38,960	0,110	1,950	56,760	125,270	<0,01	0,001	<0,01	70,310
SJ9-CA4	1,320	8,720	0,210	<0,01	18,070	57,360	0,130	144,660	14,840	44,610	0,130	0,770	44,090	89,690	<0,01	<0,001	<0,01	16,030

Tabella 3-8 - Risultati delle analisi dei principali inquinanti inorganici e organici nei sedimenti del canale di calma (mg/kg s.s.) e limiti normativi di riferimento.

I risultati delle indagini in queste stazioni e nelle stazioni proprie del canale di calma, sono state confrontati tra di loro e sono stati confrontati con i valori limite previsti dal D.M. 56/2009 relativo alle acque superficiali e marino costiere e con i livelli chimici di base proposti da ICRAM che pur essendo relativi ad attività di movimentazione costituiscono un utile parametro di riferimento.

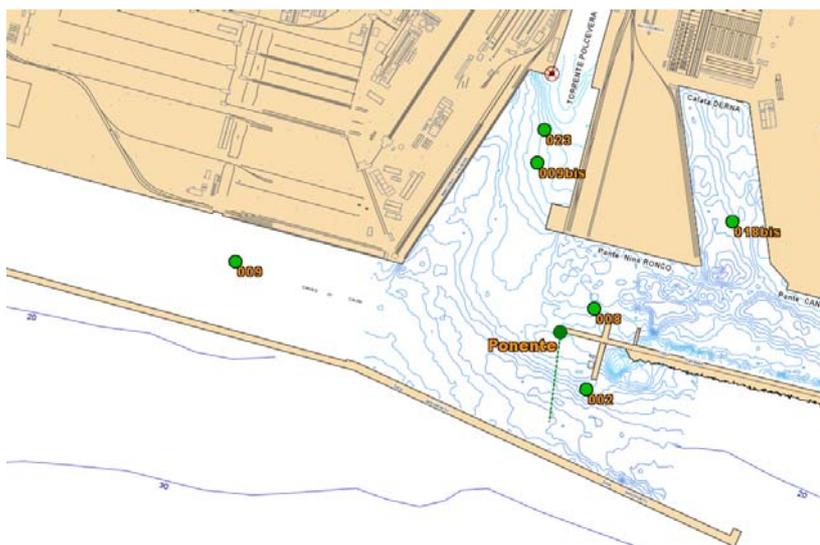


Figura 3.19 - Stazioni di monitoraggio presenti nei pressi del canale di calma, area di levante del porto di Genova

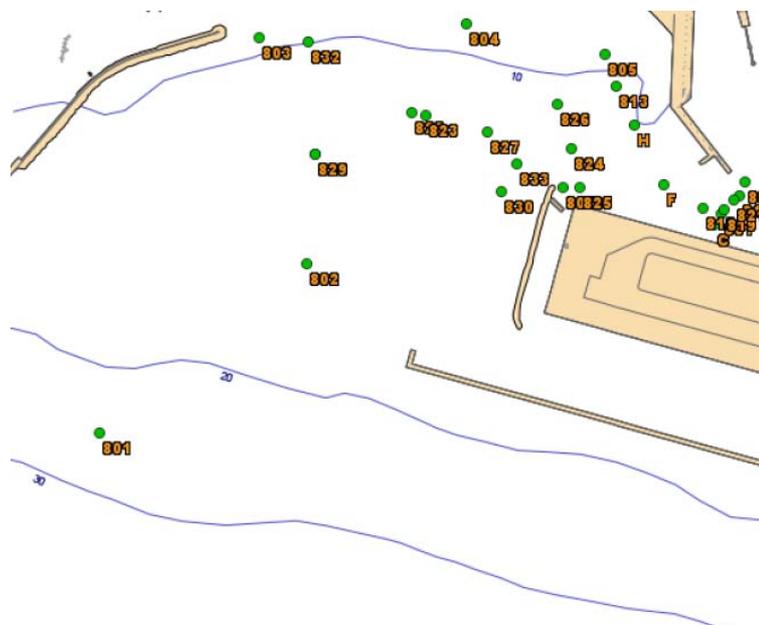


Figura 3.20 - Stazioni di monitoraggio presenti nei pressi del canale di calma, area di ponente del porto di Genova

GENOVA - STAZIONI ANTISTANTI ALLA FOCE DEL TORRENTE POLCEVERA	CARATTERISTICHE STAZIONE
	Rete di monitoraggio:
	Rete regionale di monitoraggio dell'ecosistema marino;
	Tipo monitoraggio:
	Sedimento
	Identificativo:
	9032
	Codice stazione:
	MA00972
	Ubicazione:
	POLS
	Coordinate Gauss Boaga:
	Y: 4915877; X: 1489138;
	Distanza dalla diga foranea:
	~900 m
Distanza dalla costa:	
~1170 m	
Quote di prelievo:	
-34 m	
Metodiche di campionamento:	
-	

Figura 3.21 - Stazione di monitoraggio della qualità dei sedimenti

In Tabella 3-9 sono riportati i valori medi delle concentrazioni riscontrate e i sopracitati valori di riferimento.

Si può notare come per alcuni parametri i valori medi della stazione POLS superano i limiti previsti dal D.M 56/2009 ed i livelli chimici di base (LCB) proposti da ICRAM. In particolare cromo e nichel risultano particolarmente elevati. Ciò potrebbe indicare un arricchimento naturale dei sedimenti dovuto alle caratteristiche litologiche dei bacini imbriferi dei corsi d'acqua che sfociano nell'area di studio. Tale ipotesi trova una ragionevole conferma negli

studi condotti da ARPAL sulle rocce che formano il Gruppo di Voltri². Tale studio, infatti, ha messo in luce l'elevato contenuto di cromo, nichel e cobalto nei suoli su ultramafiti (principale sorgente geochimica dei metalli pesanti) del Gruppo di Voltri, ed in particolare nelle serpentiniti del Gruppo di Voltri si raggiungono i 1.966 mg/kg s.s. di cromo, 2.533 mg/kg s.s. di nichel e 125 mg/kg s.s. di cobalto. Elevati valori di tali composti sono stati rilevati anche negli "stream sediments" e negli arenili originatisi dallo stesso gruppo litologico in cui si ritrovano fino a 1.731 mg/kg s.s. di cromo, 641 mg/kg s.s. di nichel e 27,6 mg/kg s.s. di cobalto.

	D.M. 56/09	ICRAM (2006)	POLS (2006-2009)		Stazione portuale 008 (2008-2009)		Stazione portuale 802 (2009)
			media	dev.st.	media	dev.st.	media
Alluminio	-	-	-	-	13641	1546	16491
Arsenico	12	25	10,8	5,26	9,4	3,8	14,4
Cadmio	0,3	0,35	0,19	0,11	0,49	0,07	0,05
Cromo totale	50	100	201	93	115	40	340
Ferro	-	-	-	-	40797	4285	39163
Mercurio	0,3	0,4	0,24	0,06	0,53	0,21	0,11
Nichel	30	70	147	26	119	28	373
Piombo	30	40	199	242	108	9,8	27
Rame	-	40	41	10	85	25,8	24
Vanadio	-	-	40,5	4	39	4,3	42
Zinco	-	100	121	85	228	46	82

Tabella 3-9 - Concentrazione dei principali metalli pesanti nel sedimento (mg/kg s.s.).

Elevate concentrazioni di cromo e nichel sono state trovate anche nelle due stazioni portuali e nel canale di calma con valori, in quest'ultimo, generalmente più elevati nei campioni profondi (medie di 118,5 mg/kg s.s. di cromo e 182,9 mg/kg s.s. di nichel) rispetto a quelli superficiali (medie di 69,6 mg/kg s.s. di cromo e 110,1 mg/kg s.s. di nichel). L'analisi statistica eseguita con un confronto tra le medie (test "t" di Student con livello di significatività $p < 0,05$; Figura 3.22) non ha messo in luce differenze significative tra lo strato superficiale e quello di fondo evidenziando così una buona uniformità nella distribuzione di tali composti nel sedimento, ulteriore conferma dell'origine naturale di tali composti.

² Dotti N., Beccaris G., Pucci V., Proposta di metodologia per la determinazione del fondo naturale ed esempio applicativo. Progetto realizzato dal Settore Geologia e Idrogeologia – Direzione Scientifica in collaborazione con i Dipartimenti ARPAL Provinciali di Genova, La Spezia e il DIP.TE.RIS dell'Università di Genova. Atti di convegno: settimana ambientale 2004.

Considerando altri parametri, si osservano differenze tra la stazione POLS e quelle portuali e tra le stesse stazioni portuali. Per quest'ultime in particolare la differente vivacità idrodinamica sembra essere la principale causa della dispersione di eventuali apporti di inquinanti antropici. È il caso per esempio di cadmio, piombo e rame pur evidenziando che per il piombo il dato ARPAL riportato in tabella risulta alto a causa di un outlayer relativo all'anno 2007.

Anche nei campioni del canale di calma sono state riscontrate concentrazioni superiori alla stazione POLS e comunque superiori ai valori limite considerati.

È osservabile inoltre che le concentrazioni maggiori sono distribuite nei campioni superficiali; la distribuzione difforme tra strato superficiale e profondo (ancorché solo ipotizzabile visto il limitato numero di campioni) porta ad ipotizzare che ci sia un significativo contributo di origine antropica e dunque legata ad attività deposizionali recenti.

A supporto dei ragionamenti sopraesposti è stata eseguita un'analisi di correlazione lineare tra le concentrazioni di tutti i composti misurate nel canale di calma.

Alti livelli di correlazione sono stati evidenziati tra gli idrocarburi pesanti ($C>12$), cadmio, piombo, rame e tra cromo, nichel, cobalto.

Considerando gli idrocarburi pesanti come tracciante della contaminazione di origine antropica, i risultati dell'analisi costituiscono una conferma della probabile origine antropica non solo degli stessi idrocarburi pesanti ma anche di cadmio, piombo e rame.

La fonte potrebbe essere attribuita all'attività siderurgica e alle attività portuali presenti nell'area di indagine.

I risultati inoltre sono in linea con quanto ipotizzato sulla base degli studi di ARPAL ovvero la possibile origine mineralogica di cromo, nichel e cobalto.

Questo aspetto assume una certa rilevanza ai fini della valutazione della biodisponibilità degli elementi in traccia poiché gli elementi incorporati nella matrice cristallina tendono a essere poco solubili nelle condizioni ambientali considerate e quindi a non essere rilasciate con facilità nella colonna d'acqua.

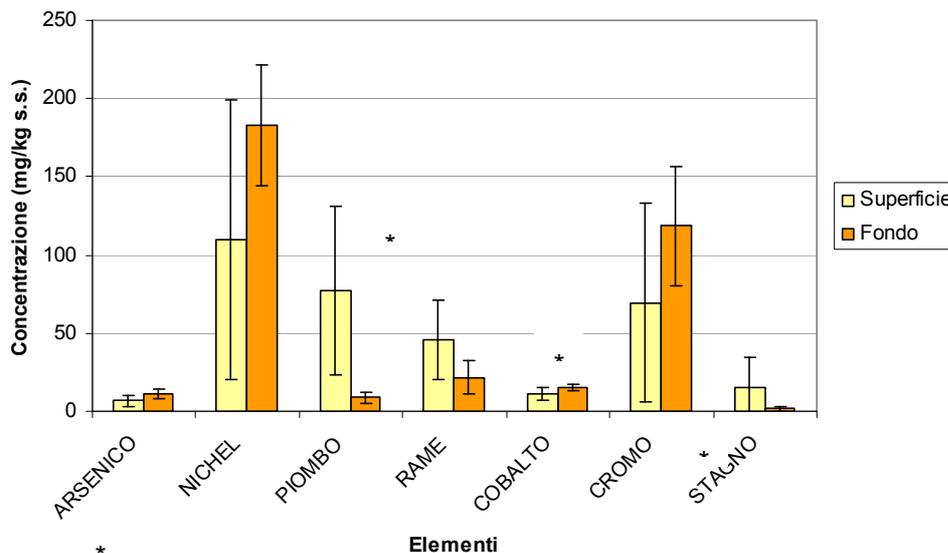


Figura 3.22 - Differenze tra le concentrazioni medie e deviazione standard dei principali metalli pesanti rilevate nello strato superficiale e quelle rilevate nello strato profondo. La significatività statistica della differenza tra i due strati è indicata dall'asterisco (*)

Sebbene quindi la concentrazione media di nichel, cromo, piombo e cadmio superi i livelli chimici di base proposti da ICRAM, si può riconoscere una diversa origine di tali composti.

Infatti, le elevate concentrazioni di cromo e nichel sembrano dovute almeno in parte agli elevati livelli di fondo naturale presenti nell'area di progetto. Le elevate concentrazioni di piombo, cadmio, rame e idrocarburi pesanti sono invece riconducibili ad un'origine antropica. Complessivamente comunque tutti questi composti rimangono al di sotto dei limiti previsti dal D.Lgs.152/2006 colonna B ad eccezione degli idrocarburi pesanti (C>12).

3.8 Caratterizzazione meteomarina

Nei paragrafi seguenti vengono delineate le principali caratteristiche meteomarine del paraggio di interesse, relativamente alla sua esposizione, ai livelli del mare, alle correnti litoranee, alle condizioni anemometriche ed ondose che lo caratterizzano.

A riguardo si fa presente che nelle analisi eseguite si è fatto riferimento, per quanto possibile, a registrazioni locali dei parametri di interesse, come delineato più precisamente nei paragrafi successivi.

Per quanto riguarda i livelli, le analisi sono state eseguite sulla serie storica delle registrazioni disponibili per il mareografo di Genova mentre relativamente alle correnti, i dati presi in considerazione sono quelli rilevati in due diversi punti al largo di Genova.

Per quanto attiene ai dati anemometrici, non avendo a disposizione dati in corrispondenza dell'area di intervento, si è fatto riferimento alle velocità del vento registrate dalla Stazione della Rete Mareografica Nazionale ubicata nei pressi dell'Acquario nel Porto Antico di Genova. Si è ritenuto che questa stazione sia in grado di fornire dati rappresentativi delle condizioni locali di interesse per la progettazione.

Infine, per quanto riguarda il moto ondoso, non essendo disponibili registrazioni locali nell'area oggetto dell'intervento, sono stati considerati due diversi set di dati: misurazioni dirette di moto ondoso reperibili in corrispondenza della boa della Rete Ondometrica Nazionale di La Spezia e dati di moto ondoso ricostruiti in un punto al largo di Genova, davanti al paraggio di interesse. Come di seguito spiegato più dettagliatamente, i dati di moto ondoso ritenuti rappresentativi per il paraggio di interesse sono poi stati trasferiti sottocosta e successivamente propagati in corrispondenza dell'area di realizzazione della colmata, al fine di ricavare le condizioni ondose di interesse per la progettazione delle nuove opere.

3.8.1 Esposizione del paraggio d'interesse

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

In Figura 3.23 è evidenziato il settore di traversia relativo al paraggio di interesse.

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



Figura 3.23 - Settore di traversia relativo al paraggio di interesse

3.8.2 I livelli del mare

Nel Golfo di Genova l'ampiezza di marea è modesta, come dimostrano i dati mareografici delle stazioni di Genova ed Imperia forniti dall'APAT (Agenzia per l'Ambiente ed il Territorio) per il periodo 1998-2008. I valori massimi di marea registrati nel periodo sono pari a +0.5 m per il sito di Genova e a +0.43 m per quello di Imperia. I valori minimi sono, rispettivamente, di -0.33 m e -0.36 m.

Le variazioni del livello marino definiscono un segnale complesso, che può considerarsi il risultato delle interazioni tra due componenti fondamentali: la marea astronomica, di natura periodica e causata dalle forze di attrazione combinate della luna e del sole, e la cosiddetta componente meteorologica, aleatoria e dovuta agli effetti indotti sulla superficie marina dalle variazioni delle condizioni atmosferiche. Per poter eseguire un'analisi statistica della componente meteorologica del segnale di marea, e fare quindi previsioni di livello legate al tempo di ritorno, le registrazioni di marea sono state elaborate al fine di separare le due componenti astronomica e meteorologica. L'elaborazione è stata effettuata sulla serie storica delle registrazioni disponibili per il mareografo di Genova, relative al periodo 1998 – 2008. I dati hanno formato orario e sono riferiti allo 0 IGM.

L'analisi statistica di tali valori estremi è stata effettuata adattando la distribuzione di probabilità di Gumbel e la distribuzione Tipo III di Pearson. I risultati dell'elaborazione sono riportati nella tabella , con riferimento a valori del tempo di ritorno pari a 1, 5, 10, 20, 50 e 100 anni. Per determinare il livello estremo complessivo, occorre sommare al valore massimo stimato del contributo meteorologico un valore rappresentativo (la media) delle più elevate

altezze di marea astronomica. I valori estremi complessivi del livello marino sono indicati anch'essi in Tabella 3-10.

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

Tabella 3-10 - Risultati dell'analisi statistica dei livelli estremi

3.8.3 Le correnti litoranee

Il Mare Ligure è il bacino più settentrionale del Mediterraneo Occidentale. Si estende per un'area di circa 50.000 km², circondato dalle coste della Liguria, della Provenza orientale e, a sud, dalla Corsica settentrionale.

Il bacino ligure è allungato nella direzione Nord-Est – Sud-Ovest, e si apre, nella sua parte occidentale, verso il Golfo del Leone ed il bacino Algerino-Provenzale.

Nella sua parte orientale, il Mar Ligure è collegato al Mar Tirreno attraverso il Canale di Corsica, un passaggio ampio in superficie circa 90 km, e circa 30 Km sul fondo posto a 450 m di profondità tra la Corsica e l'isola di Capraia.

Lo sviluppo della piattaforma continentale è molto ridotto (con la sola eccezione della costa Toscana) e ciò pone la fascia costiera sotto l'effetto diretto del mare profondo. La batimetria della scarpata continentale segue l'andamento della costa, degradando rapidamente fino ai 1000 m.

Tra le particolarità più evidenti sono da citare due canyon presenti rispettivamente al largo di Genova e di Punta Mesco ed un promontorio sottomarino che si estende al largo di Nizza. Il centro del bacino è uniformemente profondo degradando progressivamente fino ad una profondità massima di 2700 m.

Il Mar Ligure, per la sua collocazione geografica, risente principalmente dei venti legati alle perturbazioni provenienti dall'Atlantico. Spostandosi da ovest verso est, queste richiamano

dapprima venti meridionali mentre quando si allontanano dall'area lasciano il posto a venti nord-occidentali.

Il vento dominante è il Libeccio, che proviene da Sud-Ovest e dà luogo a forti mareggiate che interessano soprattutto la riviera di levante e le coste toscane, mentre lo Scirocco, che proviene dal Golfo della Sirte, interessa maggiormente la riviera di ponente, con aria caldo/umida portatrice di pioggia e temporali.

Senza entrare nel dettaglio delle complesse dinamiche che si sviluppano nel bacino ligure, è da sottolineare come esista, sotto costa, una corrente litoranea con circolazione antioraria, variabile come intensità a livello stagionale ed anche anno per anno, ma comunque persistente in quanto alimentata sia dalla corrente del Mediterraneo Occidentale che dalla corrente Tirrenica (Figura 3.24).

Sulla base dei dati disponibili in letteratura, l'intensità della corrente che lambisce le coste liguri può essere valutata, al largo, in alcune decine di cm/s (mediamente ~ 20 cm/s).⁽³⁾

Al fine di tenerne conto nel presente studio, si è considerata una corrente proveniente da Nord Est, parallela alla costa, con intensità variabile fino a 10 cm/s nella zona più esterna del dominio di calcolo.

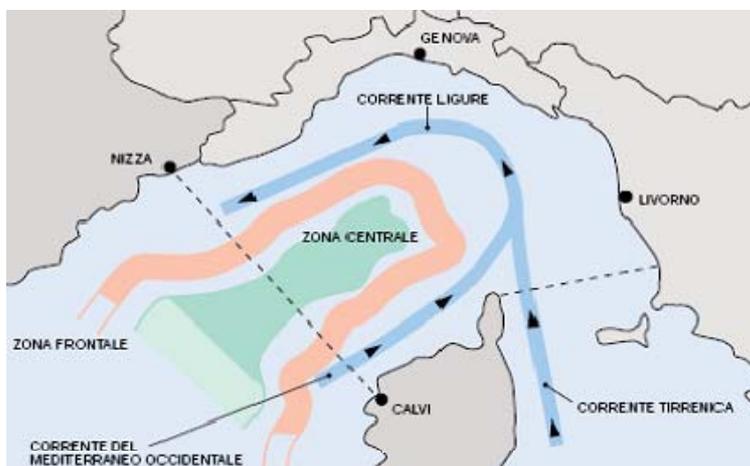


Figura 3.24 - Mar Ligure - Le principali strutture dinamiche e le correnti

⁽³⁾ Astraldi, M., and G. Gasparini, La circolazione costiera nel Mar Ligure orientale, Ist. Biol. Univ. Genova, 1986.
Cerrano C., Ponti M., Silvestri S. Guida alla biologia marina del Mediterraneo, Ananke Edizioni, ISBN 88-7325-050-5, 2004

Relini G., Dominio pelagico - il Santuario dei cetacei Pelagos, Museo Friulano di Storia Naturale, Udine, ISBN 88 88192 30 1, 2007

Laghi, M., Analisi della variabilità della circolazione del Mar Mediterraneo, Tesi di laurea in Oceanografia e Meteorologia - Università di Bologna, 2003

3.8.4 Le condizioni anemometriche

I dati relativi alla velocità del vento, registrati dalla Stazione della Rete Mareografica Nazionale ubicata nei pressi dell'Acquario nel Porto Antico di Genova, si riferiscono al periodo che va dal 1-1-2001 al 31-12-2007; la quota di misurazione dei dati è 10 m l.m.m. Il vento rilevato da questa stazione presenta il 98% di dati validi. Si ritiene che questa stazione sia in grado di fornire dati rappresentativi delle condizioni locali.

I dati a disposizione sono stati elaborati nell'ambito del predetto studio al fine di ottenere le condizioni di vento nel paraggio d'interesse, con riferimento sia alle condizioni frequenti che a quelle estreme (vedi paragrafo seguente). In Figura 3.25 è riportata la rosa dei venti dedotta dalla serie anemometrica a disposizione. Le direzioni dominanti risultano essere quelle da N-NE, che rappresentano il 31% circa degli eventi e alle quali sono associati i venti più intensi e la direzione da S-SE con il 14% circa degli eventi. Per quanto riguarda l'intensità, il 97% circa degli eventi è caratterizzato da velocità inferiori o uguali a 8 m/s mentre ai venti superiori a 16 m/s è associata la percentuale di 0.07.

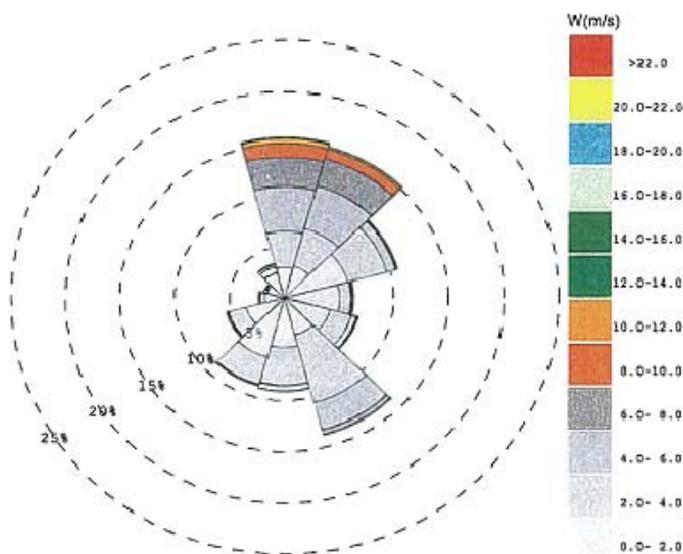


Figura 3.25 - Rosa dei venti - Stazione Rete Mareografica Nazionale S.R.N.M. (2001-2007)

I valori estremi della velocità del vento sottocosta sono stati ottenuti dall'elaborazione dello stesso set di dati, applicando la funzione probabilistica di Weibull.

In Tabella 3-11 si riportano i risultati delle elaborazioni effettuate.

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

Tabella 3-11 - Velocità del vento (m/s) in funzione del tempo di ritorno - dati S.R.N.M. (2001-2007)

3.8.5 Il moto ondoso al largo

I dati di moto ondoso che più si prestano a una definizione delle caratteristiche meteomarine del paraggio d'interesse sono riportati di seguito:

- Misurazioni dirette di moto ondoso: i dati registrati dalla boa della Rete Ondametrica Nazionale di La Spezia, dal 1/7/1989 al 10/10/2003. La boa ondametrica di La Spezia è direzionale ed ubicata alle coordinate 43°55.7' N e 9°49.6' E in acque di profondità 100 m. La disponibilità di dati è relativa a circa 15 anni, per un totale di 33882 dati triorari.
- Ricostruzione del moto ondoso dai dati di vento e di moto ondoso del Meteorological Office: i dati del MET OFFICE, ricostruiti a partire dalle carte sinottiche del tempo secondo il metodo di Bracknell, adottato dall'European Wave Model, forniscono, in corrispondenza dei nodi di una griglia, i dati triorari di vento e di moto ondoso dedotti attraverso l'applicazione del già citato metodo. Il nodo della griglia considerato ha le coordinate 44° N e 8.74° E ed è ubicato in una posizione adeguata per lo studio delle onde al largo del sito d'interesse. I dati acquisiti in questo punto sono relativi al ventennio 1987-2008 e costituiscono quindi un ampio campione di dati a disposizione.

In Figura 3.26 sono ubicati i punti di misura o di ricostruzione del moto ondoso.



Figura 3.26 - Ubicazione dei punti di misura o ricostruzione del moto ondoso

Il clima di moto ondoso al largo

Il litorale di Genova è interessato dalle onde provenienti dal settore 115° - 230° N, come è possibile dedurre dall'ubicazione e conformazione del paraggio d'interesse. Vengono presentati di seguito i risultati delle analisi condotte sulla base dei dati della RON, che sono stati considerati il riferimento per la progettazione delle opere. In termini di clima ondoso, per il settore di traversie d'interesse, le differenze tra i dati della UKMO e della RON non sono significative. In Figura 3.27 è riportata la rosa del moto ondoso ottenuta con i dati registrati dalla boa ondometrica di La Spezia. Nel grafico è stato riportato anche il settore di traversia (115° N- 230° N), in modo da evidenziare con più facilità le direzioni di provenienza delle onde di interesse per il paraggio di Genova.

I valori delle frequenze di occorrenza per determinate altezze d'onda significative e direzioni di provenienza sono invece riportati in Tabella 3-12.

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

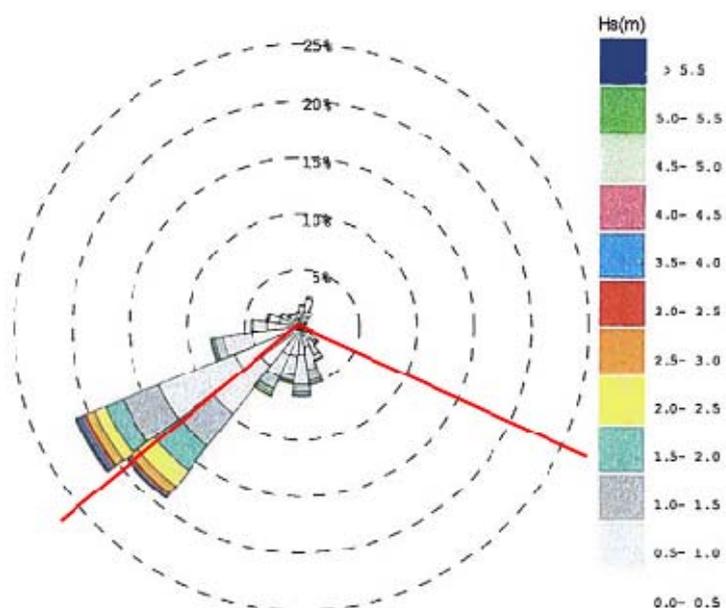


Figura 3.27 - Rosa del moto ondoso al largo ottenuta con i dati registrati dall'ondametro di La Spezia (1989-2003)

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

CALME 0.12

"0" significa percentuali <0.01%

Tabella 3-12 - Clima d'onda ottenuto con i dati registrati dall'ondametro di La Spezia (1989-2003)

I valori estremi delle onde al largo

La statistica degli eventi estremi è stata effettuata con riferimento alla funzione probabilistica di Weibull applicata ai dati della RON. Si evidenzia infatti che per la determinazione dell'onda di progetto in corrispondenza delle opere, si ritiene opportuno considerare i valori estremi di altezza d'onda ricavati dall'elaborazione delle onde registrate al largo di La Spezia, in quanto risultano maggiormente cautelativi, rispetto ai dati UKMO, in relazione in particolare alle mareggiate provenienti da libeccio. I settori considerati ai fini della determinazione degli eventi estremi che possono interessare il litorale in esame sono i seguenti: 105°N – 135°N, 135°N – 165°N, 165°N – 195°N, settore 195°N – 225°N. I risultati delle elaborazioni condotte, in relazione ai diversi tempi di ritorno considerati, sono riportati nella Tabella 3-13.

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

Tabella 3-13 - Valori estremi delle onde al largo di La Spezia

Correlazione altezza d'onda-periodo

Dopo aver calcolato il valore di H_s corrispondente ad un assegnato tempo di ritorno, occorre associare a tale onda un valore del periodo significativo. La relazione adottata tra altezza d'onda e periodo, in relazione ai valori estremi di moto ondoso al largo di La Spezia, è la seguente: $H_s = 0.06 T_s^2$, dedotta dall'analisi di numerosi dati rilevati in vari bacini (Grancini et al., 1979; Cavaleri et al., 1986; Rampolli et al., 1996).

Relativamente ai dati UKMO, la correlazione tra altezza d'onda e periodo è stata determinata utilizzando la relazione: $T_z = a H_s^b$. I coefficienti a e b sono stati determinati attraverso il metodo dei minimi quadrati; i valori individuati sono: $a = 3.8$, $b = 0.5$. Applicando la nota relazione tra T_z e T_s ($T_z = 0.83 T_s$) si ottiene la seguente relazione:

$$H_s = 0.05 T_s^2$$

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

3.8.6 Propagazione del moto ondoso in corrispondenza della diga foranea esistente

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

Di seguito si presentano i risultati di uno studio elaborato nel 2008 dalla società D'Appolonia tramite l'utilizzo di un modello spettrale di terza generazione, al fine di analizzare le caratteristiche del moto ondoso in corrispondenza della diga foranea, in condizioni tipiche ed estreme. Il modello numerico utilizzato è lo SWAN (Simulating Waves Nearshore (Booij et al., 1996)), che è in grado di simulare i parametri delle onde in aree costiere, a partire da condizioni definite al largo, tenuto conto delle condizioni del vento, delle correnti e delle caratteristiche del fondale.

Le simulazioni condotte hanno consentito di ottenere una stima del clima ondoso costiero rappresentativo per il paraggio in esame a partire dal clima ondoso al largo di La Spezia. Il clima ondoso sottocosta è stato calcolato sulla base di una schematizzazione a larga scala in corrispondenza del Porto Petroli. I valori delle frequenze di occorrenza associate alle altezze d'onda significative nel punto di calcolo, in funzione delle direzioni di provenienza, sono riportati in Tabella 3-14; in Figura 3.28 è invece riportata la rosa del moto ondoso nel punto di calcolo in questione.

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

Le simulazioni poi sono state eseguite utilizzando una griglia più dettagliata, che ha permesso di determinare il campo di altezza d'onda in prossimità della diga foranea, indotto dalle onde estreme al largo provenienti dalle direzioni principali del settore di traversia. Per non appesantire la trattazione si riportano solamente a titolo esemplificativo nella Figura 3.29, Figura 3.30, Figura 3.31 i risultati delle simulazioni eseguite per le condizioni di moto ondoso relative al tempo di ritorno di 10 anni, per le direzioni principali del settore di traversia.

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

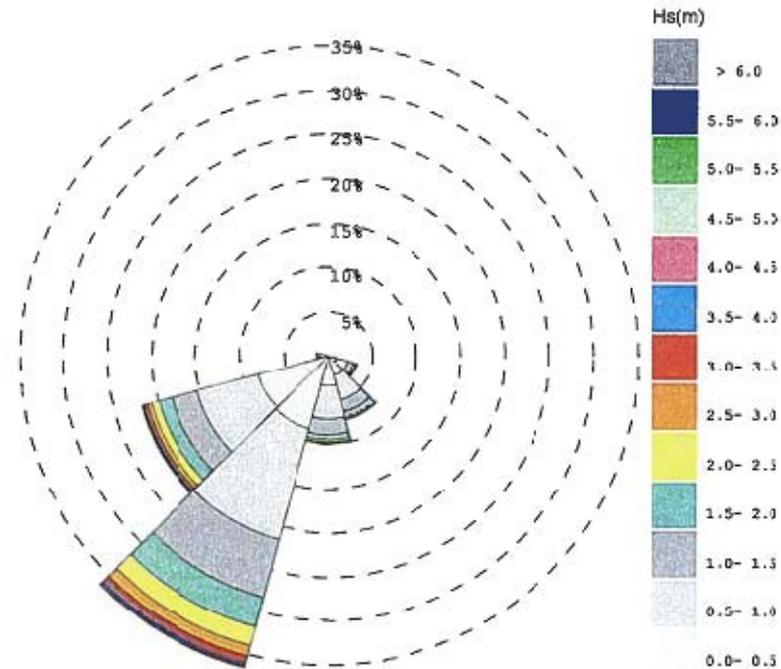


Figura 3.28 - Rosa del moto ondoso in corrispondenza della boa di porto petroli calcolata mediante l'applicazione del modello Swan a grande scala

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

Tabella 3-14 - Clima ondoso sottocosta in corrispondenza della boa di porto petroli calcolato mediante l'applicazione del modello Swan a grande scala

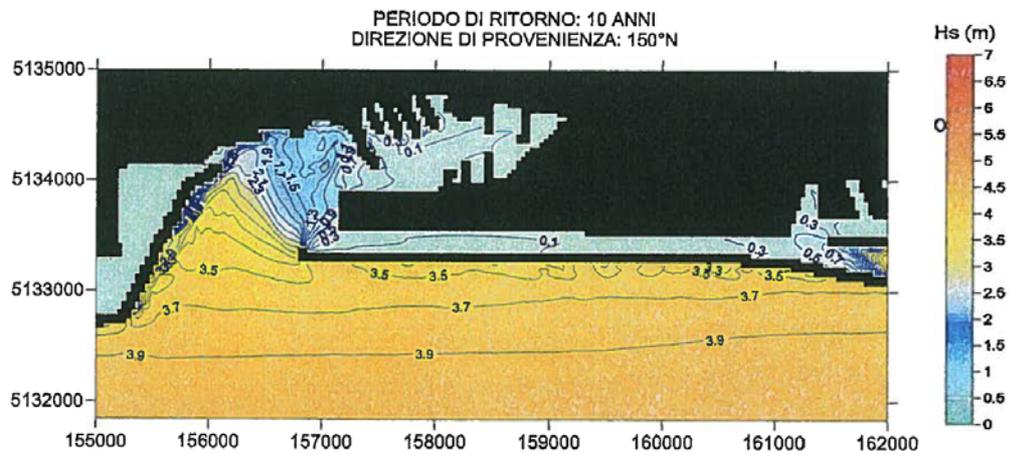


Figura 3.29 - Risultati simulazioni tr 10 anni - onde estreme al largo provenienti da 150° N

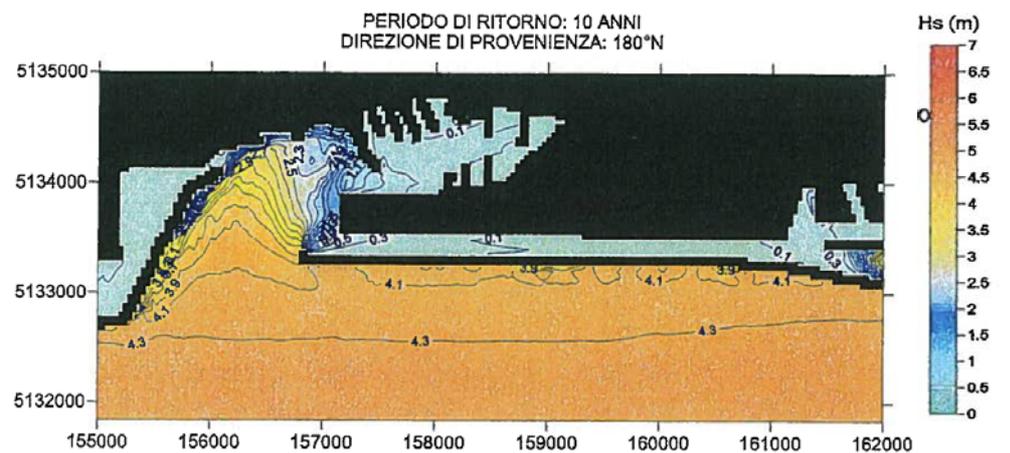


Figura 3.30 - Risultati simulazioni tr 10 anni - onde estreme al largo provenienti da 180° N

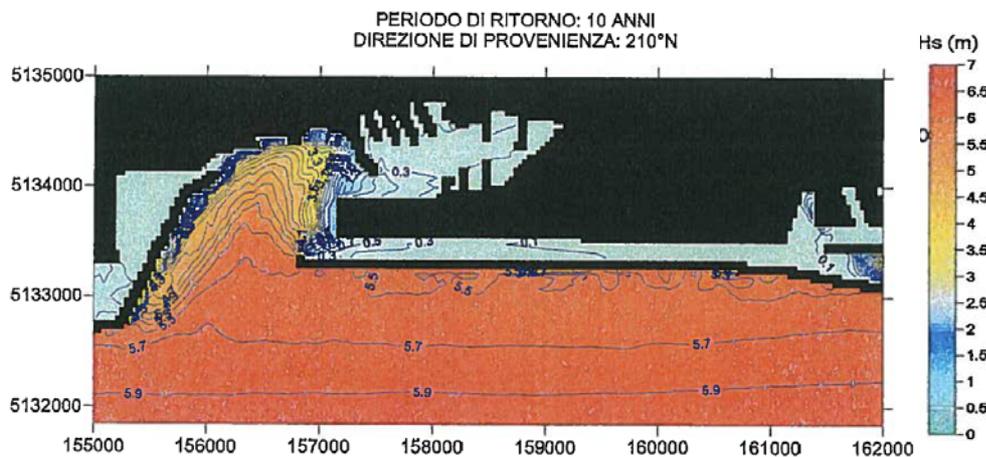


Figura 3.31 - Risultati simulazioni tr 10 anni - onde estreme al largo provenienti da 210° N

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

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

Tabella 3-15 - Valori estremi direzionali delle onde alla diga foranea (profondità -15 m)

4 CRITERI DI PROGETTO

4.1 Caratteristiche statico-funzionali

La sua ubicazione geometrica, in fregio all'aeroporto internazionale Cristoforo Colombo di Genova, suggerisce una opportunità, verificata nel corso della redazione del progetto con i tecnici dell'aeroporto e che sarà sottoposta ad ENAC nelle fasi di preparazione della Conferenza dei Servizi; si tratta in sostanza della estensione della "runway strip" dai 105 m odierni ai 150 m richiesti dalla normativa internazionale, destinata in tal modo a risolvere la non conformità dell'Aeroporto.

La possibilità di utilizzo dell'area emersa così ottenuta per l'adeguamento alle normative internazionali delle aree di rispetto in fregio alla pista dell'aeroporto, ha comportato la scelta della durata della vita utile dell'opera, individuata in 100 anni.

Questa scelta, in conformità a quanto previsto dal D.M. 14 gennaio 2008, riguardante le "Norme tecniche per le costruzioni" (NTC 2008), e dalla letteratura correntemente utilizzata per le azioni marittime, non comprese nel Decreto del 2008, ha comportato la scelta:

- dei tempi di ritorno per le azioni di tipo sismico, ambientale, meteomarinò;
- delle caratteristiche dei materiali e degli stati limite di esercizio (fessurazione ad esempio) utilizzati nel progetto.

Nel seguito di questa relazione e nelle relazioni tematiche specialistiche saranno riportati nel dettaglio i criteri statici derivati, nelle varie situazioni, dalla sopraccitata normativa, considerata come la base per il dimensionamento statico dell'opera, assieme alle "Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti" edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996).

4.2 Caratteristiche dell'area Portuale di intervento

In ottemperanza a quanto richiesto dall'Autorità Portuale di Genova, nell'ambito del progetto si è tenuto conto della nuova configurazione di progetto dell'Imboccatura di Ponente del Bacino portuale di Sampierdarena, conseguente agli interventi programmati sulla Calata Derna, che in seguito alla realizzazione del tombamento dello specchio acqueo, sarà "abilitata" a ricevere navi portacontainer di ultima generazione.

In particolare, le modifiche indotte dai suddetti interventi, evidenziate nella planimetria riportata in Figura 4.1, riguardano:

- l'imboccatura di ponente del Bacino di Sampierdarena, attraverso la demolizione di alcune

componenti dell'attuale Diga Foranea;

- i fondali portuali in corrispondenza dell'imboccatura e della foce del Torrente Polcevera,

soggetti a significative operazioni di dragaggio.

Per quanto riguarda il Lato Est dell'Opera a Mare, ai fini della definizione della configurazione di progetto, è stato considerato l'ingombro planimetrico del bacino di manovra che effettuano "gli spintori" a servizio del naviglio operante sulla banchina "ILVA".

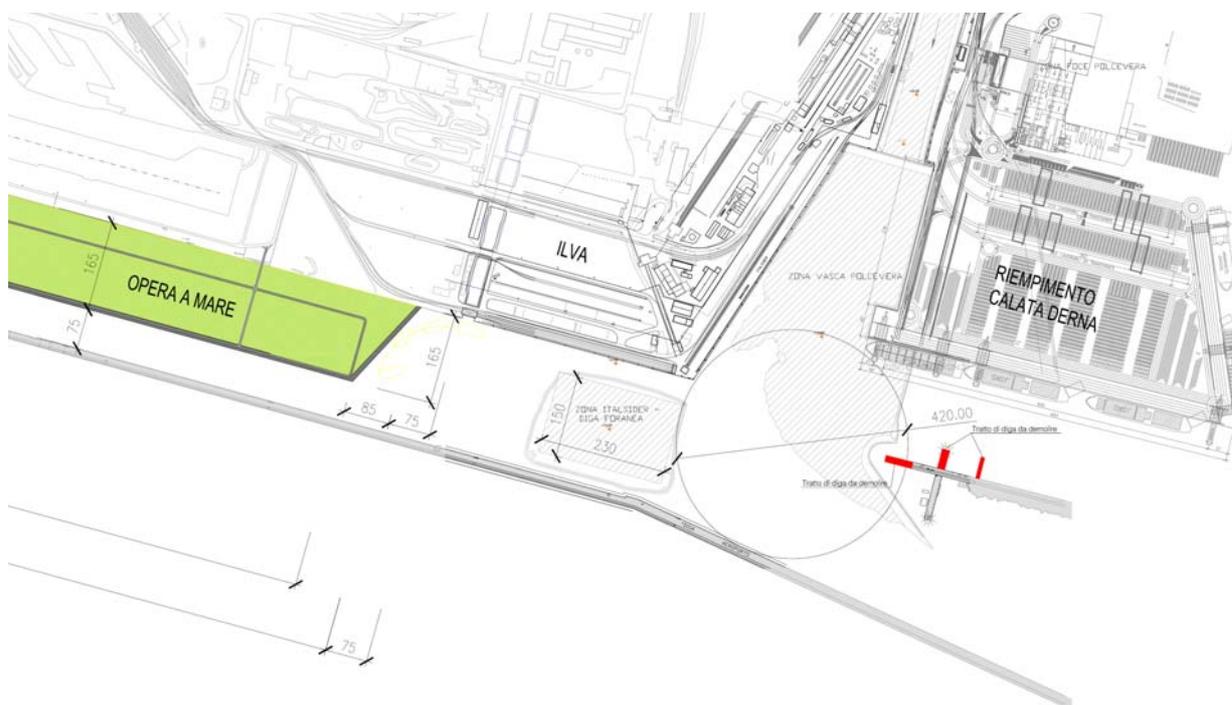


Figura 4.1 - Interventi programmati all'imboccatura di Ponente del Bacino di Sampierdarena

4.3 Criteri di navigabilità nel Canale di Calma

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

In tal senso è stato assunto alla base del dimensionamento del nuovo Canale di Calma il criterio fondamentale di mantenere l'attività di navigazione nel canale stesso secondo le modalità oggi esistenti. Si fa riferimento in particolare:

- ai traghetti, catamarani, motonavi adibiti al trasporto pubblico che collegano Genova Pegli al Porto Antico.
- ai rimorchiatori del Corpo dei Piloti, dei Rimorchiatori Riuniti e del Gruppo Antichi Ormeggiatori del Porto di Genova.

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

In Tabella 4-1 sono riportate le caratteristiche delle navi di progetto per cui vanno effettuate le verifiche di navigabilità del nuovo canale. Infatti la motonave per il servizio pubblico Mare Express e i tre rimorchiatori rappresentano i natanti con le dimensioni maggiori che transitano oggi nel canale di calma.

Flotta	Lunghezza L _{OA} (m)	Larghezza (m)	Pescaggio D (m)
MAREXPRESS	26.70	9.00	1.70
100 SVEZIA	27.50	11.50	6.00
101 INGHILTERRA	27.50	11.50	6.00
102 MESSICO	36.65	13.60	7.00

Tabella 4-1 - Caratteristiche delle navi di progetto che transitano nel canale di navigazione

Con riferimento alle imbarcazioni di progetto sopra indicate e a differenti condizioni meteomarine (ordinarie ovvero tempo di ritorno 5 anni e gravose ovvero tempo di ritorno 20 anni) e modalità di navigazione (secondo quanto discusso e concordato con le Autorità Competenti), vanno verificati 5 scenari per il calcolo della larghezza minima del canale, ai fini di una navigazione in sicurezza:

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

4. transito a 1 senso di circolazione per rimorchiatore Messico in condizioni meteomarine gravose (per velocità di transito da 8 nodi a maggiore di 12 nodi);
5. transito a 1 senso di circolazione per nave bus Mare Express in condizioni meteomarine ordinarie e gravose (per velocità di transito maggiori di 12 nodi).

Si precisa infine che vanno tenuti in debito conto anche gli effetti idrodinamici indotti nel canale dalla navigazione (in termini di onde, correnti di ritorno e livello idrico) e a sua volta dei loro eventuali effetti per il dimensionamento della nuova conterminazione.

4.4 Criteri di operatività alla banchina dell'ILVA

Infine si fa cenno al criterio da considerare per il mantenimento delle condizioni di operatività/funzionalità alla banchina dell'ILVA ubicata sul lato est del nuovo deposito a mare. A riguardo si ritiene indispensabile studiare una configurazione/tipologia delle nuove opere in grado di garantire le condizioni di operatività alla banchina.

Si fa riferimento in particolare agli effetti delle onde che si propagano attraverso l'imboccatura all'estremità est della diga foranea esistente. Le condizioni meteomarine di riferimento per la funzionalità della banchina sono evidentemente quelle ricorrenti, relative a periodi di ritorno dell'onda di 1 e 5 anni.

Per definire la configurazione del Lato Est dell'Opera a Mare, viene considerato l'ingombro planimetrico del bacino di manovra che effettuano "gli spintori" a servizio del naviglio operante sulla banchina "ILVA".

La Figura 4.2 riporta l'ingombro planimetrico del bacino di manovra che compie lo spintore che opera sulla Banchina Ilva.

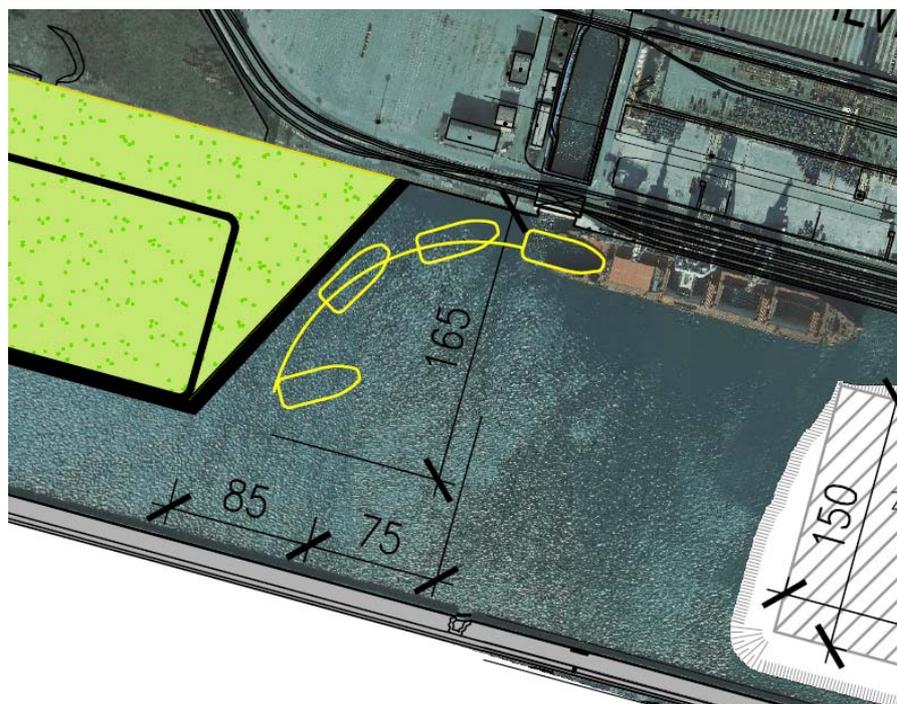


Figura 4.2 - Raffronto ingombro planimetrico Opera a Mare e bacino di manovra "Spintore" a servizio banchina ILVA

4.5 Criteri di operatività nell'area di accesso al bacino di Multedo

Al fine di non compromettere le attività esistenti, si è provveduto a verificare che gli effetti indotti dalla nuova cassa di colmata sul lato ovest del deposito a mare siano tali da non indurre un aumento dell'agitazione ondosa in prossimità dell'area di accesso al bacino di Multedo, rispetto a quella che caratterizza lo stato di fatto.

A tale scopo sono state eseguite delle attività modellistiche con riferimento a condizioni ondose significative per le condizioni di navigazione e pertanto considerando eventi ondosi corrispondenti a tempi di ritorno di 5 anni e 20 anni.

Ai fini delle simulazioni, in prossimità dell'area di accesso al bacino di Multedo è stata considerata la configurazione di progetto riportata in Figura 4.3.

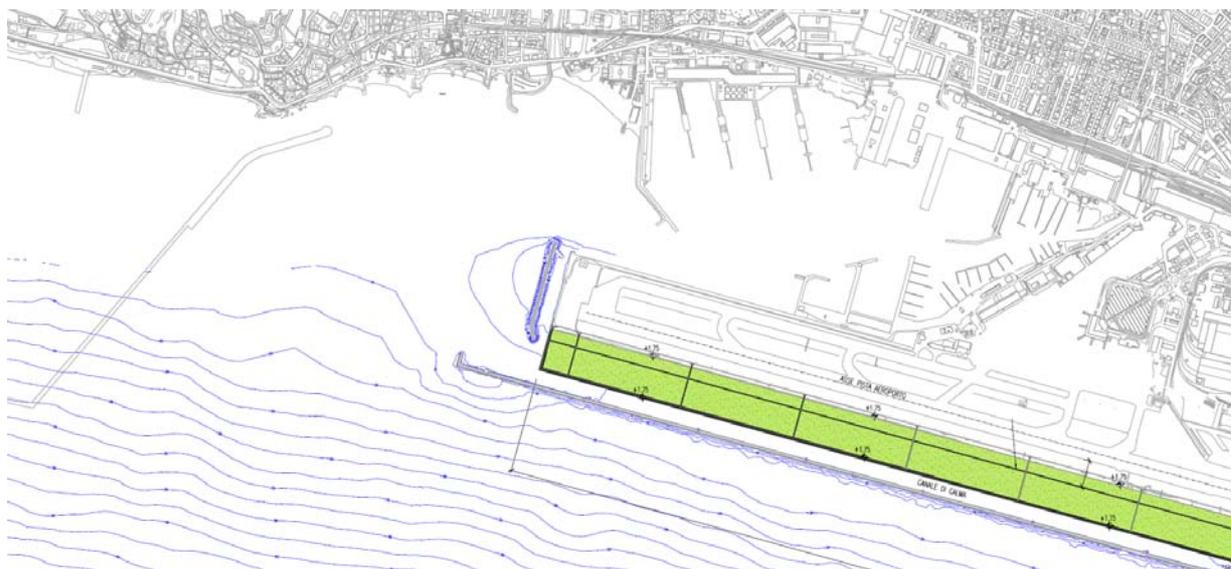


Figura 4.3 - Configurazione di progetto in prossimità dell'area di accesso al bacino di Multedo

4.6 Criteri meteomarini - Dimensionamento delle opere

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

La durata minima di vita per le opere è definita nella Tabella 4-2.

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

Tabella 4-2 - Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo T_v

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

Il livello di sicurezza 1 si riferisce ad opere o installazioni di interesse locale ed ausiliario, comportanti un rischio minimo di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso della stessa (difese costiere, opere in porti minori o marina, scarichi a mare, strade litoranee ecc.). Il livello di sicurezza 2 si riferisce ad opere e installazioni di interesse generale, comportanti un moderato rischio di perdita di vite umane o di danni ambientali in caso di collasso dell'opera (opere di grandi porti, scarichi a mare di grandi città, ecc.). Il livello di sicurezza 3 si riferisce ad opere o installazioni per la protezione dall'inondazione o di interesse sopranazionale, comportanti un elevato rischio di perdita di vite umane o di danno ambientale in caso di collasso della stessa (difese di centri urbani o industriali, ecc.).

Per quanto riguarda la probabilità di occorrenza delle condizioni meteomarine di progetto, si assumeranno le probabilità corrispondenti al danneggiamento incipiente o alla distruzione totale in relazione alle deformazioni-modificazioni subite dall'opera in caso di danneggiamento ed alla difficoltà di riparare il danno subito (vedi Tabella 4-3).

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

Danneggiamento incipiente		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0,50	0,30
Media	0,30	0,20
Alta	0,25	0,15
Distruzione totale		
Ripercussione economica	Rischio per la vita umana	
	Limitato	Elevato
Bassa	0,20	0,15
Media	0,15	0,10
Alta	0,10	0,05

Tabella 4-3 - Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa dell'opera P_f

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

Nel caso in esame il rischio per la vita umana viene ritenuto basso; per quanto riguarda la massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo operativo dell'opera, relativamente allo scenario di danneggiamento incipiente si assume una ripercussione economica medio bassa e quindi una probabilità di 0,4.

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

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

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

Tipo di danno	T_v (anni)	P_f	T_{rp} teorico (anni)	T_{rp} adottato (anni)
Danneggiamento incipiente	100	0,4	196	200

In definitiva, per il dimensionamento delle opere di progetto, si considerano condizioni meteomarine (ed in particolare un'onda significativa) corrispondente ad un periodo di ritorno di 200 anni.

4.7 Criteri meteomarini - Tracimazione

La quota di coronamento della nuova opera di conterminazione è stata definita in modo tale da garantire adeguati margini di sicurezza nei confronti della tracimazione del moto ondoso che si verifica nel Canale di Calma.

A tal fine sulla base delle condizioni meteomarine all'interno del Canale di Calma, lungo tutto lo sviluppo della nuova opera di conterminazione, vanno stimate le portate medie di

tracimazione al variare del tempo di ritorno, verificando che l'entità di tali portate risulti compatibile con i limiti consentiti in base alle caratteristiche strutturali e alle diverse funzionalità delle opere. Più precisamente si fa riferimento al criterio di verifica delle condizioni di tracimazione della nuova opera in grado di garantire da una parte le condizioni di operatività/esercizio a tergo in situazioni meteomarine ricorrenti e dall'altra la sicurezza strutturale in situazioni meteomarine estreme.

Per la definizione dei limiti di accettabilità si è fatto riferimento all'EurOtop Manual (2007)⁴.

In particolare, i limiti di tollerabilità delle portate di tracimazione sono stati definiti come segue, in relazione alle condizioni critiche per il normale esercizio e la sicurezza strutturale delle opere:

- $q_{\max} (T_r=1 \text{ anni}) = 1 \text{ l/s/m}$ per l'azione in sicurezza del personale dell'aeroporto;
- $q_{\max} (T_r=5 \text{ anni}) = 10 \text{ l/s/m}$ per l'azione in sicurezza del personale dell'aeroporto;
- $q_{\max} (T_r=200 \text{ anni}) = 50-200 \text{ l/s/m}$ per la sicurezza strutturale.

In particolare, per quanto riguarda la sicurezza del personale, si è verificato che i limiti di accettabilità vengano rispettati, con riferimento all'estremo inferiore dell'intervallo, per tempi di ritorno di 1 anno e con riferimento all'estremo superiore dell'intervallo, per tempi di ritorno di 5 anni.

Per la sicurezza strutturale, in relazione a eventi con tempo di ritorno di 200 anni, si è fatto riferimento all'estremo superiore dell'intervallo indicato.

Pertanto sulla base dei limiti delle portate massime di tracimazione è stata definita la quota ed in generale le caratteristiche del muro paraonde per garantire le funzioni sopra evidenziate.

4.8 Criteri ambientali

Vista la presenza di significative concentrazioni di amianto in buona parte dei materiali che saranno utilizzati per realizzare la colmata, dal punto di vista ambientale il principale obiettivo del progetto è stato quello di evitare ogni rilascio di fibre di amianto verso l'ambiente

⁴ EA (UK), ENW (NL), KFKI (DE) (2007). "EurOtop - Wave Overtopping of sea defences and related structures: assessment manual";

circostante (sia in atmosfera che nelle acque marine) durante tutte le operazioni di realizzazione della colmata e, sul lungo periodo, dopo l'ultimazione della colmata stessa.

E' nota in letteratura la pericolosità delle fibre di amianto in atmosfera per la salute pubblica, legata principalmente alla loro cancerogenicità se inalate in concentrazioni elevate o per lunghi periodi, meno nota è la pericolosità delle fibre in ambiente acquatico, tuttavia la possibile presenza di fibre libere nelle acque della colmata e la necessità di scaricare le stesse nelle acque circostanti, comporta la necessità di adottare opportune misure, per evitare impatti significativi nei confronti dell'ambiente marino.

Un'ulteriore aspetto rilevante è rappresentato dai sedimenti presenti nel canale di calma, i quali presentano concentrazioni significative di alcuni analiti, fatto che richiede la adozione di specifiche misure durante la costruzione della colmata, per evitare fenomeni di risospensione e rilascio.

Per quanto riguarda la minimizzazione del rischio di rilascio di fibre di amianto verso l'ambiente marino esterno al sito di progetto, i principali criteri adottati sono stati:

- realizzare la struttura di contenimento della colmata in modo da garantire una costante di permeabilità non superiore a 10^{-6} m/s, ritenuta adeguata a bloccare le fibre presenti in sospensione acquosa ^[1]
- prevedere che il materiale proveniente dalle tubazioni di mandata sia scaricato solo dopo che il perimetro della colmata sia stato completato
- man mano che il materiale verrà depositato all'interno della colmata, inviare tramite una tubazione dedicata, le acque in eccesso ad un impianto di trattamento prima dello scarico in mare, così da garantire il rispetto dei limiti fissati dall'autorità di controllo^[2]

^[1] Si ricorda che l'amianto non è presente in acqua in fase disciolta ma come fibra in sospensione e quindi non è necessaria l'adozione di uno standard di tenuta più restrittiva, come nel caso di colmate realizzate con materiali contaminati da elementi che possono essere presenti in fase disciolta

^[2] La legislazione vigente (DLgs.152/06) non prevede un limite alle acque di scarico, ma solo un valore guida per le acque di falda sottoposte a bonifica (7 milioni di fibre /l) che deve essere ulteriormente definito. La legislazione specifica per l'amianto (DL 114/95) prevede anche un limite di 30 mg/l come materia totale in sospensione per gli effluenti liquidi provenienti dalle attività industriali o di bonifica, tale limite non sembra però applicabile al caso in esame.

Per quanto riguarda invece il rilascio delle fibre in atmosfera, aspetto di particolare rilevanza non solo ambientale ma anche per la valutazione del rischio per la salute umana, i principali criteri ambientali a base della progettazione sono stati:

- prevedere che le fibre siano sempre mantenute in ambiente acquatico durante tutte le operazioni di versamento del materiale scavato e che non possano mai arrivare all'interfaccia acqua/aria
- prevedere che le fibre siano sempre mantenute in ambiente acquatico durante le fasi di trattamento nell'impianto di depurazione appositamente realizzato
- prevedere che le fibre si mantengano sempre in ambiente saturo durante lo stoccaggio a lungo termine all'interno della colmata, una volta completata l'opera

Infine, nei confronti delle sostanze contenute nei sedimenti del canale di calma, si è previsto che durante le fasi di costruzione della colmata e di versamento dei materiali, non avvenissero fenomeni di risospensione tali da provocare un rilascio significativo di sostanze verso l'esterno della colmata.

4.9 Criteri costruttivi

I criteri costruttivi utilizzati per la scelta della soluzione progettuale dell'opera nel canale di Calma riguardano in sostanza:

- la vicinanza con l'aeroporto e la conseguente necessità di minimizzare le operazioni in cantiere che possono avere ripercussioni sulle attività dell'aeroporto;
- la correlazione della "Gronda di Ponente" ed in particolare con l'escavo delle gallerie destinate a produrre lo smarino utilizzato per il riempimento.

Per quanto riguarda il primo aspetto è stata prescelta la soluzione che potesse consentire la massima prefabbricazione delle opere di conterminazione.

È stata pertanto prescelto l'utilizzo di cassoni cellulari in conglomerato cementizio armato, prefabbricati in un cantiere esterno all'area di intervento, trasportati quindi in navigazione all'interno del Canale di Calma, affondati con l'utilizzo di acqua di mare e quindi appesantiti, per la stabilità a lungo termine, con lo smarino privo di contenuto di amianto derivato dalle

gallerie in sponda sinistra o dalla porzione non amiantifera delle gallerie in sponda destra. Con questa soluzione la presenza in cantiere è ridotta alla fase finale del trasporto ed all'affondamento, utilizzando rimorchiatori e pontoni dotati di gru e mezzi di movimentazione comunque compatibili per altezza con i coni di sicurezza previsti dall'aeroporto.

Per quanto riguarda la correlazione temporale con l'escavo delle gallerie della Gronda di Ponente, si rimanda al cronoprogramma dell'opera dove è ben individuato il rapporto temporale reciproco tra le attività di escavo delle gallerie, la relativa produzione di materiale di smarino, e le fasi di realizzazione dell'opera a mare.

5 DESCRIZIONE DELLE OPERE

5.1 Analisi delle soluzioni progettuali

L'opera di conterminazione deve assolvere a due compiti fondamentali:

- garantire la stabilità strutturale e la durabilità della cassa di colmata per il periodo previsto (100 anni) ed in relazione al suo uso futuro come zona aeroportuale;
- garantire la sicurezza ambientale dell'ambiente circostante, impedendo il rilascio di inquinanti all'esterno per tutta la vita utile dell'opera.

Tenendo conto di questi due obiettivi principali dell'opera, nella fase iniziale del progetto sono state studiate tre soluzioni alternative che sono illustrate nelle figure seguenti:

- soluzione 1 in cassoni;
- soluzione 2 in cassoni di piccole dimensioni, posati su scanno di imbasamento;
- soluzione 3 in scogliera.

La prima soluzione (Figura 5.1) prevede la realizzazione di uno scanno di imbasamento con materiale selezionato, su cui posare un cassone di altezza sufficiente a raggiungere la +2 m s.l.l.m. sovrastato da un muro paraonde fino alla + 4 m s.l.l.m.

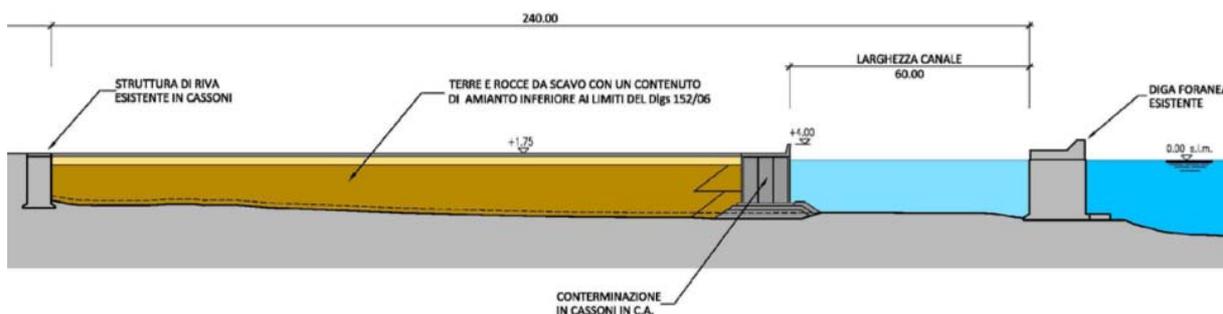


Figura 5.1 - Opere di con terminazione: soluzione 1: cassoni

La seconda soluzione (Figura 5.2), concettualmente simile alla precedente, prevede la costruzione di uno scanno di imbasamento più elevato del precedente, difeso sul lato esterno

da una scogliera, su cui posare un cassone di dimensioni ridotte (7 m di altezza) anch'esso sovrastato dal muro paraonde.

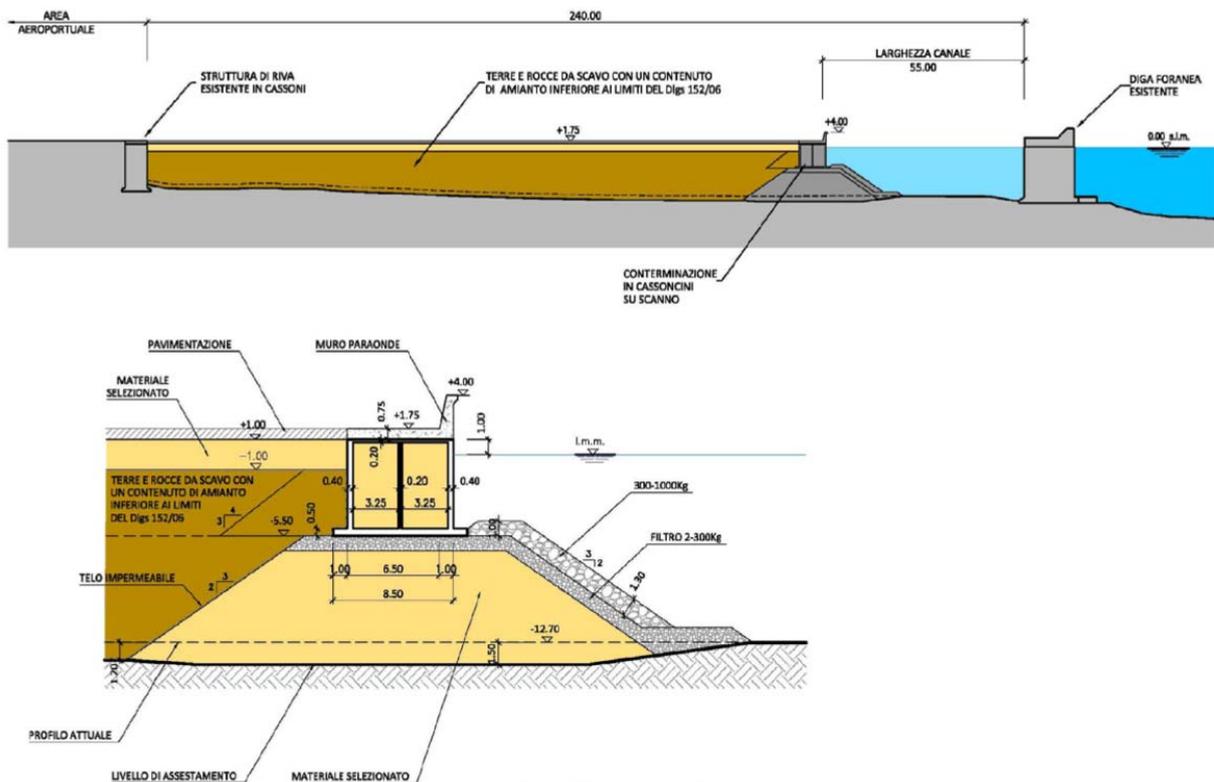


Figura 5.2 - Opere di conterminazione: soluzione 2: cassoncini su scanno

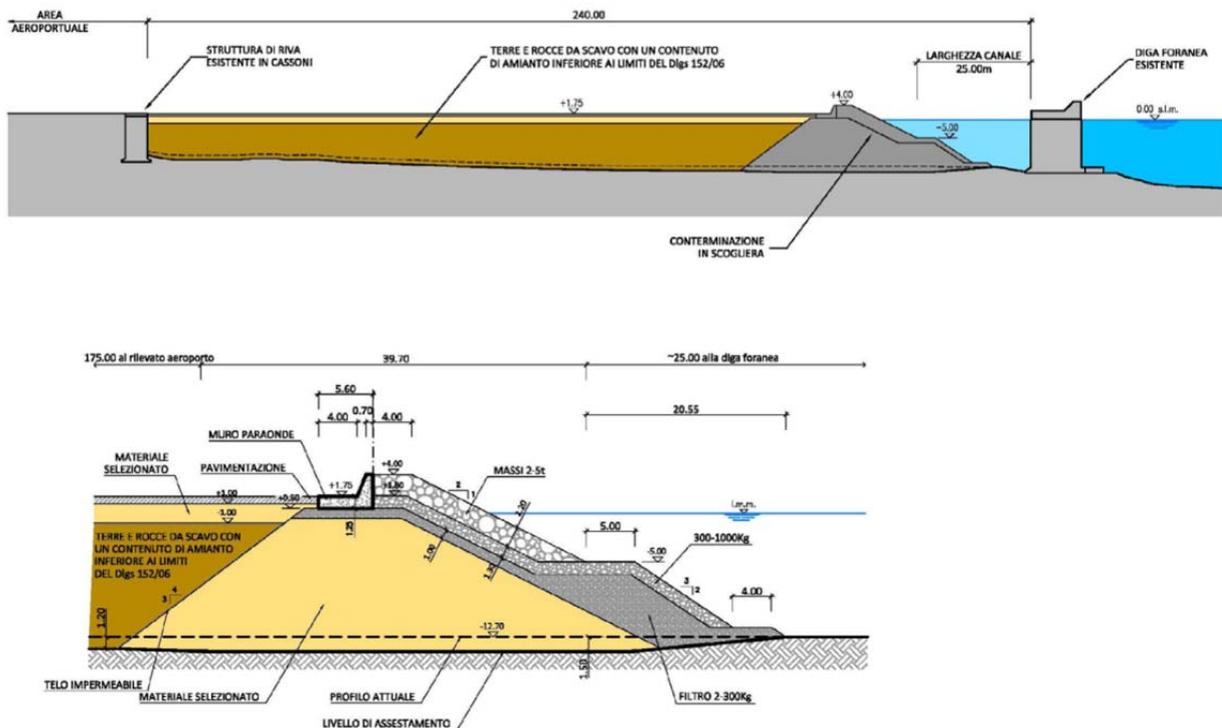


Figura 5.3 - Opere di conterminazione: soluzione 3: scogliera

Infine la terza soluzione (Figura 5.3) prevede la realizzazione di un argine fino alla quota + 1, protetta dal moto ondoso da una berma rivestita in massi e da un muro paraonde in sommità.

Tutte e tre le alternative soddisfano i requisiti di affidabilità dal punto di vista strutturale, tuttavia due ordini di motivi hanno portato a preferire la soluzione in cassoni; in primo luogo perché a parità di perimetro garantisce la massima capacità della colmata, in secondo luogo perché è inferiore l'ampiezza delle superfici realizzate in materiali granulari e quindi ad elevata permeabilità (essenzialmente lo scanno di imbasamento), che occorre proteggere, per impedire il flusso di sostanze inquinanti all'esterno della vasca stessa.

La soluzione prescelta nel progetto originario (Figura 5.4) si compone di uno scanno di imbasamento realizzato con materiale di cava su cui è posizionato un cassone cellulare di altezza variabile tra 9,50 m e 13,50 m.

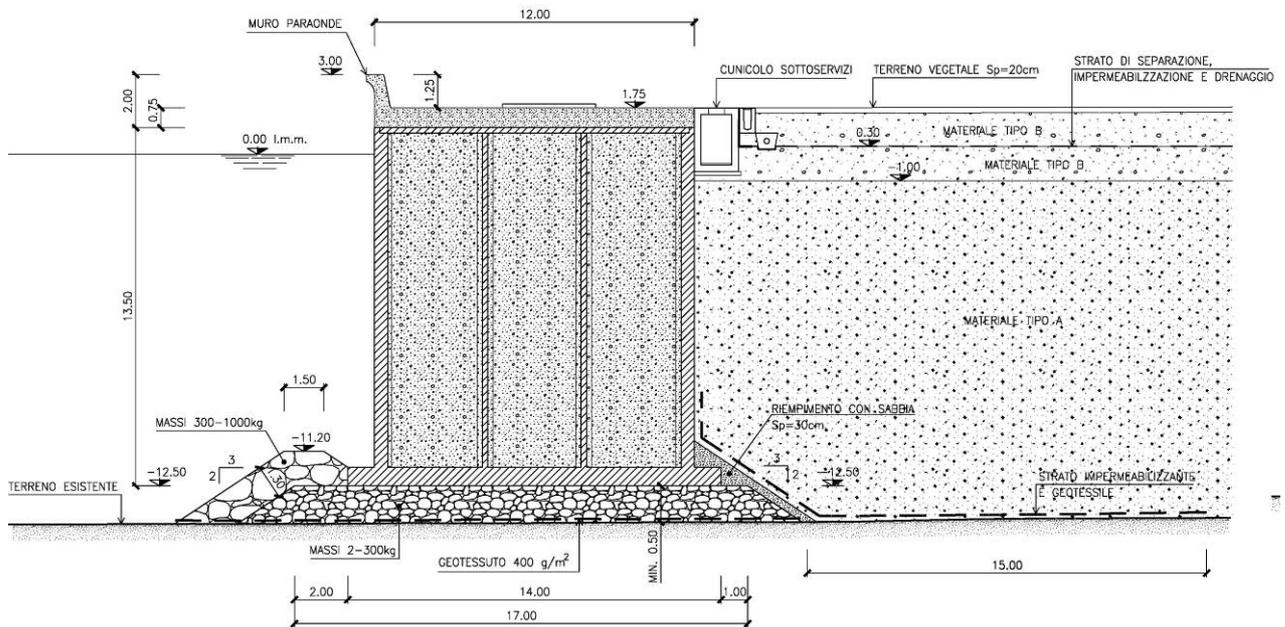


Figura 5.4 - Marginamento - Sezione tipo adottata nella soluzione originaria

A seguito delle richieste e osservazioni pervenute dall'Autorità Portuale e dalle Capitaneria di Porto di Genova, la configurazione dell'Opera a Mare risulta definita come nella seguente figura.

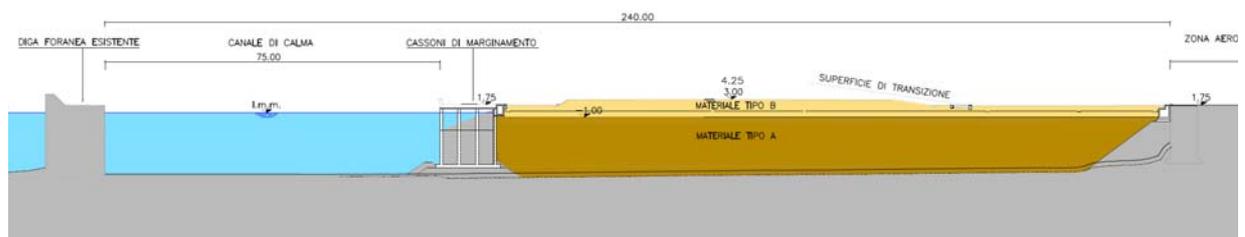


Figura 5.5 - Marginamento - Sezione tipo adottata in questo aggiornamento

La richiesta dell'Autorità Portuale di Genova di adottare una struttura di conterminazione caratterizzata da un coefficiente di riflessione inferiore o eguale a 0,5; ha portato all'utilizzo di cassoni cellulari dotati di un'apertura anteriore, che presentano una cella cava riempita con pietrame, disposto inclinato, che garantisce una riduzione degli effetti di riflessione entro i termini richiesti; la sezione è illustrata nella Figura 5.6 seguente.

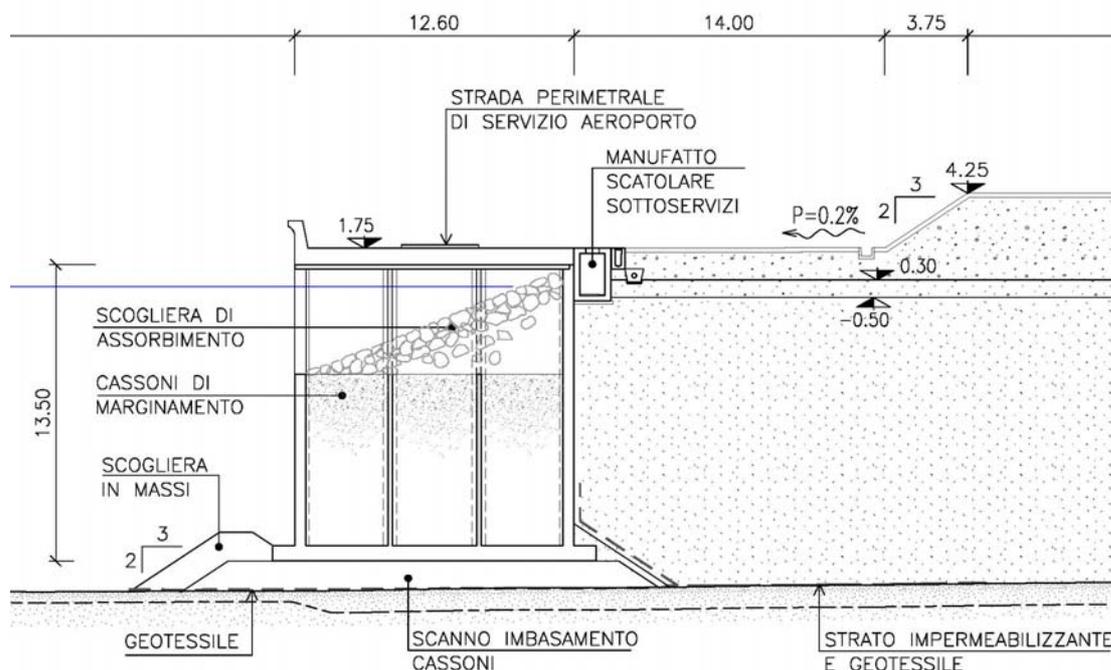


Figura 5.6 - Marginamento - Sezione tipo adottata nella presente revisione

5.2 Le opere di conterminazione

La conterminazione dell'opera a mare è prevista tramite 143 cassoni cellulari in conglomerato cementizio armato; di essi, 6 sono posti nel senso ortogonale all'attuale marginamento dell'aeroporto, a formare il marginamento sul lato ovest della colmata; 7 sono posti sul lato est, con un'inclinazione di $62^{\circ},4$ rispetto alla linea di riva, al fine di consentire le manovre dei rimorchiatori che supportano le manovre delle navi che approdano alla banchina ILVA; i rimanenti 130 sono posti parallelamente all'attuale marginamento a formare la nuova conterminazione del Canale di Calma; le dimensioni totali della colmata sono 165 m ortogonalmente all'attuale marginamento; 3.493,0 m nella direzione del Canale di Calma (vedi Figura 5.7).

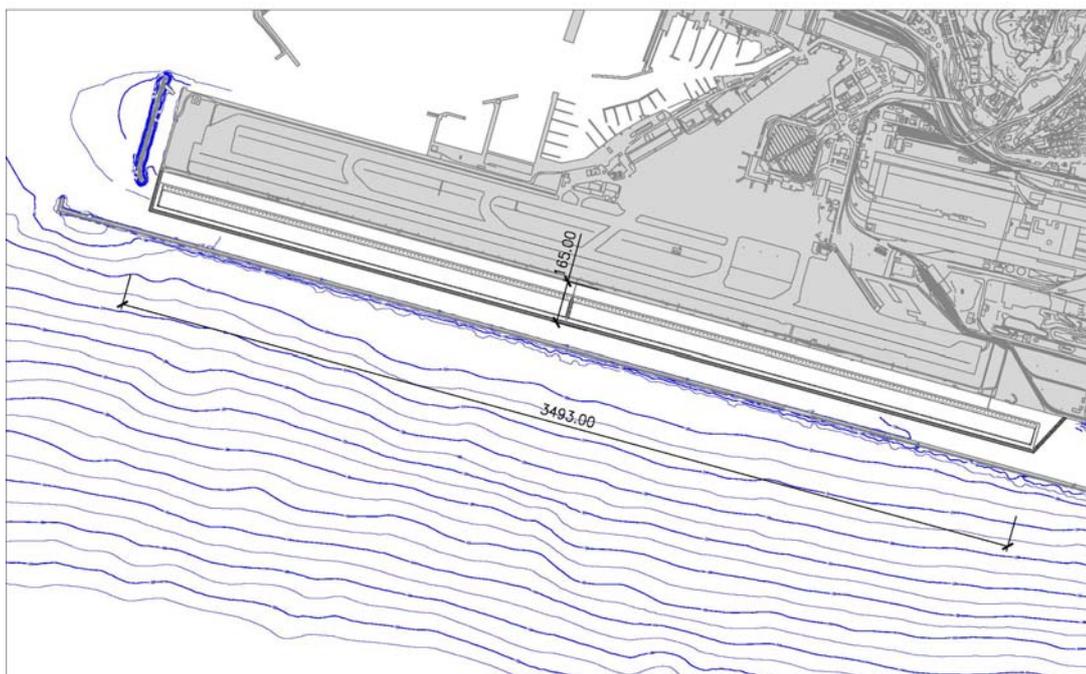


Figura 5.7 - Opera a mare nel Canale di Calma - Dimensioni in pianta dell'estensione del marginamento

Sul lato ovest i cassoni cellulari continuano il filo esistente dell'area aeroportuale; sul lato est la colmata si estende per circa 88 m oltre all'attuale limite dell'area aeroportuale, nella zona antistante la concessione ILVA, fino a circa 75 m dal canale scolmatore interno alla concessione ILVA; qualora fosse di interesse del concessionario, la nuova banchina di lunghezza 185 m ottenuta sul lato est, potrà essere affidata in concessione compensando in tal modo la sottrazione del tratto di riva ad ovest del canale scolmatore interno, che pure non pare efficacemente utilizzabile né frequentemente utilizzata.

La tipologia della sezione è rappresentata nella Figura 5.6. L'imbasamento dei cassoni è previsto, a quote variabili in funzione della batimetria presente, su uno strato granulare di pezzatura 2-300 kg a sua volta posato su un geotessuto di grammatura 400 g/m² avente lo scopo di separare il materiale presente sul fondale dal pietrame di imbasamento; all'esterno dell'imbasamento è prevista una mantellata di protezione in scogliera, di pezzatura 300÷1000 kg.

I cassoni prefabbricati raggiungono la quota +1,0 m s.m.m.; al di sopra di questa quota è prevista la soletta di finitura, di spessore 0,75 m, a raggiungere la quota finita di +1,75 m

s.m.m.; sul lato esterno, lungo i lati ovest e sud della colmata, è previsto un muro paraonde, con sommità alla quota +3,50 m s.m.m.; sul lato est della colmata, ove l'altezza d'onda è inferiore, non è previsto il muro paraonde.

Lungo il filo esterno del marginamento, le batimetrie variano tra la quota -14,50 m s.m.m. e la quota -10,00 m s.m.m.; al fine di ottimizzare il costo della soluzione, al contempo minimizzando le operazioni in sito, si è previsto, lungo lo sviluppo del marginamento, di realizzare imbasamenti in pietrame di spessore massimo 2,5 m. Questo criterio è stato assolto impostando, lungo lo sviluppo del marginamento, tre diverse quote di sommità dell'imbasamento; rispettivamente, procedendo da ovest, dove sono presenti le maggiori batimetrie, verso est, dove il fondale esistente è più alto, le quote sommitali dell'imbasamento sono la -12,50 m s.m.m.; -10,50 m s.m.m.; -8,50 m s.m.m..

Nelle tre zone sono quindi state previste tre diverse tipologie di cassoni; i cassoni di tipo A, in totale 62, di altezza 13,50 m, occupano 80,40 m del voltatesta sul lato ovest e 1.661,60 m di marginamento lungo il Canale di Calma; i cassoni di tipo B sono in totale 64, hanno un'altezza di 11,50 m, ed occupano 84,60 m del voltatesta sul lato ovest, oltre ad un tratto di marginamento lungo il Canale di Calma di 1.634,80 m; i cassoni di tipo C sono in totale 17, hanno un'altezza di 9,50 m ed occupano il tratto orientale del marginamento lungo il Canale di Calma per una lunghezza di 196,60 m; il voltatesta sul lato est dell'opera a mare è realizzato con 7 cassoni di tipo C per una lunghezza di 185 m; come già anticipato in questa relazione, tutti i cassoni sono dotati di celle antiriflettenti.

Nel novero dei cassoni di ciascuna delle tipologie "correnti" sopra citate, sono previsti cassoni "speciali" che contengono le opere di scarico della gronda dell'aeroporto o del rio Secco e del Rio Roncallo che oggi scaricano nel Canale di Calma e sarebbero quindi intercettati dall'opera a mare, descritte nel dettaglio nel seguito di questa relazione.

Si veda nella seguente Figura 5.8 una pianta in cui sono individuati i cassoni delle diverse tipologie e, al loro interno, il numero e la posizione dei cassoni "speciali" che contengono le opere di scarico idraulico.

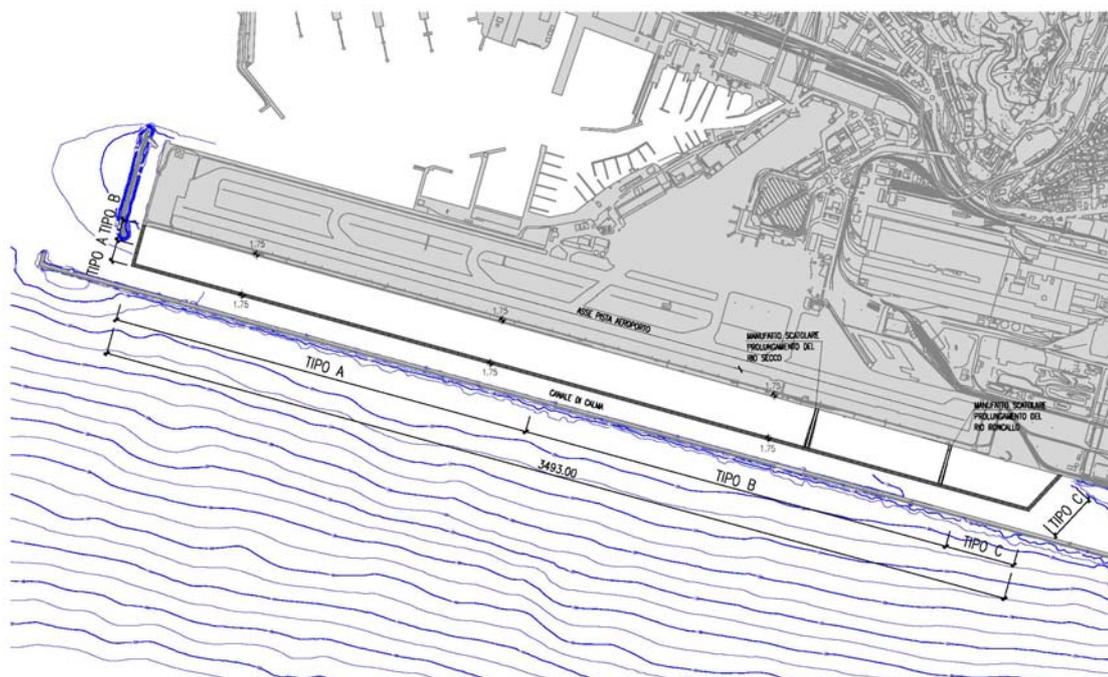


Figura 5.8 - Opera a mare nel Canale di Calma - Conterminazione - Tipologia dei cassoni

I cassoni tipo A sono dunque caratterizzati da un'altezza di 13,50; essi (vedi Figura 5.9) hanno dimensioni in pianta di 14,80 m x 26,70 m; sono costituiti da 21 celle di dimensioni interne nette di 3,50 m x 3,70 m (3,80 m le celle centrali); i muri perimetrali hanno uno spessore di 50 cm; le pareti interne che compartimentano le celle hanno spessore di 20 cm; la soletta di fondo ha uno spessore di 70 cm.

La parte superiore del cassone, per un'altezza di 4,60 m, è occupata dalla cella antiriflettente, nella quale il pietrame di protezione, di pezzatura 300÷1000 kg, è disposto con una pendenza di circa 1 / 2,5, ad occupare l'intera larghezza interna del cassone; tali dimensioni e la pendenza del pietrame sono stati definiti in base ai risultati di una campagna sperimentale svolta dal "Danish Hydraulic Institute" nell'anno 1987 su cassoni destinati alla base navale di Taranto, al fine di verificarne le proprietà antiriflettenti (Danish Hydraulic Institute – Taranto Naval Base – Hydraulic Model Tests Reflection from quay structures – May 1987); i risultati dello studio citato affidano ad una siffatta cella il richiesto coefficiente di riflessione uguale a 0,5.

Lungo le pareti laterali, destinate ad essere affiancate dal cassone adiacente, due incavi trapezoidali sono preparati durante la fase di getto per poter poi realizzare in opera le calze di sigillatura idraulica del giunto tra i cassoni, previsto dell'ordine di 10 cm.

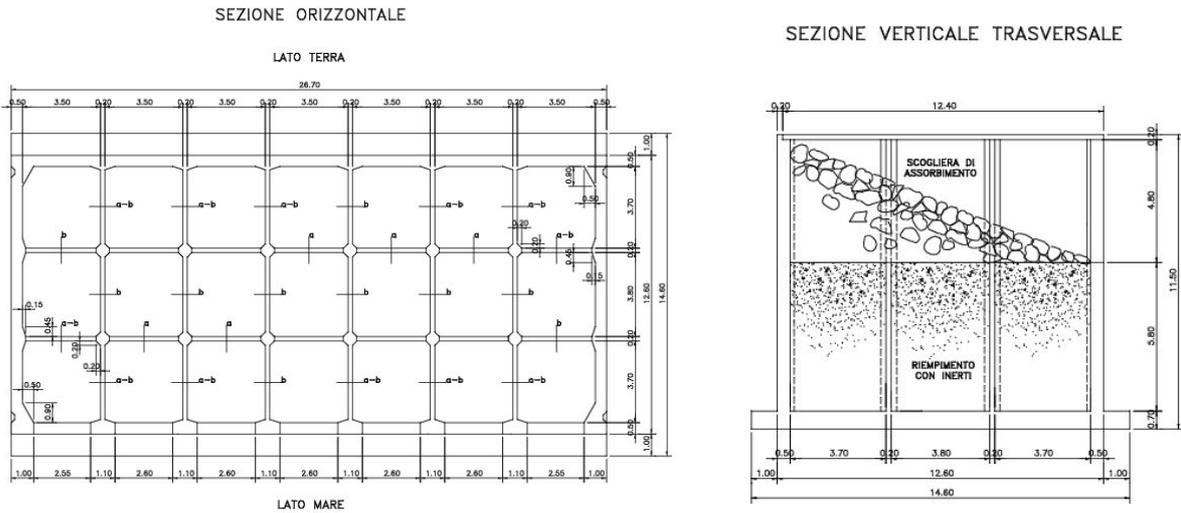


Figura 5.9 - Opera a mare nel Canale di Calma - Conterminazione - Cassoni tipo A

I cassoni tipo B hanno un'altezza di 11,50 m; essi (Figura 5.10) hanno dimensioni in pianta di 14,80 m x 26,70 m; sono costituiti da 21 celle di dimensioni 3,50 m x 3,70 m (3,80 m le celle centrali); i muri perimetrali, i setti interni e la soletta di fondo hanno spessori del tutto identici a quelli del cassone tipo A, così come le caratteristiche della cella antiriflettente; anche gli incavi per le calze sono presenti, realizzati con il medesimo criterio.

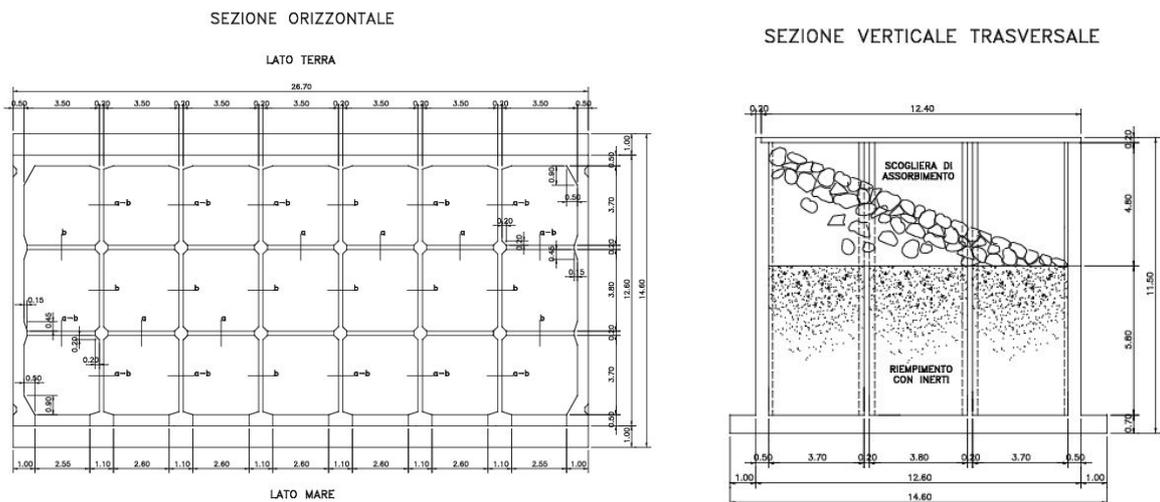


Figura 5.10 - Opera a mare nel Canale di Calma - Conterminazione - Cassoni tipo B

I cassoni tipo C hanno un'altezza di 9,50 m; essi (Figura 5.11) hanno dimensioni in pianta di 14,80 m x 26,70 m; sono costituiti da 21 celle di dimensioni 3,50 m x 3,70 m (3,80 m le celle centrali); i muri perimetrali, i setti interni e la soletta di fondo hanno spessori del tutto identici a quelli del cassone tipo A, così come le caratteristiche della cella antiriflettente.

Anch'essi riportano lungo il lato corto le tasche che consentiranno la posa delle calze di sigillatura dei giunti tra cassone e cassone.

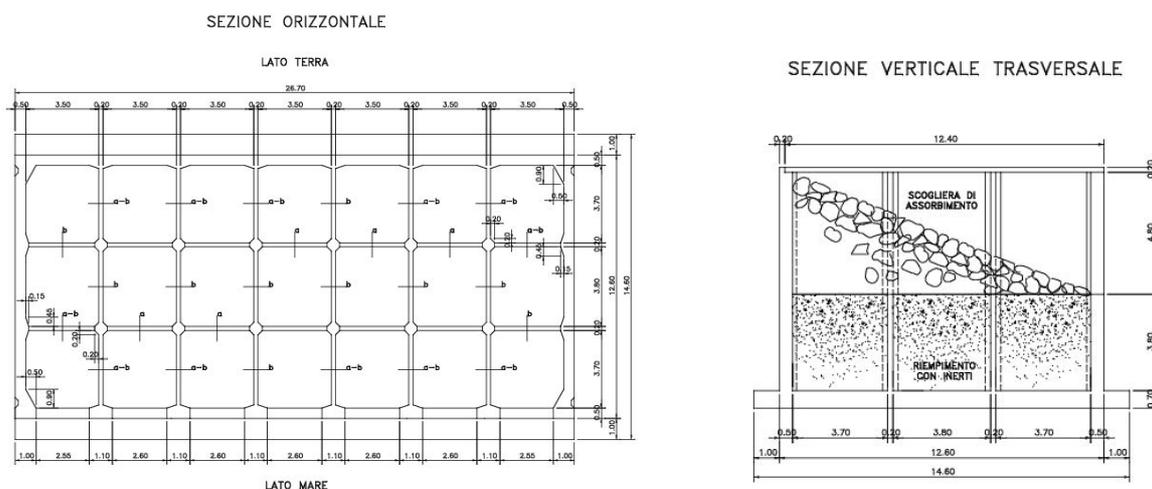


Figura 5.11 - Opera a mare nel Canale di Calma - Conterminazione - Cassoni tipo C

Come già velatamente anticipato, il marginamento del deposito deve assolvere non solo le funzioni statiche di sostegno del materiale versato internamente alla colmata, ma anche quella di chiusura idraulica, secondo i criteri ambientali esposti al Paragrafo 4.8 di questa relazione.

La tenuta idraulica dell'opera è garantita dalla struttura del cassone stesso, dalla presenza di giunti impermeabili posti negli spazi esistenti fra cassone e cassone e dalla impermeabilizzazione della struttura di imbasamento, che costituisce una via preferenziale per le acque a causa della permeabilità elevata del materiale grossolano.

La realizzazione della parete in cassoni prevede la posa di un tessuto non tessuto sul fondale e la successiva posa di materiale di cava di pezzatura adeguata mediante bettolina a fondo apribile o mediante benna montata su pontone.

La posa del tessuto non tessuto ha una finalità essenzialmente ambientale ossia quella di minimizzare la risospensione dei sedimenti di fondo durante le operazioni di versamento del materiale necessario per costruire lo scanno.

In questo modo si possono minimizzare sia l'emissione di torbidità (ricordiamo che i sedimenti superficiali hanno predominanza delle frazioni limose ed argillose) che delle sostanze inquinanti presenti.

Una volta terminata la realizzazione dello scanno di imbasamento, i cassoni, precedentemente realizzati in siti esterni all'area di progetto, vengono portati in galleggiamento fino al canale di calma e qui vengono affondati nelle posizioni previste, per poi essere riempiti con il materiale non amiantifero proveniente dallo scavo delle gallerie.

Lo spazio esistente fra ogni cassone ed il cassone adiacente viene sigillato mediante la realizzazione di due giunti impermeabili costituiti da elementi tubolari ("calza") composti da un tessuto geosintetico in cui è posto un materiale di riempimento costituito da una miscela di cemento bentonite in grado di dare un coefficiente di permeabilità non superiore a quello del calcestruzzo dei cassoni (stimato in 10^{-6} m/s).

L'impermeabilizzazione dello scanno viene invece ottenuta mediante posa di un telo impermeabile, risvoltato sul cassone, che si estende sul fondale per una lunghezza di circa 10 m.

Con l'adozione delle misure citate, nel complesso la barriera è in grado di fornire un coefficiente di permeabilità non superiore a 10^{-6} m/s.

Dal punto di vista prestazionale, la definizione del grado di protezione della barriera è stata sviluppata sulla base delle seguenti considerazioni:

- trascurando le fibre di amianto, i materiali scaricati nella cassa di colmata sono essenzialmente "puliti" ossia non presentano concentrazioni di metalli in tracce in quantità tali da generare concentrazioni significative all'interno della colmata tenendo conto dei volumi di diluizione necessari per mantenere fluida la miscela nello slurrydotto e dei volumi d'acqua presenti nella colmata all'inizio delle operazioni. la quantità di elementi in traccia rilasciati dai materiali durante le fasi di scavo e trasporto non è nota (sarà determinata tramite sperimentazioni di prossimo avvio) tuttavia considerando che si tratta di elementi di origine naturale legati alla matrice cristallina delle rocce e che le condizioni di trasporto e deposito avvengono in ambiente neutro o debolmente alcalino (è noto in letteratura che la maggior parte dei metalli viene mobilizzata

in ambiente acido), si è ipotizzato che la quantità in grado di passare in soluzione in fase acquosa sia modesta.

- L'eventuale flusso di inquinanti in soluzione attraverso la barriera dipende quasi esclusivamente da fenomeni diffusivi, il moto avvertito principale è diretto verso la vasca di ricircolo per effetto dell'azione delle pompe che aspirano le acque dalla colmata per inviarle al depuratore e alla tubazione di ritorno dello slurrydotto; lungo la barriera, l'unico flusso che potrebbe instaurarsi è quello legato all'oscillazione della marea, che genera una differenza di pressione idrostatica fra l'interno della colmata e l'esterno; tuttavia viste le ampiezze in gioco, anche questo aspetto è stato considerato trascurabile
- Le schiume utilizzate per mantenere il materiale nello slurrydotto della consistenza desiderata potrebbero raggiungere concentrazioni significative nelle acque di colmata al procedere del ricircolo e nelle fasi finali del riempimento; tuttavia si tratta di sostanze soggette a degradazione biologica in tempi abbastanza rapidi (giorni), la cui concentrazione originale nella colmata tende dunque a ridursi nel tempo (anche in questo caso è prevista una sperimentazione per verificare le concentrazioni attese ed i possibili tempi di decadimento)

Dalle considerazioni sopraesposte, emerge che le fibre libere di amianto rappresentano quindi il principale elemento di criticità ambientale, in quanto potrebbero essere presenti in quantità significative nelle acque.

Si tratta comunque di elementi in sospensione, la cui dimensione, per quanto micrometrica (le fibre libere hanno un diametro dell'ordine di 1-5 micron), può essere efficacemente contrastata adottando un coefficiente di permeabilità pari a quello normalmente fornito dal calcestruzzo (10^{-6} m/s) che quindi è stato adottato come criterio di progetto; tuttavia va segnalato che anche per questo aspetto sono già previste sperimentazioni volte a verificare la capacità di intercettare le fibre di setti porosi a differente grado di permeabilità.

Esaminando la struttura di conterminazione si può dunque osservare come la struttura del cassone sia certamente idonea a garantire lo standard richiesto e gli altri punti critici, gli spazi fra cassone e cassone e lo scanno di imbasamento sono stati risolti rispettivamente attraverso

la creazione di giunti impermeabili in cemento e bentonite e la posa di una guaina impermeabile. Si ricorda che anche per le fibre vale quanto detto sopra in merito alla assenza di gradienti idraulici significativi in grado di creare flussi attraverso la barriera.

Per quanto riguarda la possibile filtrazione sotto la barriera, le verifiche svolte (vedi Quadro di Riferimento Ambientale del volume 2 dello Studio di Impatto Ambientale) hanno evidenziato che solo le acque interstiziali presenti negli strati superficiali di sedimento possono effettivamente rilasciare acque verso l'esterno, anche se in misura limitata, per effetto delle pressioni generate dalla colmata. Ciò non riguarda invece i materiali potenzialmente amiantiferi in quanto durante il consolidamento, le pressioni generate all'interno dei materiali vengono dissipate verso le acque sovrastanti, a causa della elevata permeabilità del materiale versato e non sono in grado quindi di generare un flusso che spinga le fibre attraverso il sedimento di fondo.

5.3 L'utilizzo dello spazio all'interno delle opere di conterminazione

L'area della colmata, interna alle opere di conterminazione, può essere sostanzialmente divisa in due parti (Figura 5.12):

- la prima parte, sul lato est, per una lunghezza di circa 555 m denominata piarda - vasca A1 + vasca W1, è dedicata in un primo momento alla realizzazione di una piarda, destinata a ricevere i primi apporti di materiale, non amiantifero, provenienti dall'escavo delle gallerie con TBM;
- la seconda parte, a completamento della colmata, è destinata ad accogliere le vasche per il deposito del materiale potenzialmente amiantifero (denominate A2 e A3) e la vasca di captazione dell'acqua di ricircolo/esubero (vasca W2).

Il motivo di questa prima suddivisione dello spazio all'interno della colmata deriva sostanzialmente dalla necessità di ospitare all'interno dello spazio disponibile i materiali di smarino con la cadenza temporale con cui essi sono prodotti durante le operazioni di escavo delle gallerie.

Dunque la prima parte della colmata sul lato est, in grado di ricevere circa 1.150.000 m³ di materiale non amiantifero, sarà realizzata predisponendo inizialmente un rilevato in materiale granulare, di conterminazione dell'area della piarda, impermeabilizzato sul lato ovest con il telo in HDPE precedentemente descritto, ad evitare eventuali contaminazioni del materiale

depositato nella piarda da parte del materiale potenzialmente amiantifero o dell'acqua in cui esso si trova immerso, che sarà depositato nella vasca A2 adiacente. L'argine ha dimensioni in sommità di 5 m, al fine di consentire il transito di mezzi di cantiere e scarpate di pendenza 4/3.

Prima del deposito del materiale della piarda, al fine di garantire la separazione tra il materiale in sito ed il materiale depositato, sarà posto in opera un geotessuto di grammatura 400 g/m².

Il materiale depositato all'interno della piarda, una volta completato il deposito del materiale potenzialmente amiantifero nelle vasche adiacenti A2 e A3, e dopo che sarà posta in opera la impermeabilizzazione alla quota +0,30 m s.m.m. su detto materiale, sarà quindi riscavato ed utilizzato per formare il capping delle vasche adiacenti.

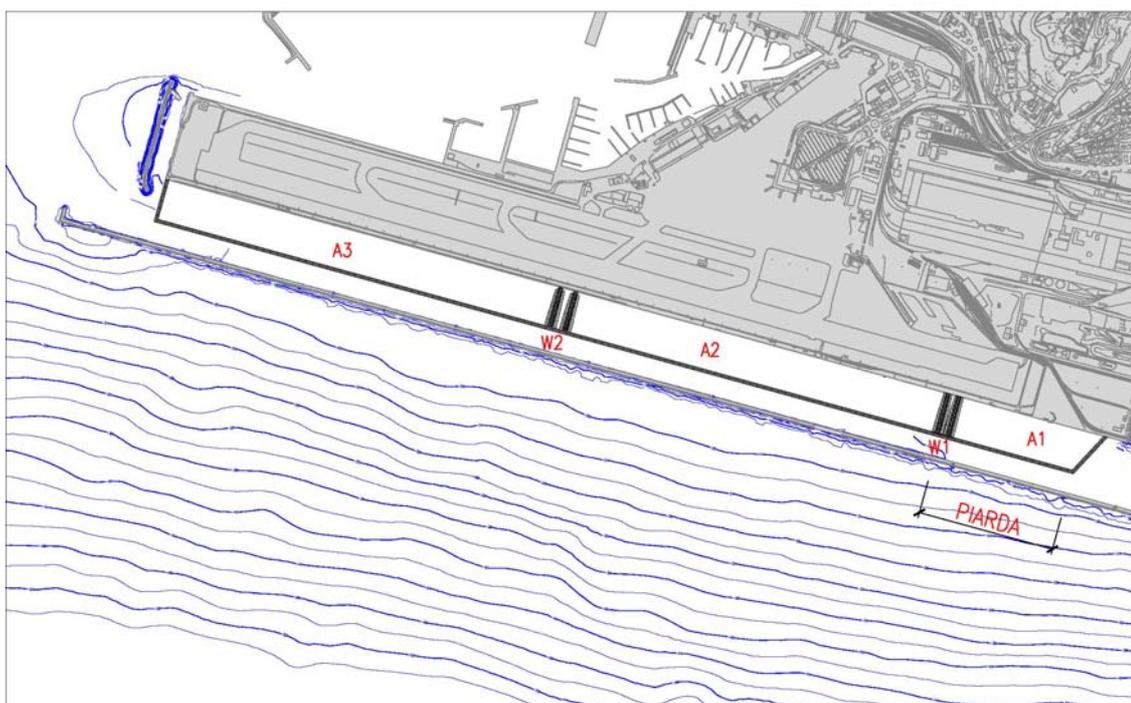


Figura 5.12 - Opera a mare nel Canale di Calma - Utilizzo dello spazio all'interno delle opere di conterminazione

Lo scavo è previsto fino a 50 cm al di sopra del fondale esistente, al fine di lasciare con certezza in opera un filtro di una certa consistenza che assicuri che durante l'escavo nella piarda non sia prelevato anche il materiale oggi esistente sul fondale, non idoneo dal punto di vista fisico/chimico alla formazione del capping.

A questo punto il volume scavato sarà disponibile per la posa del materiale potenzialmente amiantifero entro la vasca denominata A1, che sarà depositato dopo la formazione di una

vasca per la captazione delle acque, denominata W1, ottenuta con la costruzione di un secondo argine, delle stesse caratteristiche geometriche del primo, e dopo la predisposizione della impermeabilizzazione dello scanno dei cassoni.

Al termine del deposito delle rocce da scavo provenienti dalle formazioni potenzialmente amiantifere, alla quota -1,00 m s.m.m., si porrà in opera un primo strato di materiale non amiantifero sino alla quota +0.30 m, quindi si predisporrà l'impermeabilizzazione superficiale e successivamente un secondo strato di materiale non amiantifero che costituirà il capping dell'opera e che conterrà il sistema di captazione delle acque superficiali; per il dettaglio relativo si rimanda il lettore ai successivi paragrafi di questa relazione.

La seconda parte della colmata, sul lato ovest, di lunghezza 2.960 m circa, è deputata a ricevere da subito il materiale proveniente dalle formazioni potenzialmente amiantifere.

Essa è a sua volta divisa in tre vasche; le due vasche laterali, denominate A2 e A3, di lunghezza rispettivamente 1.415,00 m e 1.495,00 m, sono deputate a ricevere lo smarino proveniente dalle formazioni potenzialmente amiantifere; la parte centrale, di lunghezza 50,00 m, costituirà invece la vasca W2 dalla quale sarà prelevata l'acqua, nella misura di cinque parti per il ricircolo nel circuito dello slurry, ed una parte per il depuratore; quest'ultima è la porzione di acqua "eccedente", corrispondente al volume "solido" depositato.

L'approccio seguito è essenzialmente quello di minimizzare i fenomeni di turbolenza mediante l'adozione di un sistema di diffusione della miscela che, operando sempre sott'acqua sia in grado di ridurre le velocità di uscita a poche decine di cm/s.

La forma e dimensione del diffusore sarà sviluppata in fase esecutiva a valle di una sperimentazione specifica in quanto questo tipo di diffusori deve essere sviluppato caso per caso, in base alle caratteristiche specifiche della miscela e dell'obiettivo di riduzione della portata in ingresso, tuttavia, come verrà evidenziato nel capitolo specifico, simulazioni modellistiche preliminari indicano che con velocità inferiori ai 30 cm/s è possibile evitare fenomeni di risalita delle fibre in prossimità della superficie dello specchio d'acqua.

Una volta completato il riempimento alla quota -1,0 m s.m.m., scelto al fine di assicurare che il materiale depositato proveniente dalle formazioni potenzialmente amiantifere sia sempre sotto il livello medio mare, si procederà alla stesa di uno strato di materiale non contenente amianto sino alla quota di +0,30m, quindi alla posa del sandwich formato da geotessile, geogriglia di captazione dell'acqua, membrana di impermeabilizzazione, e quindi alla posa di un secondo strato di materiale da scavo proveniente dalle formazioni non amiantifere, che conterrà anche

il sistema dei drenaggi superficiali; per maggiori dettagli su questo argomento si rimanda ai paragrafi seguenti di questa relazione.

5.4 Il layout finale della colmata

Il layout finale della colmata (Figura 5.13) prevede una sistemazione a verde per l'intera area, complanare all'attuale piattaforma aeroportuale. Esternamente all'area della strip-way è prevista la realizzazione di un rilevato, anche esso sistemato a verde, resosi necessario in questa revisione per poter ospitare l'intero volume di materiale prodotto dallo scavo delle formazioni non amiantifero. Il rilevato presenta un'altezza media pari a 2,50 m, una larghezza in sommità di 62 m, con pendenza 2/3 sul lato mare, ed 1/7 sul lato terra, al fine di rispettare i coni di sicurezza richiesti dall'aeroporto "Cristoforo Colombo". All'interno del layout finale sono previste due strade di servizio, di larghezza 3,50 m; la prima corre appena oltre il limitare della "runway strip", la seconda al limite esterno dell'area al di sopra dei cassoni cellulari di marginamento; sulle estremità occidentale ed orientale, ed in mezzeria della colmata, è stata prevista una viabilità trasversale di collegamento; la strada sui cassoni è illuminata con fanali di altezza massima 9 m e con emissione verso il basso, ad evitare ogni interferenza con le attività dell'aeroporto; la parte interna, lato aeroporto, rispetto alla strada che delimita la nuova "runway strip" sarà compattata con le caratteristiche di portanza previste dai regolamenti aeroportuali.

All'interno dell'area sono ricavati anche:

- la gronda di captazione delle acque meteoriche provenienti dall'aeroporto, per la quale si rimanda ai paragrafi seguenti di questa relazione;
- il sistema di captazione delle acque meteoriche, pure descritto nel seguito;
 - un cunicolo a disposizione dei sottoservizi, richiesto dall'aeroporto, ubicato internamente ai cassoni cellulari di conterminazione. Si tratta di un cunicolo ispezionabile, in conglomerato cementizio armato, di dimensioni interne nette di 1,15 m x 1,80 m, oggi destinato ad ospitare i cavi di alimentazione dell'illuminazione stradale ed in futuro a disposizione per la posa di altri sottoservizi da parte dell'aeroporto.

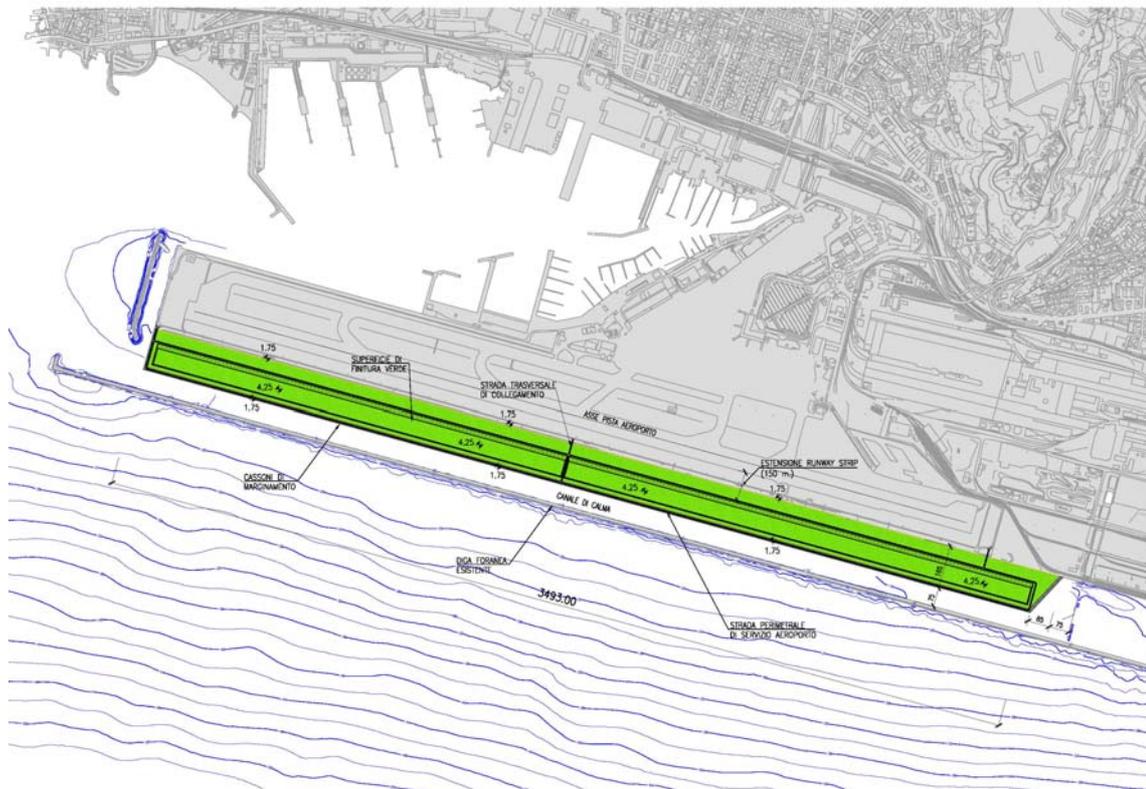


Figura 5.13 - Opera a mare nel Canale di Calma - Layout finale della colmata - Planimetria

Nella Figura 5.14 è rappresentata un'immagine prospettica della sistemazione finale.



Figura 5.14 - Opera a mare nel Canale di Calma - Layout finale della colmata - Vista prospettica

5.5 Il “concept” del progetto di contenimento del materiale

Nel seguito vengono sinteticamente richiamati i principali criteri e le motivazioni che sono state seguite per la definizione della soluzione progettuale adottata; lo scopo è quello di dare un quadro di insieme del progetto che aiuti a comprenderne la filosofia di base che rimane principalmente quella di assicurare il pieno rispetto degli obiettivi di tutela ambientale.

Ognuno degli argomenti descritti sinteticamente in questo paragrafo viene poi descritto in dettaglio nei capitoli relativi.

Le fasi di costruzione della colmata

La costruzione della colmata richiederà un tempo complessivo di circa nove anni, di cui due per la costruzione delle opere di conterminazione, sei per il conferimento del materiale e tre per il consolidamento e la realizzazione dello strato di ricopertura finale. Le fasi sono tra loro sovrapposte così come dettagliato dal cronoprogramma allegato all'ultimo paragrafo di questa relazione. Uno dei parametri principali per la definizione dei tempi e delle fasi di costruzione è il programma di conferimento dei materiali, a sua volta definito dalle velocità delle attività di scavo sia mediante tecnica tradizionale che mediante scavo meccanizzato (TBM).

Tutta la programmazione delle attività è stata impostata con lo scopo di minimizzare i tempi di costruzione, garantendo al contempo la massima sicurezza nei confronti dell'ambiente e della salute pubblica rispetto al rischio di rilascio di fibre di amianto e di altri inquinanti, come evidenziato nel paragrafo relativo ai criteri ambientali.

Fase 1 Costruzione della conterminazione

La prima fase della costruzione della conterminazione prevede la costruzione dell'opera di contenimento della parte orientale della colmata, fino al completamento di circa metà dell'estensione del marginamento.

L'opera di conterminazione, come descritto in questa relazione, sarà realizzata in cassoni; la costruzione prevede la creazione dello scanno di imbasamento, la costruzione dei cassoni in cantiere di prefabbricazione situato all'esterno del sito di progetto, il trasporto dei cassoni in galleggiamento fino al sito di progetto e l'affondamento degli stessi. A ciò seguirà l'impermeabilizzazione della barriera e la costruzione del muro paraonde in sommità.

Il tratto di collegamento fra la conterminazione e il margine aeroportuale, necessario per completare il perimetro della vasca sarà realizzato con un argine temporaneamente rivestito con un telo, in modo da garantirne l'impermeabilità.

All'interno della vasca saranno realizzati altri due setti, così da compartimentare il volume complessivo in tre unità distinte.

L'unità più orientale, denominata "piarda", (vasca A1) verrà utilizzata per il conferimento del materiale proveniente dallo scavo meccanizzato del tratto iniziale della galleria, non amiantifero, che verrà successivamente reimpiegato per la copertura della colmata. Il conferimento del materiale avverrà fino a riempimento dell'intero volume della vasca e la superficie così formata costituirà una superficie utilizzabile nelle successive operazioni di cantiere per l'accumulo temporaneo di macchinari o materiali costruttivi. Dal momento che il materiale scaricato verrà riutilizzato nel seguito, il fondo della unità sarà protetto con la posa di un tessuto non tessuto allo scopo di evitare il mescolamento fra i sedimenti presenti sul fondo del canale e quelli sovrastanti durante le attività di ripresa del materiale temporaneamente depositato. Successivamente alla fase di svuotamento del materiale non contenente amianto, sarà conferito all'interno della vasca A1 il materiale potenzialmente amiantifero, per un volume pari a circa 600.000 m³.

L'unità centrale, denominata vasca A2, sarà utilizzata per il deposito dei materiali amiantiferi per un volume di circa 2,2 milioni di metri cubi

L'unità più occidentale, di volume limitato, denominata W2, sarà utilizzata come punto di prelievo delle acque di ricircolo e delle acque di scarico che saranno avviate all'impianto di depurazione.

La seconda parte della costruzione della con terminazione prevede il completamento del marginamento fino all'estremità occidentale dell'aeroporto, con modalità analoghe a quelle descritte sopra, realizzando così in'ulteriore vasca, A3, di volumetria pari a circa 2,3 milioni di metri cubi.

Fase 2 Risoluzione delle interferenze

Questa fase prevede la sistemazione dal punto di vista idraulico del sistema di scarichi che attualmente interessa il sito di progetto.

Le attività consistono nella realizzazione sul fondo della colmata dei nuovi condotti di scarico per i rii esistenti, che saranno impermeabilizzati per evitare il drenaggio delle acque situate all'interno della colmata e posa di un sistema di raccolta e captazione delle acque di pioggia provenienti dalla rete di drenaggio aeroportuale che attualmente scaricano nel canale di calma in corrispondenza della nuova colmata.

Fase 3 Gestione della colmata

E' la fase principale del progetto; è previsto il completamento degli argini interni e la realizzazione di un rinfiango sul margine dell'aeroporto allo scopo di fondare il canale di gronda che consente di risolvere le interferenze idrauliche con gli scarichi dell'aeroporto; il rinfiango verrà realizzato mediante la posa di parte di materiale sciolto pulito, a valle della realizzazione degli argini comincia il versamento di materiale

Contemporaneamente viene realizzato l'impianto di trattamento delle acque nell'area di cantiere di Cornigliano, incluse le tubazioni di mandata ed il sistema di pompaggio delle acque.

Si procede poi con la posa all'interno dell'area ILVA e lungo il margine della colmata, delle tubazioni di mandata e di ritorno dello slurrydotto, incluse le stazioni di rilancio; viene inoltre realizzato il tratto flessibile della tubazione afferente al sistema di distribuzione (diffusore) all'interno della colmata, dei materiali scavati, il quale garantirà il deposito dei materiali nel rispetto dei criteri ambientali.

In questa fase saranno anche predisposte eventuali misure di sicurezza (es. sistema di nebulizzazione lungo il margine della colmata) per garantire che nessuna fibra venga rilasciata in atmosfera anche a seguito di rotture o incidenti durante le operazioni di versamento dei materiali

Completate le operazioni di cui sopra si procede al versamento del materiale non amiantifero necessario per realizzare la piarda; le acque in eccesso vengono temporaneamente prelevate dalla vasca W1.

Completata la vasca A2, la tubazione di ricircolo e scarico viene spostata nella vasca W2 e si procede al versamento di materiale potenzialmente amiantifero, prima nella vasca A2 e poi nella vasca A3 (dopo aver rimosso il telo impermeabile dal setto della vasca W2), fino al raggiungimento della quota $-1,0$ m (s.l.m.m.). Sulla superficie della colmata viene depositato un primo strato di materiale non amiantifero, sino alla quota di $+0.3$ m (s.l.m.m.), quindi stesa la guaina impermeabilizzante e posate le tubazioni di drenaggio delle acque superficiali, su cui si stende la copertura finale di materiale non amiantifero accumulato nella piarda.

La copertura della superficie delle due vasche comporterà il riutilizzo del materiale accumulato nella piarda, il cui volume sarà a disposizione per il versamento dell'ultima frazione di materiale potenzialmente amiantifero; alla nuova vasca denominata A1. L'ultima fase di

riempimento della colmata prevede il riempimento della vasca A1, W2 e infine W1 che assicurerà la gestione delle acque di ricircolo e all'impianto fino al termine delle operazioni.

Fase 4 Finiture superficiali

A riempimento ultimato, si procede alla sistemazione finale dell'intera superficie mediante posa di terreno vegetale, inerbimento, realizzazione delle strade di servizio per l'aeroporto, dei cavidotti, predisposizione del sistema di alimentazione elettrica a servizio del sistema di illuminazione perimetrale.

5.6 Il versamento del materiale all'interno della colmata

Come anticipato in premessa, lo smarino derivante dallo scavo meccanizzato con TBM verrà trasportato a dimora in forma di miscela (slurry), contenenti una parte di materiale solido e cinque parti di acqua di mare.

5.6.1 La miscela sedimenti-acqua da versare (slurry)

Le caratteristiche della miscela acqua/materiale di smarino e dello slurrydotto per convogliarla nella colmata, sono riportate nei documenti "Relazione Scavo Meccanizzato" (Doc N° SCM 001), "Relazione descrittiva generale" (Doc N° APG 0801) e "Pista trasporto frese e slurrydotto – Relazione tecnico-descrittiva" (Doc N°APG 0831). Si riportano di seguito le principali caratteristiche.

La portata del circuito, essendo legata alla produttività massima giornaliera della fase di escavazione è valutata in 7.000 m³/giorno ed ipotizzando il funzionamento dell'impianto in 16 ore giornaliere si evince la necessità di trasporto di smarino pari a 437,5 m³/h. Dal valore di densità, miscelando il materiale con il giusto quantitativo di acqua, necessario per ottenere la fluidificazione del materiale per il trasporto dello stesso tramite pompaggio evitando i rischi di bloccaggio del sistema, si ricava il valore di portata di miscela pari a 2.078,1 m³/h.

Per il circuito di trasporto dello slurry si è scelto un diametro pari a 0,45 m (da bibliografia il diametro dovrà essere pari a 2,5 volte la dimensione maggiore dei grani che lo attraversano al fine di evitare intasamento) da cui si evince una velocità di trasporto pari a 3,8 m/s.

5.6.2 Le potenziali fibre libere di amianto

Senza entrare nel dettaglio delle formazioni geologiche che verranno incontrate nel corso delle operazioni di scavo e delle potenziali vene di asbesto che in esse potranno essere contenute, oggetto di particolari ed approfonditi studi specifici nel corso del presente progetto,

è importante ricordare come le potenziali fibre di amianto riscontrate potranno essere convogliate al luogo di essa a dimora sostanzialmente in due forme:

- in forma di concrezione e, quindi, incluse nelle frazioni rocciose. Ci si aspetta in questa forma la maggiore quantità di fibre;
- in forma di fibre libere, come risultato dell'attività di scavo e riduzione delle frazioni trasportate.

Risulta evidente come le fibre di amianto prodotte nella seconda forma, anche se in previsione potranno essere una quantità meno rilevante della prima, saranno quelle a cui bisognerà porre la massima attenzione in quanto potenzialmente atte a liberarsi in aria e costituire quindi un pericolo per la salute pubblica.

Le fibre libere di amianto, come è ben noto, hanno una lunghezza di pochi μm ed uno spessore di pochi decimi di μm .

Non essendo nota la quantità di fibre libere potenzialmente rilasciate in acqua, a titolo precauzionale, è stato ritenuto che tale quantità possa essere rilevante e che sia quindi necessario identificare ed adottare un metodo di posa che minimizzi i rischi dovuti alla loro presenza nelle acque del bacino di recapito.

In particolare si ritiene debba essere minimizzata la probabilità che le fibre entrino in contatto con la superficie libera e, quindi, essere liberate in atmosfera.

5.6.3 *Il metodo di posa*

Sulla base di quanto sopra ricordato, uno dei principali problemi che ci si è posti è stato quello di individuare, almeno in via di principio in questa fase, ma che dovrà essere valutato sperimentalmente nelle successive fasi progettuali e comunque prima della sua realizzazione, il metodo più idoneo alla posa in opera dello slurry al fine di minimizzare il rischio di dispersione delle fibre in acqua e, quindi, potenzialmente, in atmosfera.

È risultato subito evidente che sono diverse le situazioni operative a cui si dovrà far fronte:

- a) Una fase iniziale di posa dello slurry a diretto contatto dei sedimenti di fondo, comunque in presenza di un rilevante tirante d'acqua valutabile, in media, in 10 m, in cui sarà importante non mobilitare il sedimento fine già presente sul fondo del canale che, come riportato nelle analisi di qualità dei sedimenti, possono contenere analiti potenzialmente inquinanti in quantità anche di rilievo

- b) Una fase intermedia di posa dello slurry sugli strati di sedimenti potenzialmente amiantiferi già posti in opera, ma ancora non consolidati. In questa fase dovrà essere posta particolare attenzione alla risospensione non solo delle fibre in corso di messa a dimora, ma anche di quelle già presenti sul fondo e potenzialmente mobilitabili
- c) Una fase finale, con ridotto battente idrico dell'ordine di circa 1 m, in cui la probabilità di contatto delle fibre di amianto libere nei fanghi con la superficie liquida e, quindi, con l'atmosfera è maggiormente elevata.

Nella fase esecutiva o costruttiva del progetto dovrà quindi essere studiato un sistema di posa confinato a minima turbolenza che consenta un deposito del materiale con velocità molto ridotta e, quindi, con turbolenza indotta dal getto estremamente contenuta.

Dalla letteratura disponibile risulta che sistemi di posa con queste caratteristiche sono già stati applicati per far fronte a problemi di altra natura (ridurre la possibilità di turbolenza nella posa di sedimenti con alto contenuto di idrocarburi). In questi casi si utilizzano diffusori speciali, i cosiddetti "tremie-diffusers" che, studiati appositamente in funzione della tipologia di sedimenti da gestire e delle caratteristiche delle sostanze di cui evitare la dispersione nella colonna d'acqua, consentono di minimizzare i rischi connessi a queste operazioni.

Questi dispositivi, da studiare e configurare nel dettaglio con prove sperimentali in laboratorio in funzione delle caratteristiche fisiche dei sedimenti da gestire e del sistema che le deve recepire, sono stati definiti nel laboratorio Deltares di Delft (Olanda) ed applicati per la gestione di diverse tipologie di sedimenti con elevato rischio di dispersione di inquinanti.

Poiché allo stato attuale non è possibile un dimensionamento specifico del dispositivo che potrebbe essere adottato per la posa del materiale potenzialmente amiantifero della colmata di Genova, si riporta di seguito una sintesi descrittiva del principio di funzionamento di questo tipo di sistema per la posa in opera di sedimenti in luoghi confinati (Confined Disposal Facilities) di seguito denominati CDF. Tale sintesi è tratta dalla presentazione del metodo alla "Battelle Conference" del 2007 da parte degli ideatori⁵, alla quale si rimanda per informazioni più dettagliate.

In generale si può affermare che i metodi tradizionali di posa in opera di materiale dragato in un CDF coinvolge, come nel caso di Genova, uno scarico di fango e sedimenti nell'acqua. Un

⁵ Michael J. Costello (SERVICE Engineering Group, St. Paul, Minnesota, USA), Walther van Kesteren WL|Delft, Delft, The Netherlands), William Flynn (SERVICE Engineering Group, Duluth, Minnesota, USA) – "A new Environmental Method for Placing Dredged Material in a CDF" – Battelle Conference, 2007

accumulo di materiale di granulometria più consistente (sabbia, ghiaia o maggiore) tende a realizzarsi dal punto di scarico, mentre i materiali più fini tendono a rimanere in sospensione, quindi rilasciando gli inquinanti ad essi adsorbiti, con tempi di sedimentazione, se avviene, molto più lunghi rispetto a quelli dell'altro materiale. Spesso, come nel caso di Genova, si rende necessario un trattamento dell'acqua presente nel CDF al fine di rimuovere i contaminanti disciolti e il particolato residuo. Al fine di minimizzare tali effetti, è stato ideato un nuovo apparato utilizzando una combinazione tra una tramoggia ("Tremie", un sistema tubolare per depositare il materiale sotto acqua) ed un diffusore (apparato per ridurre la velocità di deposito del fango), sperimentato per la posa di diversi tipi di materiali al fine di:

- a) ridurre l'emissione d'aria;
- b) ridurre la torbidità dell'acqua e, quindi, i costi di trattamento;
- c) in funzione del tipo di materiale, aumentare l'efficacia di compattamento del materiale e, quindi, ottimizzare lo spazio necessario per il collocamento in opera.

Il "tremie/diffuser" ha dimostrato la sua utilità per gestire alcuni dei materiali più complessi da porre in opera in un CDF quali sedimenti a granulometria fine contenenti sostanze organiche, sedimenti con presenza di contaminanti solubili e/o volatili, materiali composti da sabbia, limo e argille, e residui di cava.

Nel corso della posa in opera di slurries, è importante mantenere sotto controllo 3 processi principali:

1. l'accelerazione nel tratto verticale della tubazione della tramoggia;
2. le correnti super-critiche esterne al sistema tramoggia/diffusore;
3. la separazione delle diverse granulometrie.

In un sistema tubazione/diffusore tradizionale (Figura 5.15), lo slurry tende ad accelerare nel corso del tratto verticale della tubazione a causa della differenza di densità tra lo slurry stesso e l'acqua circostante. La velocità della parte solida dello slurry tende ad aumentare intrappolando l'acqua che, a sua volta tende a diluire lo slurry stesso.

Quando lo slurry colpisce il fondo, il flusso orizzontale che si genera può essere sia sub- che super-critico, in funzione del suo numero di Froude, se maggiore o minore di 1.

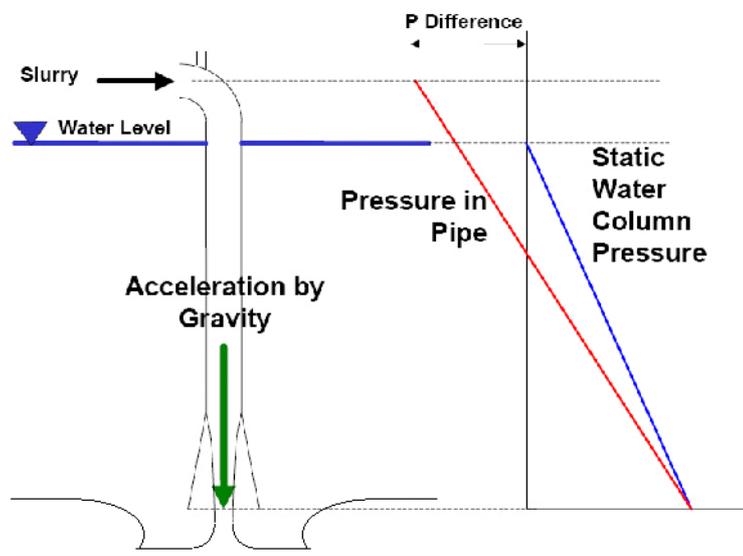


Figura 5.15 - Tubazione con diffusore tradizionale

Nel caso super-critico ($Fr > 1$), la velocità radiale orizzontale decresce e si verificherà, ad una certa distanza al di fuori del diffusore, un salto interno allo stato sub-critico. Una grande energia è dissipata nel corso di questa transizione. Questa transizione, o le correnti che determina, sarà di tipo turbolento e questo fenomeno aumenterà il mescolamento tra lo slurry e l'acqua all'interno del CDF. Il sistema costituito dal tremie/diffuser indicato per la posa in opera dello slurry potenzialmente amiantifero di cui al presente progetto, assicurerà che la transizione idraulica da stato super-critico a stato sub-critico avvenga all'interno del diffusore stesso, impedendo questo mescolamento e quindi la dispersione delle potenziali fibre di amianto (Figura 5.16).

Un corretto dimensionamento del sistema tremie/diffuser è funzione della granulometria e densità dello slurry, delle caratteristiche reologiche della frazione fine dei sedimenti, dalle caratteristiche dei sedimenti di fondo, dalla densità dell'acqua nel CDF, dalla pressione e velocità di recapito dello slurry, ecc..

Per progettare in modo corretto il sistema è quindi necessario, una volta noti i parametri di cui sopra, procedere ad un primo dimensionamento del sistema che dovrà, in fase di verifica, essere testato con prove sperimentali in scala da un laboratorio con strumentazione ed esperienza adeguata. Inoltre, una volta verificata la funzionalità dell'apparato, dovrà essere previsto un appropriato monitoraggio da parte di tecnici esperti che verifichi il corretto funzionamento del sistema.

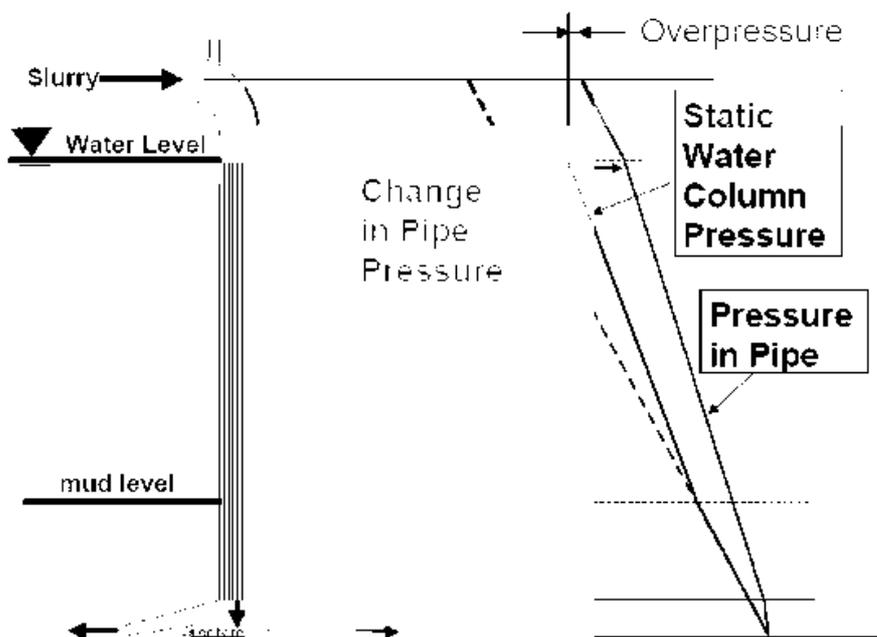


Figura 5.16 - Schema di configurazione di un sistema tremie/diffuser che minimizzi la dispersione della frazione fine all'interno del corpo recettore (CDF).

Questi sistemi sono stati sperimentati con successo, in varie parti del mondo, dal laboratorio di idraulica Deltares di Delft (Olanda).

In linea generale la velocità di recapito dello slurry a dimora in acqua dovrà essere contenuta in velocità massime non superiori a 25-30 cm/s, preferibilmente con velocità di posa prossime a 10 cm/s.

Il diffusore dovrà essere movimentato in "contro-corrente", cioè con velocità uguale e direzione opposta al flusso di posa in modo che la miscela venga depositata sul fondo con la minore turbolenza sia dello slurry che del materiale sul fondo.

Il diffusore, il metodo di posa più idoneo ed il suo sistema di movimentazione e connessione alla tubatura fissa di recapito dovranno essere testate da un laboratorio con esperienza in questo campo, una volta che siano definiti i parametri caratteristici del materiale da posare.

In particolare il dispositivo di posa dovrà essere testato anche in situazione di portata variabile, qualora la portata dello slurry-dotto possa variare nel tempo in funzione della produzione dei dispositivi di scavo.

5.6.4 *Il contenimento della torbidità*

Altri aspetti che dovranno essere tenuti in considerazione e che dovranno essere specificamente testati una volta che siano note le caratteristiche e le modalità operative di posa del materiale, saranno il collocamento e le caratteristiche dei dispositivi di contenimento della torbidità.

Sempre in linea generale, è da supporre che la posa del materiale possa produrre la diffusione di particelle solide nel serbatoio costituito dalla conterminazione del deposito a mare, con generazione di torbidità all'interno la cui diffusione potrebbe risultare non compatibile con il sistema di pompe per il ricircolo dell'acqua verso il circuito di slurry da una parte e l'alimentazione del sistema di depurazione per le acque di esubero.

Saranno quindi da individuare degli opportuni dispositivi costituiti da panne galleggianti o altri setti di contenimento, in modo da delimitare il bacino dove avvengono le operazioni di messa a dimora dei fanghi e favorire quindi la sedimentazione prima del recapito delle acque alla cella di gestione delle stesse.

Sulla base di alcuni test preliminari, è stato verificato che l'utilizzo di sistemi galleggianti con aperture di comunicazione sul fondo (le cosiddette panne galleggianti con pannello) favoriscono il contenimento e la sedimentazione di materiale granulare, anche di granulometria fine (sabbie fini e limi). È risultato anche, però, che in presenza di particelle particolarmente fini, quali le potenziali fibre libere di amianto, la presenza di setti con luce a battente potrebbe addirittura essere controproducente, favorendo il galleggiamento delle fibre nelle camere intermedie.

A titolo di esempio, si riportano nelle seguenti figure, e i risultati preliminari di alcune prove parametriche di dispersione nel bacino di posa, considerando 2 setti di panne galleggianti a grembiule e simulando rispettivamente il rilascio di sabbia fine (Figura 5.17), argille (Figura 5.18) e fibre, assimilabili a peliti (Figura 5.19).

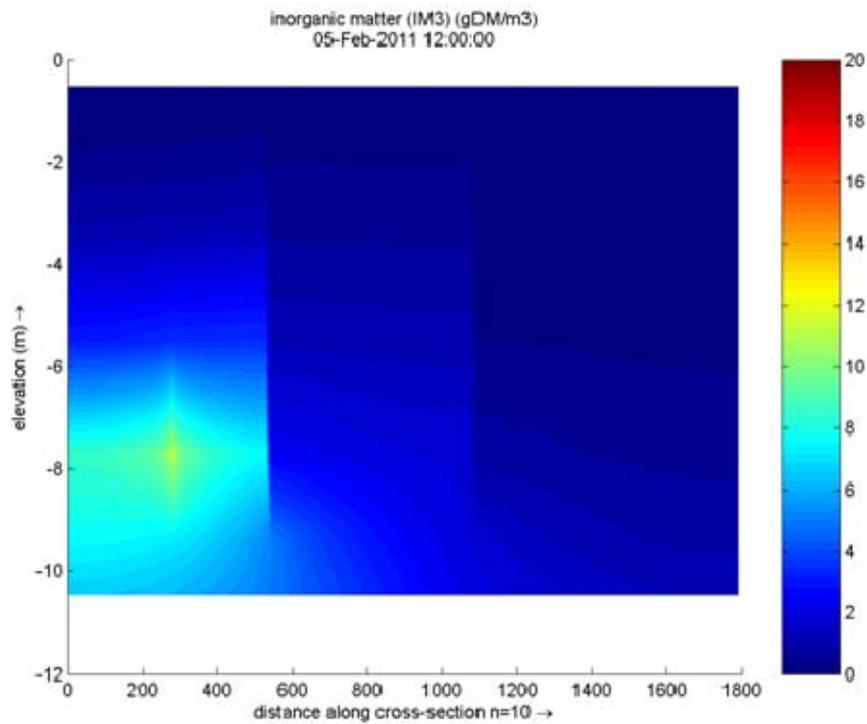


Figura 5.17 - Distribuzione di sabbia fine in sospensione in presenza di 2 setti di panne galleggianti

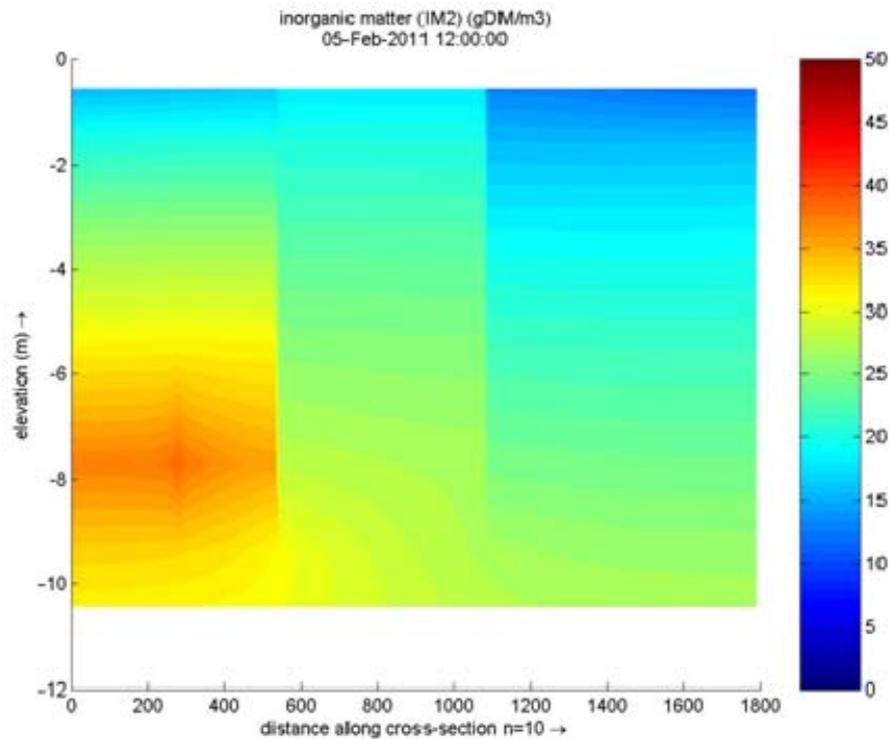


Figura 5.18 - Distribuzione di argilla in sospensione in presenza di 2 setti di panne galleggianti

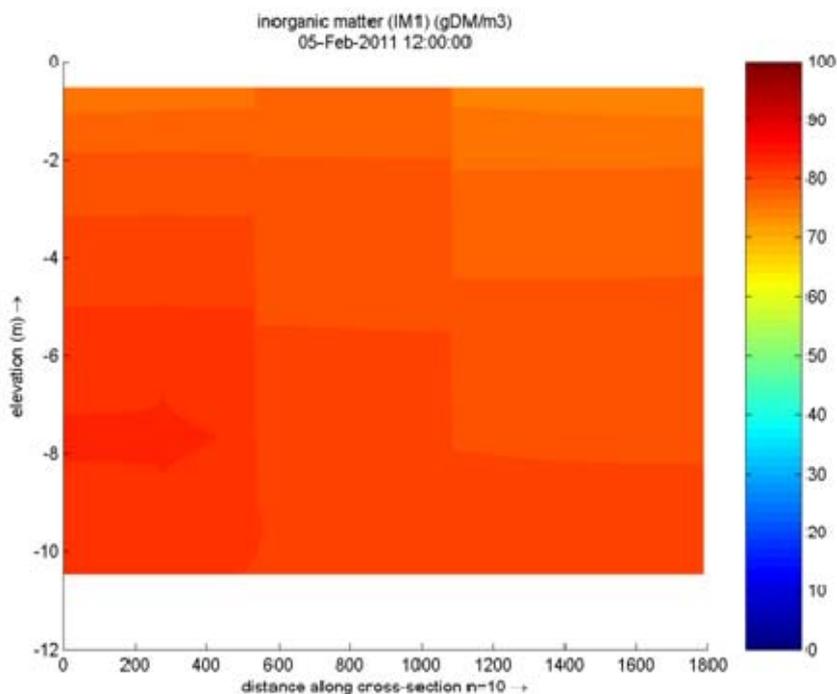


Figura 5.19 - Distribuzione di potenziali fibre, assimilate a peliti, in sospensione in presenza di 2 setti di panne galleggianti

5.7 Gli argini interni della colmata nei confronti della permeabilità

Gli argini di delimitazione della “cella di gestione delle acque” presentano molteplici funzionalità:

- delimitazione della stessa cella dalla restante parte della colmata;
- garantiscono il trasferimento delle acque dalle celle di conferimento delle terre e rocce da scavo con un contenuto di amianto inferiore ai limiti del D.Lgs. 152/06 alla cella di gestione stessa;
- consentono il transito dei mezzi di cantiere verso i cassoni di conterminazione.

La portata di acqua pari a 2.078 m³/h pari a quella di conferimento del materiale semi-fluido (*slurry*) entro la cella di colmata, defluirà verso la “cella di gestione delle acque” attraverso l’inserimento di 6+1 tubazioni all’interno dell’argine stesso. L’acqua verrà poi prelevata dalle pompe di ricircolo e dalle pompe a servizio dell’impianto di depurazione mantenendo, il più possibile, costante dislivello tra le due vasche con il fine di limitare le variazioni della portata in ingresso.

Per limitare l'apporto di solidi sospesi all'interno della suddetta cella e quindi preservare le pompe di aspirazione, lungo lo sviluppo di ciascuna tubazione, come riportato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, sarà inserita una griglia a maglia fine (1 mm) in un pozzetto ispezionabile dedicato: l'accessibilità a tale pozzetto, dotato di gargami per panconatura dell'immissione, garantisce una agevole manutenzione e/o pulizia delle griglie una volta che queste risultino intasate. L'impiego della tubazione di riserva prevista, garantisce la continua funzionalità del sistema a 6 tubazioni anche in fase di manutenzione, quando cioè una tubazione viene sezionata.

Tali tubazioni, previste in PEAD corrugato DN/ID 400 mm saranno interessate da una portata di circa 122 l/s cadauna ed essendo posate a quota -0.15 m s.m.m. e -1.00 m s.m.m. rispetto al centro tubo, rispettivamente all'imbocco dal deposito e allo sbocco nella cella di gestione della acque, il loro funzionamento risulterà essere sempre sotto battente.

La verifica di funzionamento del sistema si basa sulla valutazione del dislivello idrico che si instaura in occasione del deflusso della portata totale di 2.078 m³/h tra monte e valle di ciascun condotto (122 l/s per condotto): considerando le perdite di carico distribuite e localizzate (imbocchi, apparato filtrante e sbocchi) risulta un $\Delta H = 0,142$ m, compatibile con il lay-out arginale che prevede una quota di sommità pari a +1.00 m s.m.m.

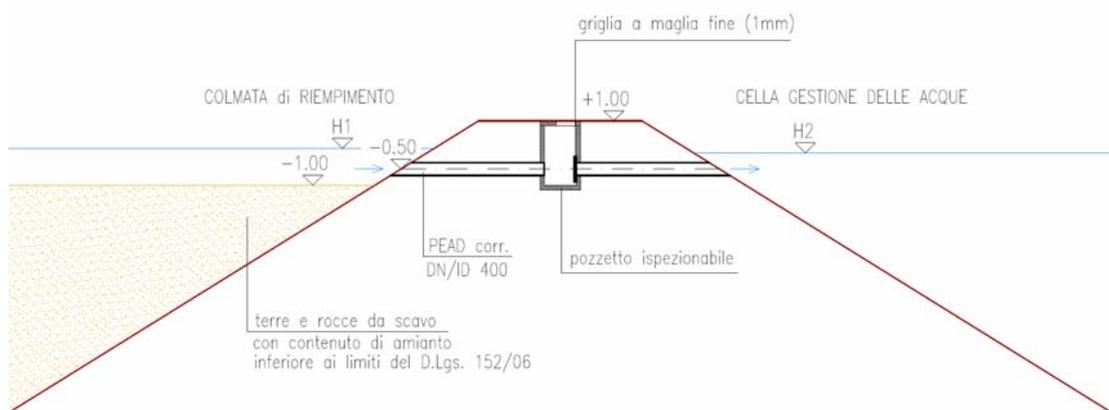


Figura 5.20 - Tubazioni di attraversamento dell'argine verso la "cella gestione delle acque"

5.8 Il sistema di copertura del materiale amiantifero

Una volta ultimato il conferimento del materiale terre e rocce da scavo con un contenuto di amianto inferiore ai limiti del D.Lgs. 152/06 fino al raggiungimento della quota -1.00 m s.m.m. risulta fondamentale procedere con una sua copertura denominata *capping* avente funzione di:

- intercettazione delle acque di risalita attraverso le terre e rocce da scavo con un contenuto di amianto inferiore ai limiti del D.Lgs. 152/06, fenomeno causato dalla consolidazione del materiale;
- impermeabilizzazione del materiale sottostante andando a creare una barriera di separazione tra le terre e rocce da scavo con contenuto di amianto inferiore ai limiti del D.Lgs. 152/06 ed il materiale di riempimento.

Per poter procedere con la posa del pacchetto di drenaggio e separazione in condizioni asciutte, una volta raggiunta la quota di conferimento delle terre e rocce da scavo con un contenuto di amianto inferiore ai limiti del D.Lgs. 152/06, si procede con il versamento di materiale selezionato "pulito" fino al raggiungimento della quota +0.30 m s.m.m.. In corrispondenza di tale quota, inferiore a quella di posa dei dreni di raccolta delle acque meteoriche infiltrate nel terreno (tubazioni micro fessurate DN 200 con quota di scorrimento posto a circa +0.40 m s.m.m.), verranno stesi gli strati di copertura della colmata. In tale maniera, la superficie di posa del capping, essendo costituita da materiale selezionato non contaminato, risulta agibile dai mezzi di cantiere per le lavorazioni di copertura della medesima.

Per garantire entrambe le funzionalità, il *capping* previsto risulta essere un pacchetto di copertura costituito da un primo strato di separazione, un secondo strato di drenaggio ed uno finale impermeabilizzante, come in seguito descritto:

- in corrispondenza della quota di progetto +0.30 m s.m.m, si prevede la posa di un geotessile tessuto in polipropilene del tipo PROPEX 7100; tale geotessile ha la funzione sia di separare il terreno contenente amianto dal sovrastante capping di copertura, che di rinforzo grazie alle sue elevate prestazioni meccaniche. Tra le peculiarità di questo geotessile, in particolare, vi è un migliore comportamento a contatto con materiali di qualsiasi natura chimica, rispetto a polimeri in poliestere, ed inoltre un'alta resistenza a trazione (105x105 kN/m) con allungamenti a rottura massimi dell'8,8%. Il geotessile dovrà avere una permeabilità ortogonale al piano di circa 13 mm/s, parametro questo da tenere in considerazione relativamente ai flussi idrici verticali che si verranno a creare per il costipamento dei materiali stoccati;
- sopra al geotessile tessuto precedentemente descritto, verrà posato il geocomposito con funzione di dreno del tipo INTERDRAIN GMG 612. Tale geocomposito dovrà essere posato con adeguate pendenze (1%) verso il perimetro dove si prevede la posa dei tubi

microfessurati drenanti. Quest'ultimi dovranno essere rivestiti con del geotessile non tessuto che eviti l'intasamento;

- geomembrana in HDPE tipo GSE HD, con spessore di 2 mm, che costituisce la parte impermeabilizzante del "capping". Tale guaina dovrà essere posta al di sopra del geocomposito drenante precedentemente descritto e verrà accoppiato ad un geotessile non tessuto in polipropilene attraverso punti di saldatura con riporto di materiale fuso.
- geotessile non tessuto finale (tipo GEODREN PPST 500) che dovrà essere posato sopra alla guaina impermeabile (eventualmente accoppiato tramite punti di saldatura) al fine di proteggere la stessa da eventuali rotture o lacerazioni per punzonamento data la presenza di materiali granulari di riempimento. E' necessaria una termosaldatura puntuale del non tessuto alla membrana in HPDE al fine di facilitare l'affondamento del pacchetto impermeabile senza che ciò impedisca però lo scorrimento relativo tra i due elementi in condizione di esercizio.

Attraverso la realizzazione di un sistema di copertura (capping) in un unico strato e ad una quota che consente una posa in condizioni asciutte, si possono evidenziare diversi vantaggi tra cui:

- utilizzo di un unico strato di geotessile non tessuto come protezione della geomembrana, la quale può essere stesa direttamente al di sopra del geocomposito drenante;
- rapidità di posa, in quanto i materiali vengono assemblati assieme e pertanto la posa avviene in un'unica volta;
- creazione di un'area agibile con il procedere della posa del pacchetto di capping dove può essere steso il materiale di riempimento;
- non risulta necessario effettuare lo zavorramento dei singoli geotessili;
- si eliminano problemi connessi con le sovrapposizioni dei teli in quanto il capping previsto risulta essere un unico corpo rigido che viene calato dall'alto.
- Particolare attenzione è stata rivolta all'interazione tra il capping stesso ed il sistema di drenaggio presente a servizio della colmata: essendo infatti le tubazioni poste ad una quota inferiore a quella di posa del pacchetto di drenaggio ed impermeabilizzazione (- 0.40 m s.m.m. ca.), per evitare che possano presentarsi possibili infiltrazioni di fibre di amianto all'interno della rete di drenaggio stessa e quindi con possibilità di scarico a mare attraverso gli innesti in corrispondenza dei pozzetti, la posa del capping in corrispondenza

delle dorsali di collettamento, dovrà avvolgere l'intera dorsale (pozzetto e tubazione) per poi essere giuntata con i teli vicini (vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Per consentire poi l'innesto della stessa tubazione nel cassone di conterminazione, dovendo attraversare il risvolto del capping stesso posto lungo il paramento interno del cassone, si prevede l'impiego di pezzi speciali in PEAD dotati di tronchetti di innesto per le tubazioni in PEAD corrugato collettrici: lo strato di impermeabilizzazione sarà pertanto saldato su tale tronchetto garantendo continuità al capping stesso (vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

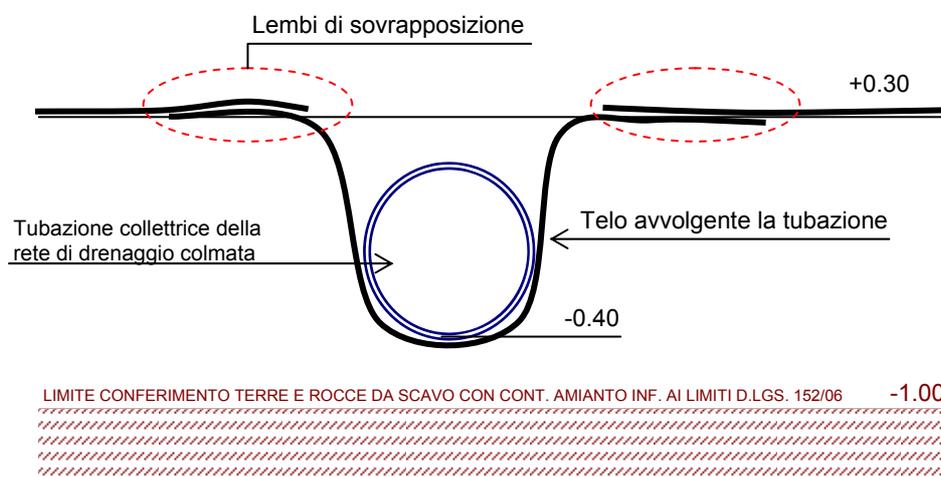


Figura 5.21 - Schema posa capping in corrispondenza delle tubazioni collettrici interrate

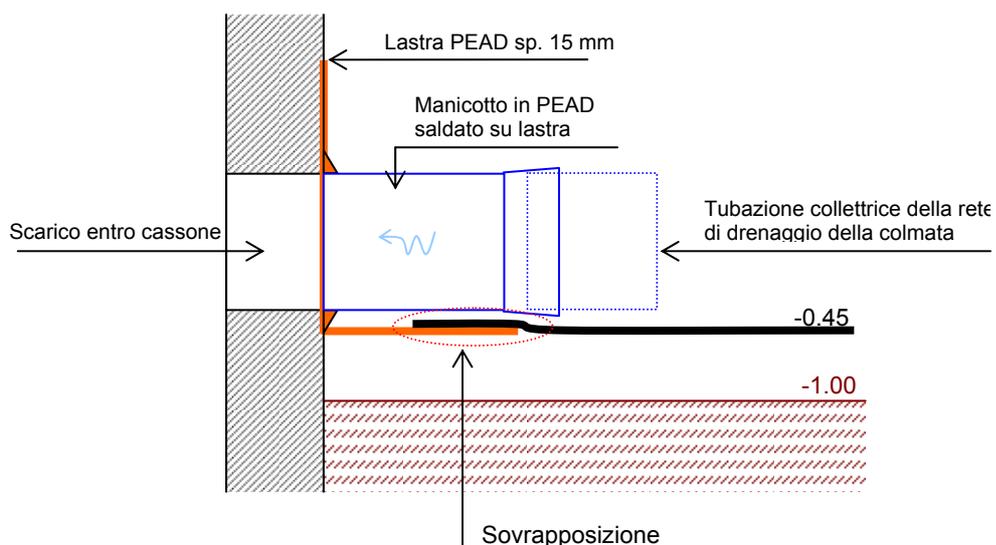


Figura 5.22 - Particolare attraversamento capping in corrispondenza dell'innesto su cassone perimetrale

5.9 La sistemazione superficiale e la captazione delle acque meteoriche

Con la realizzazione della colmata di progetto si va a costituire un corpo emerso di superficie complessiva superiore a 58,6 ha per il quale dovrà essere previsto un adeguato sistema di captazione e drenaggio delle acque meteoriche in relazione alla sua sistemazione superficiale finale.

La superficie della colmata di progetto presenterà una sistemazione superficiale finale prevalentemente "a verde" con l'inserimento di strade di servizio interne, poste in una posizione intermedia della colmata stessa (a 150 m dall'asse pista di decollo ed atterraggio, come richiesto da Regolamento ENAC) ed in corrispondenza dei cassoni di conterminazione. Tale sistemazione, come per la strada "intermedia", risulta conforme con quanto previsto dal Regolamento ENAC: i primi 40 m in accosto alla struttura aeroportuale stessa ricadranno infatti all'interno dell'area denominata *runway strip* e quindi dovranno presentare determinate caratteristiche quali la completa assenza di elementi sporgenti dal piano campagna (+ 1.75 m s.m.m.). In aggiunta a quanto descritto, il presente progetto di sistemazione superficiale prevede la realizzazione di un ulteriore abbancamento di terre e rocce da scavo senza contenuto di amianto sulla superficie del deposito necessario a stoccare circa 640.000 m³. Per la realizzazione di tale accumulo verranno garantite le pendenze e quindi le elevazioni imposte dal regolamento aeroportuale ENAC per cui, a partire dal limite della *runway strip*, l'elevazione di eventuali ostacoli deve essere inferiore alla superficie di transizione (pendenza del 14.3% circa), ottenendo una quota massima pari a circa +4.25 m s.m.m. (vedi).

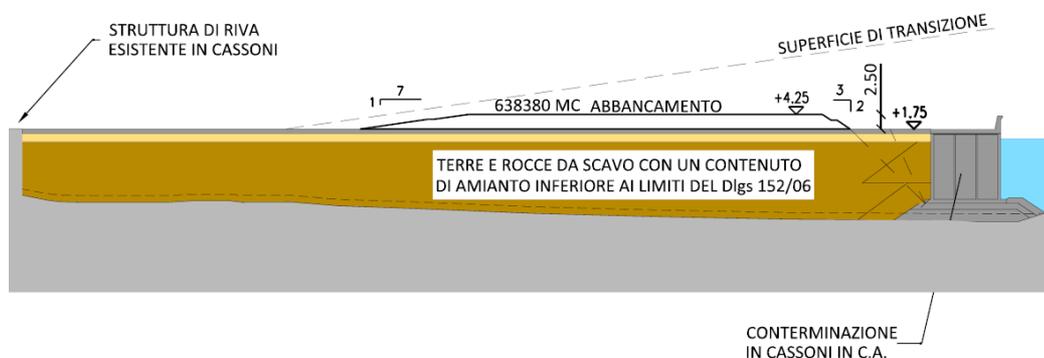


Figura 5.23 - Sezione trasversale del deposito a mare con indicazione della superficie di transizione aeroportuale e dell'abbancamento di materiale di tipo B

Tutte le superfici, sia esse aventi destinazione "a verde" che "viabilità interna", avranno pendenze trasversali tali da garantire un deflusso delle acque meteoriche verso il sistema di captazione superficiale, in seguito illustrato. Nel caso dell'abbancamento superficiale oltre alla pendenza di 1:7 della scarpata prospiciente l'aeroporto, conforme a quella della superficie di transizione, le altre scarpate presenteranno pendenza pari a 2:3.

L'assegnazione delle dimensioni alle opere che costituiscono un sistema di drenaggio, richiede la conoscenza delle portate che affluiscono alla rete dalle superfici scolanti: per quanto riguarda la rete di raccolta delle acque meteoriche, la determinazione delle portate raccolte dal sistema avviene a partire dalla conoscenza delle precipitazioni considerando per il presente caso un tempo di ritorno di dimensionamento pari a 50 anni.

La stima delle portate di massima piena che cimentano la rete di raccolta delle acque meteoriche passa necessariamente attraverso l'analisi statistica delle piogge intense nell'area di interesse. Si è per questo motivo svolto un accurato approfondimento relativo ai dati pluviografici disponibili relativi all'ambito dell'area di Genova. Per la zona oggetto del presente intervento, si sono presi in considerazione i dati raccolti presso la stazione pluviografica di Genova "Università", relativi al bacino compreso "tra Polcevera e Bisagno" a partire dal 1970 fino al 1988 e riportati all'interno degli annali - sez. B "Pluviometria".

L'acqua meteorica viene raccolta a livello superficiale dai canali grigliati posti lungo la strada centrale ed il bordo interno del cassone di conterminazione, a livello sub-superficiale dai dreni micro fessurati e dai fossi di guardia a sezione trapezia, lungo i bordi dell'accumulo. L'acqua, confluirà quindi all'interno dei collettori interrati in corrispondenza dei relativi pozzetti: le tubazioni, poste trasversalmente lo sviluppo della colmata giungeranno interrate fino ai cassoni di conterminazione e per poter effettuare lo scarico nel Canale di Calma residuo, all'interno della struttura dei cassoni stessi verranno realizzate aperture di sbocco.

Essendo lo scarico posto al di sotto della quota del medio mare, per evitare fenomeni di reflusso all'interno del sistema di condotte è prevista, per ogni scarico a mare della rete di drenaggio, l'installazione di valvole antireflusso a "becco d'anatra" necessitanti di limitati rialzi a monte per la loro apertura. Tali apprestamenti saranno inseriti entro pozzetti che ne garantiscono l'ispezione e l'eventuale manutenzione, posti a monte degli sbocchi delle condotte entro i cassoni.

La definizione del numero e delle dimensioni dei collettori interrati sono state stabilite affinché il numero di scarichi, ovvero di cassoni dotati di aperture, fosse il minore possibile, stabilendo come dimensione massima delle tubazioni di scarico un diametro esterno pari a 700 mm.

L'intera superficie è stata quindi suddivisa in sotto-bacini aventi ugual dimensione (circa 2.38 ha) e quindi ugual sistema di raccolta e collettamento delle acque di dilavamento.

La portata cinquantennale derivante da ciascun sotto-bacino risulta pari a 0,439 m³/s; tale valore è stato impiegato per il dimensionamento delle condotte di collegamento e scarico a mare interrate, imponendo che lo scarico avvenga unicamente con relativo sovrizzo del tirante a monte. Caratteristica peculiare della rete di raccolta delle acque meteoriche della colmata risulta dettata dal fatto che tale colmata debba essere un elemento completamente impermeabile verso l'esterno in relazione al contenuto presente. Sulla base di questo, anche le acque di infiltrazione devono quindi essere captate per limitare l'imbibimento superficiale e quindi il ristagno dell'acqua. Per consentire la captazione di tali acque di infiltrazione si prevede, per ogni sotto-bacino, l'inserimento di dreni sub-superficiali (quota di fondo collettore posta a +0.40 m s.m.m.) costituite da tubazioni in PEAD micro-fessurate DN200, poste ortogonalmente al collettore interrato e scaricanti entro pozzetti. Le stesse tubazioni verranno posate anche in corrispondenza dell'abbancamento, sempre ad una profondità di circa 1.25 m dalla superficie. Nello specifico caso dei dreni posti in corrispondenza dell'abbancamento, questi andranno a scaricare in una tubazione PEAD DN/ID 600 posta in verticale e facente funzione di pozzetto: la tubazione, mezzo di un pezzo speciale sempre in PEAD (manicotto a "T") sarà infatti collegata con il collettore principale posto a quota +0.40 m s.m.m.

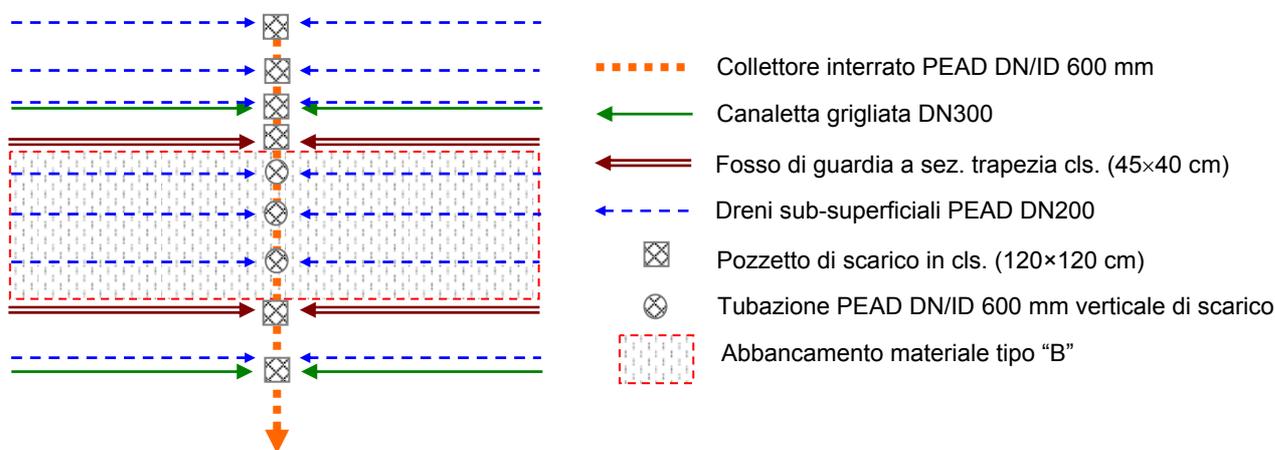


Figura 5.24 - Schema sistema raccolta e collettamento acque meteoriche

Il sistema di drenaggio provvisorio si basa invece sull'impiego di precipitazioni caratterizzate da un tempo di ritorno pari a $T_R = 5$ anni; tale scelta risulta coerente con i tempi di lavoro previsti per l'ultimazione della colmata stessa.

Per tale sistema si prevede l'impiego di canali in calcestruzzo posti lungo le future linee di posa delle canalette grigliate e fossi di guardia, scaricanti l'acqua raccolta all'interno della tubazione interrata, posata nelle prime fasi di riempimento finale della colmata stessa attraverso i pozzetti.

5.10 Bilancio dei materiali impiegati

Nella Tabella 5-1 vengono riportate le volumetrie di smarino e di materiale da cava necessarie per la costruzione della colmata nel Canale di Calma.

		Materiale non contenente amianto	Materiale con possibile contenuto di amianto	Materiale da Cava	Totale Disponibile
		(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
O.1	Scanno Imbasamento	275.582,4	0,0	72.364,0	347.946,4
O.2	Mantellata massi di prima categoria	0,0	0,0	53.913,8	53.913,8
O.3	Sabbia	0,0	0,0	8.929,0	8.929,0
O.4	Cassoni Cellulari - Riempimento	220.094,7	0,0	51.154,5	271.249,3
O.5	Argine Canale di Gronda	187.675,7	0,0	0,0	187.675,7
O.6	Argine Canale di Gronda - Compenetrazione	41.276,0	0,0	0,0	41.276,0
O.7	Argine Canale di Gronda - Cedimento	16.090,4	0,0	0,0	16.090,4
O.8	Argine 1	41.990,0	0,0	0,0	41.990,0
O.9	Argine 1 - Compenetrazione	5.472,0	0,0	0,0	5.472,0
O.10	Argine 1 - Cedimento	1.914,0	0,0	0,0	1.914,0
O.11	Argine 2	0,0	0,0	41.460,0	41.460,0
O.12	Argine 2 - Compenetrazione	0,	0,0	5.472,0	5.472,0
O.13	Argine 2 - Cedimento	0,0	0,0	1.912,8	1.912,8
O.14	Argine 3	36.734,0	0,0	0,0	36.734,0
O.15	Argine 3 - Compenetrazione	5.684,0	0,0	0,0	5.684,0
O.16	Argine 3 - Cedimento	1.976,4	0,0	0,0	1.976,4
O.17	Argine 4	36.761,0	0,0	0,0	36.761,0
O.18	Argine 4 - Compenetrazione	5.703,0	0,0	0,0	5.703,0
O.19	Argine 4 - Cedimento	1.982,4	0,0	0,0	1.982,4

		Materiale non contenente amianto	Materiale con possibile contenuto di amianto	Materiale da Cava	Totale Disponibile
		(m ³)			
O.20	Scanno Scatolare Rio Secco	7.492,0	0,0	0,0	7.492,0
O.21	Scanno Scatolare Rio Secco - Compenetrazione	2.091,0	0,0	0,0	2.091,0
O.22	Scanno Scatolare Rio Secco - Cedimento	1.057,2	0,0	0,0	1.057,2
O.23	Piarda - Materiale lasciato in opera	36.492,0	0,0	0,0	36.492,0
O.24	Piarda - Compenetrazione	75.076,0	0,0	0,0	75.076,0
O.25	Piarda - Cedimento	44.776,8	0,0	0,0	44.776,8
O.26	Riempimento Vasca W1 e W2	70.904,8	0,0	0,0	70.904,8
O.27	Capping	2.009.294,0	0,0	0,0	2.009.294,0
O.28	Vasche 2 – 3	0,0	4.344.822,2	0,0	4.344.822,2
O.29	Vasca 2 - Compenetrazione	0,0	194.862,0	0,0	194.862,0
O.30	Vasca 2 - Cedimento	0,0	122.560,8	0,0	122.560,8
O.31	Vasca 3 - Compenetrazione	0,0	194.862,0	0,0	194.862,0
O.32	Vasca 3 - Cedimento	0,0	130.074,0	0,0	130.074,0
O.33	Vasca 1	0,0	582.721,1	0,0	582.721,1
O.34	Vasca 1 - Cedimento	0,0	46.546,8	0,0	46.546,8
O=O1÷O3 4	Totale Volume Opera	3.126.119,7	5.616.448,9	235.205,1	8.977.773,7

Tabella 5-1 - Volumetria di materiale di smarino necessaria per la costruzione della colmata

Dal raffronto tra le volumetrie disponibili di materiale di smarino e quelle necessarie per la costruzione della colmata deriva il seguente bilancio:

		Materiale non contenente amianto	Materiale con contenuto di amianto inferiore ai limiti del D.Lgs. 152/06
		(m ³)	(m ³)
N	DISPONIBILITA' RESIDUA	3.029.061,0	5.610.750,9
O	VOLUMI DELL'OPERA A MARE	3,126,119.7	5,616,448.9
P=N-O	DISPONIBILITA' RESIDUA	-97.057,7	-5698.0

*Tabella 5-2 - Bilancio volume materiale terre e rocce da scavo disponibili e volumi di riutilizzo disponibili
nell'Opera a Mare*

Ne deriva che la costruzione della colmata nel Canale di Calma comporta il riutilizzo di tutta la volumetria di materiale di smarino disponibile, garantendo una capienza residua di volume pari a 102.755,6 m³, che possono essere ulteriormente incrementati attraverso l'ottimizzazione nella gestione delle volumetrie attualmente realizzate tramite l'uso di materiali provenienti da cava..

6 VERIFICHE IDRAULICHE

La propagazione del moto ondoso all'interno del Canale di Calma che separa l'Aeroporto di Genova dalla diga foranea ad esso antistante si è resa necessaria al fine di determinare le condizioni di moto ondoso in corrispondenza delle opere di progetto e per valutare le condizioni di navigazione all'interno del Canale di Calma.

Considerato che si verifica un fenomeno di riflessione delle onde significativo sulla diga di Voltri che interessa il Canale di Calma, la propagazione del moto ondoso in corrispondenza delle opere di progetto è stata eseguita tramite il modello matematico DIFFRAC, messo a punto dal Laboratorio idraulico olandese di Delft, che permette di simulare sia i fenomeni di diffrazione che di riflessione dell'onda. Nelle simulazioni effettuate con il modello Diffrac sono state considerate le seguenti configurazioni Layout 1: stato di fatto - Canale di Calma largo 240 m (Figura 6.1) e Layout 2: configurazione di progetto - Canale di Calma largo 75 m (Figura 6.2).

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

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

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

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

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

All'interno del canale di calma l'agitazione ondosa si presenta maggiormente ridotta nel caso della configurazione di progetto rispetto a quella dello stato di fatto, per effetto della parziale

chiusura delle imboccature del canale dovuta alla presenza del nuovo deposito a mare ed inoltre per effetto della riduzione della riflessione dell'onda indotta dalla nuova conterminazione. I cassoni cellulari che delimitano la colmata, infatti, sono dotati nella parte alta di una cella antiriflettente all'interno della quale è collocato del pietrame con la funzione di assorbire l'energia del moto ondoso: tale accorgimento consente di attribuire all'opera un coefficiente di riflessione variabile tra 0.4 e 0.5, in relazione al tempo di ritorno considerato nelle diverse analisi eseguite.

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

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

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

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

Nella Figura 6.3 e nella Figura 6.4, sono riportati a titolo esemplificativo i risultati delle simulazioni per un'onda alla diga foranea esistente proveniente da 163° N con riferimento ad un tempo di ritorno di 200 anni.

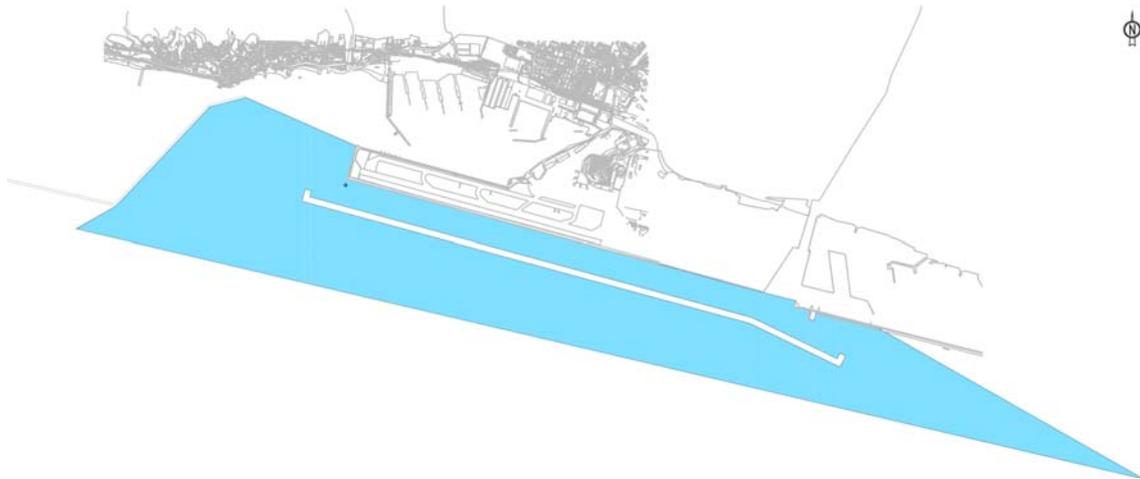


Figura 6.1 - Layout 1: Stato di fatto

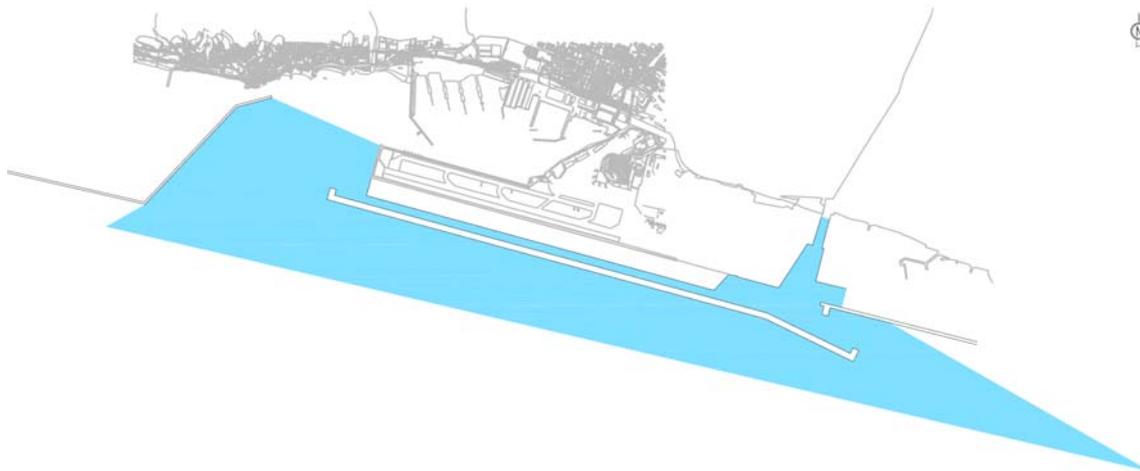


Figura 6.2 - Layout 2: Configurazione di progetto

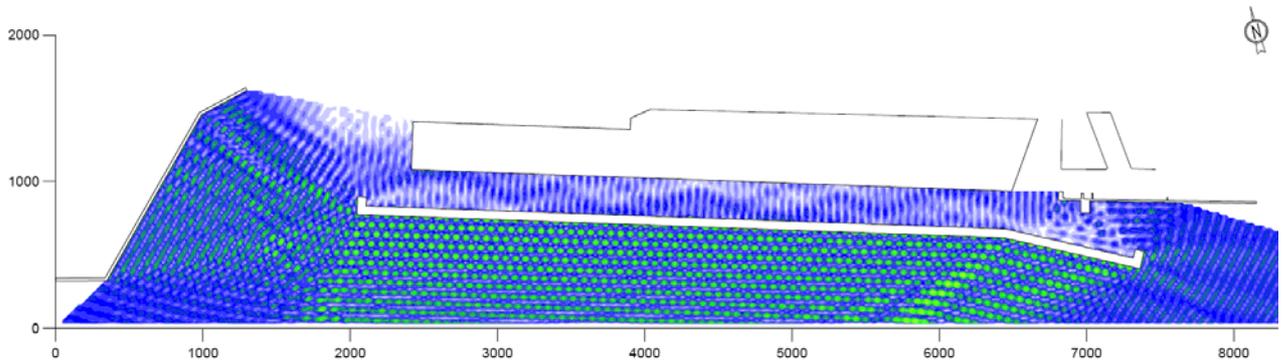


Figura 6.3 - Propagazione dell'onda all'interno del Canale di Calma - Layout 1 (stato di fatto)- Onda incidente per un $Tr=200$ anni: $H_s=4,7$ m - $T_p=10,1$ s - Dir 163° N

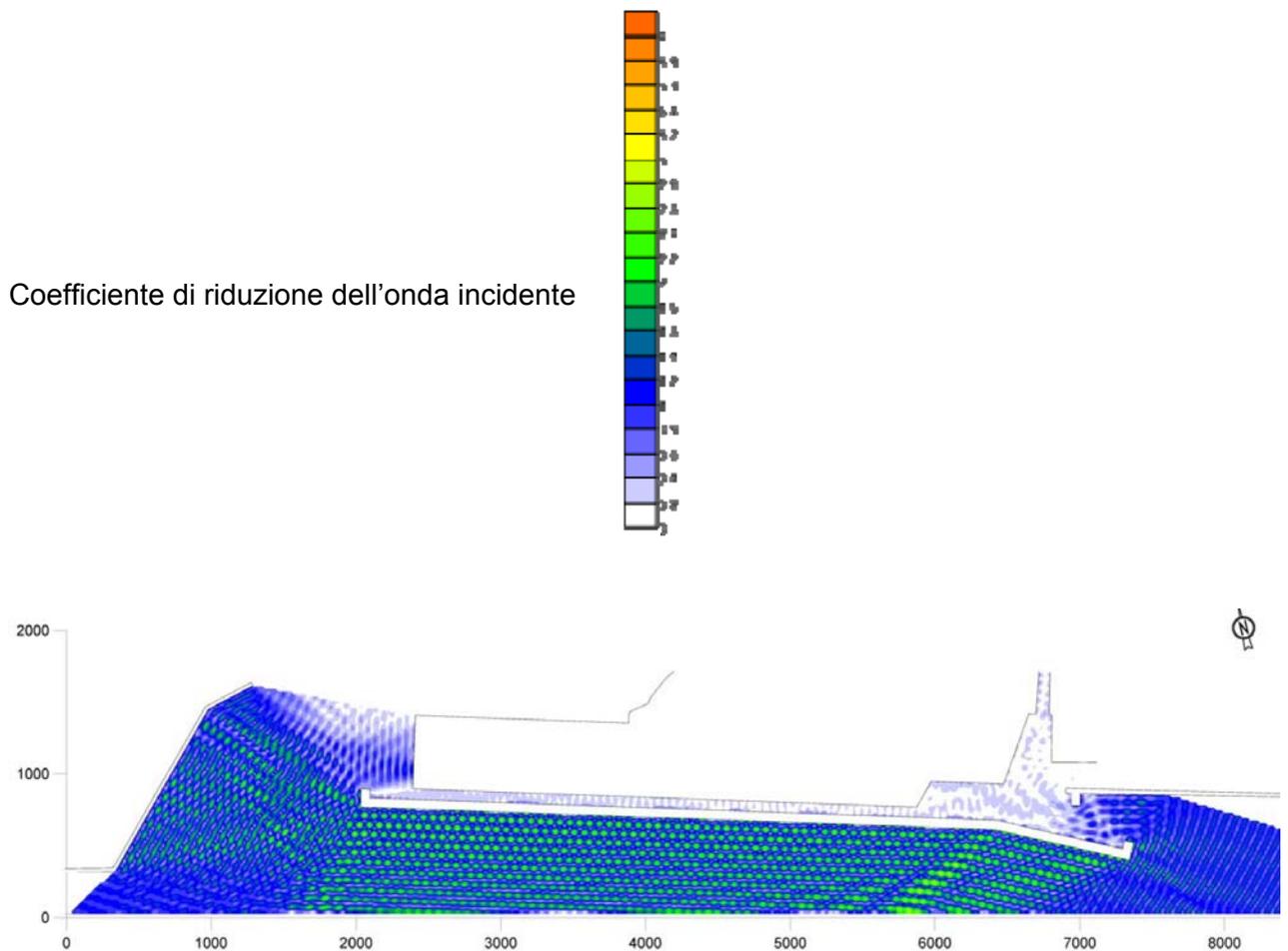


Figura 6.4 - Propagazione dell'onda all'interno del Canale di Calma - Layout 2 (configurazione di progetto) - Onda incidente per un $Tr=200$ anni: $H_s=4,7$ m - $T_p=10,1$ s - Dir 163° N

Nella Tabella 6-1 vengono riportati i valori delle altezze d'onda significative desunti dalle simulazioni eseguite con il modello Diffrac, per i vari tempi di ritorno d'interesse progettuale ai fini delle analisi della navigabilità all'interno del nuovo canale, ovvero 5 anni e 20 anni.

Onda incidente			Onda nel canale
<i>Tr</i>	<i>dir</i>	<i>Hs</i>	<i>Hs</i>
<i>anni</i>	$^{\circ}N$	<i>m</i>	<i>m</i>
5	137	2.3	0.7
	158	3.2	0.8
	182	3.7	0.2
	204	5.1	1.0
20	141	2.9	0.9
	160	3.8	1.0
	182	4.4	0.3
	203	5.7	1.3

Tabella 6-1 - Il moto ondoso nel nuovo canale di larghezza 75 m – Tr 5 e 20 anni

Nella Tabella 6-2 sono invece riportati i valori delle altezze d'onda significative per i vari tempi di ritorno d'interesse progettuale ai fini delle verifiche della conterminazione della nuova colmata. I risultati sono riferiti ai diversi tratti della nuova conterminazione: il lato ovest, il lato sud (lungo lo sviluppo longitudinale del canale), il lato est (in prossimità della banchina dell'ILVA).

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

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

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

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

Tabella 6-2 - Le onde di progetto in corrispondenza delle nuove opere

6.1 Studio della tracimazione dell'onda dalla diga foranea esistente nel canale di calma

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

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

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

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

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

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

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

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

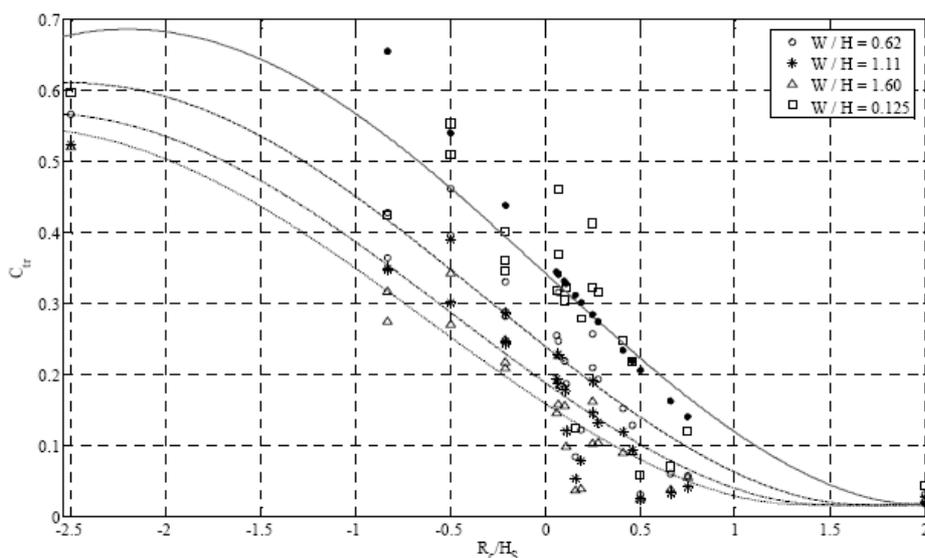


Figura 6.5- Valutazione del coefficiente di trasmissione in funzione delle caratteristiche geometriche del cassone e dell'altezza d'onda

Nel nostro caso si è considerata un'altezza complessiva della diga foranea (H) pari a 17 m e una larghezza di 13.5 m, che determinano un rapporto di 0.79. Con riferimento al diagramma di Figura 6.5 e interpolando per tenere conto del rapporto W/H pari a 0.79, è stato valutato il coefficiente di trasmissione in relazione ad altezze d'onda caratterizzate da un tempo di ritorno di 5 anni e di 20 anni.

Onda incidente			Onda trasmessa	
Tr	dir	H_s	C_{tr}	H_s
anni	°N	m		m
5	137	2.3	0.01	0.02
	158	3.2	0.05	0.14
	182	3.7	0.06	0.22
	204	5.1	0.09	0.46

Tabella 6-3- Onda trasmessa per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 5 anni

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

Tabella 6-4- Onda trasmessa per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 20 anni

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

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

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

Tabella 6-5- Onda nel canale per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 5 anni

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

Tabella 6-6- Onda nel canale per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 20 anni

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

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

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

Il calcolo delle portate medie di tracimazione della diga foranea, al variare del tempo di ritorno, è stato effettuato utilizzando la relazione proposta nella pubblicazione del TAW (Technical Advisory Commity for water Retaining Structures, Delft, 2002). Il calcolo delle portate medie di tracimazione è stato implementato attraverso il software BREAKWAT ver. 3.2.0, sviluppato da WL | Delft Hydraulics; in Tabella 6-7 si riportano i risultati ottenuti per le onde incidenti sulla diga di protezione con un tempo di ritorno di 20 anni, che è la condizione più gravosa ai fini delle verifiche per la navigazione.

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

Tabella 6-7 - Portate medie di tracimazione per onde con tempo di ritorno 20 anni

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

progetto dagli approdi di competenza (Pegli, Sestri Ponente, Multedo, Voltri) fino alle imboccature del canale.

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

Queste esperienze hanno evidenziato in particolare la variazione del volume di tracimazione mano mano che ci si sposta verso terra (verso il canale nel nostro caso), tenendo conto anche dell'effetto della presenza di condizioni di vento avverse. Nel diagramma di Figura 6.6 è presentata la variazione del volume di tracimazione in funzione del rapporto tra la distanza dal muro paraonde (landward distance x) e la lunghezza d'onda al largo (L_0). In ordinata del diagramma è riportato il volume di tracimazione cumulato (rapportato con il volume totale) mano mano che si procede lungo la distanza x , pertanto dalla lettura del grafico si può notare che in assenza di vento il volume di tracimazione interessa una fascia relativa a $x/L_0=0.17$, pertanto presenta da tale distanza ($x/L_0=0.17$) verso terra il volume di tracimazione diventa nullo.

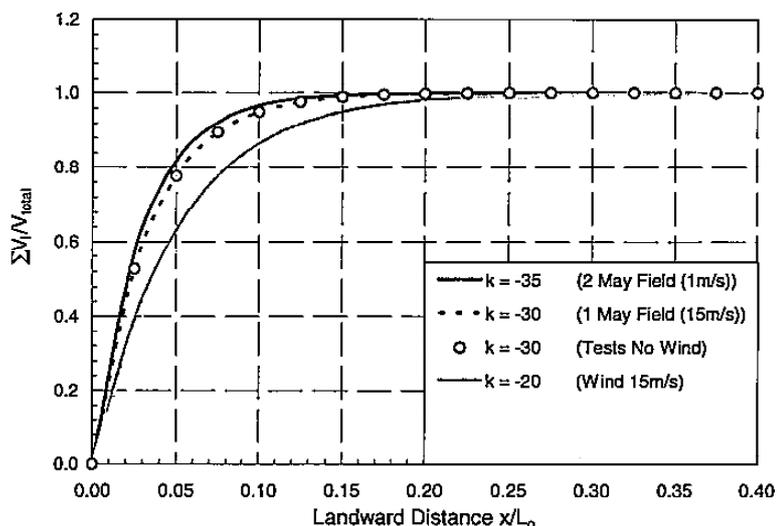


Figura 6.6- Valutazione della variazione del volume di tracimazione in funzione della distanza dal muro di protezione (landward distance x)

Utilizzando il suddetto diagramma è stata valutato il volume di tracimazione (in relazione al volume totale) in corrispondenza del filo lato terra della diga di protezione ($x=13.5$ m), in funzione delle altezze d'onda con tempo di ritorno 20 anni (vedi Tabella 6-8).

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

Tabella 6-8 - Rapporto tra il volume di tracimazione in corrispondenza del filo interno del cassone ($x=13.5$ m) e il volume totale al muro paraonde per onde con tempo di ritorno 20 anni

Dalle suddette valutazioni si può notare che il volume di tracimazione riguarda per buona parte la larghezza della diga di protezione, nel caso peggiore con presenza di vento oltre la larghezza del cassone e pertanto nel canale rimane il 9% del volume totale. Si è poi rifatto lo stesso calcolo facendo riferimento ad una fascia di 5 m (all'interno del canale) oltre la larghezza del cassone, per una distanza complessiva di 18.5 m (vedi Tabella 6-9 seguente).

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

Tabella 6-9 - Rapporto tra il volume di tracimazione in corrispondenza di un limite posto a 5 m dal filo interno del cassone ($x=18.5$ m) e il volume totale al muro paraonde per onde con tempo di ritorno 20 anni

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

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

6.1.3 Conclusioni e raccomandazioni

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

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

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

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

Si ritiene opportuno in via cautelativa prevedere che in una fascia di 5 m di canale aderente al cassone non venga considerata ai fini della navigazione e che pertanto si consideri una larghezza utile del canale ai fini di una navigazione in sicurezza di 70 m. Questa

raccomandazione è stata considerata nell'ambito delle verifiche delle caratteristiche geometriche del canale ai fini di una navigazione in sicurezza.

6.2 Studio degli effetti della nuova opera in termini di moto ondoso nell'area in prossimità della banchina dell'ILVA

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

L'analisi è stata svolta con riferimento alle condizioni ondose significative per l'operatività alla banchina e pertanto considerando eventi ondosi corrispondenti a tempi di ritorno di 1 e 5 anni; le direzioni dell'onda prese in esame sono quelle in grado di determinare una maggior agitazione in prossimità della banchina dell'ILVA, ovvero le direzioni prossime dell'onda alla diga foranea esistente prossime a 140° e 160°N.

Le configurazioni considerate nello studio sono le seguenti:

- Layout 1: stato di fatto - canale di calma largo 240 m;
- Layout 2: canale di calma largo 75 m e configurazione di progetto della colmata sul lato est.

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

Nelle simulazioni effettuate con il modello matematico Diffrac è stata considerata la nuova planimetria di progetto della cassa di colmata, che tiene conto delle osservazioni delle Autorità competenti. In particolare, per definire la configurazione del Lato Est dell'Opera a Mare, è stato considerato l'ingombro planimetrico del bacino di manovra che effettuano "gli spintori" a servizio del naviglio operante sulla banchina "ILVA". Si fa presente, inoltre, che nella configurazione di progetto si è tenuto conto anche degli interventi in atto all'imboccatura di levante del bacino portuale di Sampierdarena, conseguente agli interventi programmati sulla calata Derna, in ottemperanza a quanto richiesto dall'Autorità Portuale di Genova.

Nelle Figura 6.7 ÷ Figura 6.10 si presentano a titolo esemplificativo i risultati delle simulazioni eseguite per la configurazione relativa allo stato di fatto e per la configurazione di progetto,

relativamente al tempo di ritorno di 5 anni. I risultati delle simulazioni sono riportati in termini di coefficiente di riduzione da applicare all'altezza d'onda incidente.

Dai risultati delle simulazioni presentate si evince che la configurazione di progetto determina in corrispondenza della banchina dell'ILVA un'agitazione ondosa non superiore a quella presente nello stato di fatto, per effetto della diminuzione del moto ondoso che penetra nel canale attraverso le due imboccature e della particolare configurazione del lato est della conterminazione, che come detto in precedenza, sarà costituito da cassoni cellulari dotati di una cella antiriflettente.

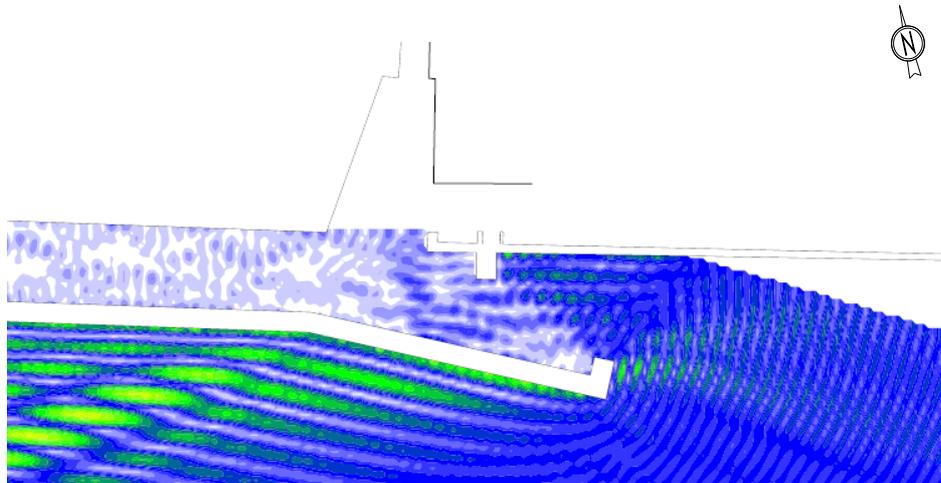


Figura 6.7 - Propagazione dell'onda all'interno del Canale di Calma - stato di fatto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=2.3$ m - $T_p=7.9$ s - Dir 137° N

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

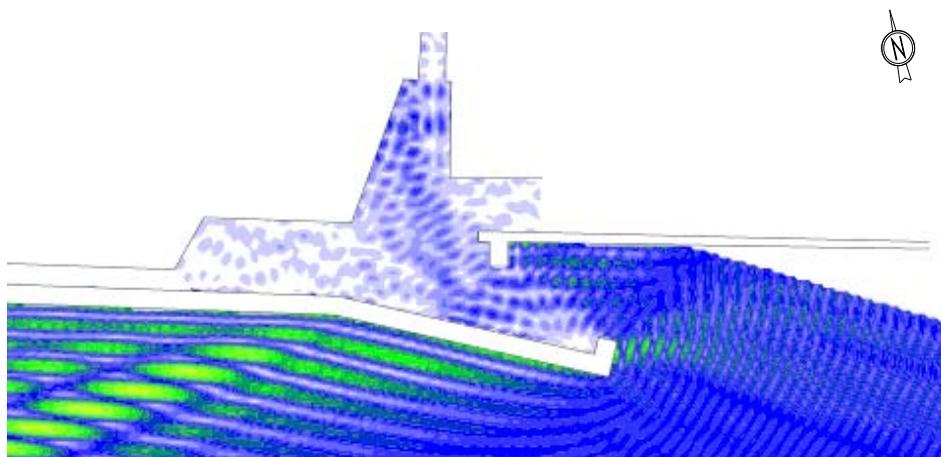
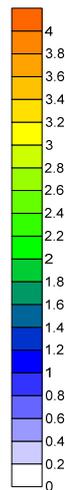


Figura 6.8 - Propagazione dell'onda all'interno del Canale di Calma - soluzione di progetto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=2.3$ m - $T_p=7.9$ s - Dir 137° N

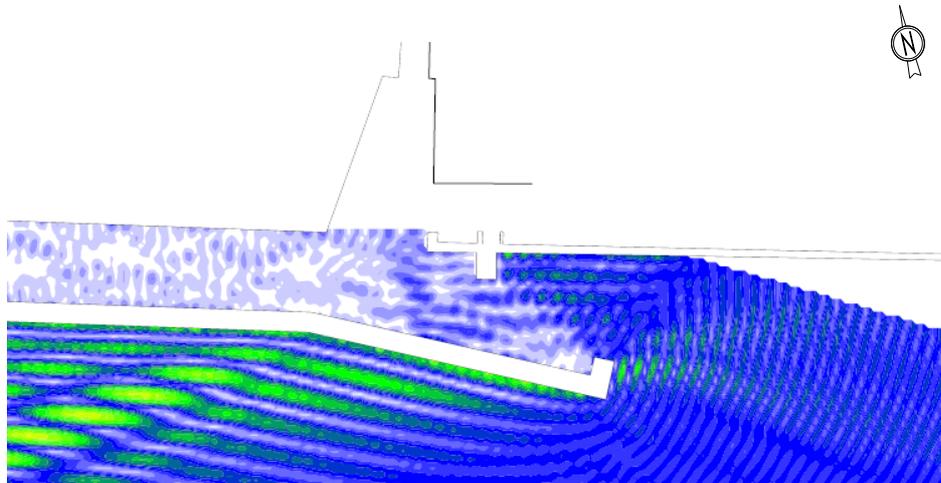


Figura 6.9 - Propagazione dell'onda all'interno del Canale di Calma - stato di fatto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.2$ m - $T_p=8.3$ s - Dir 158° N

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

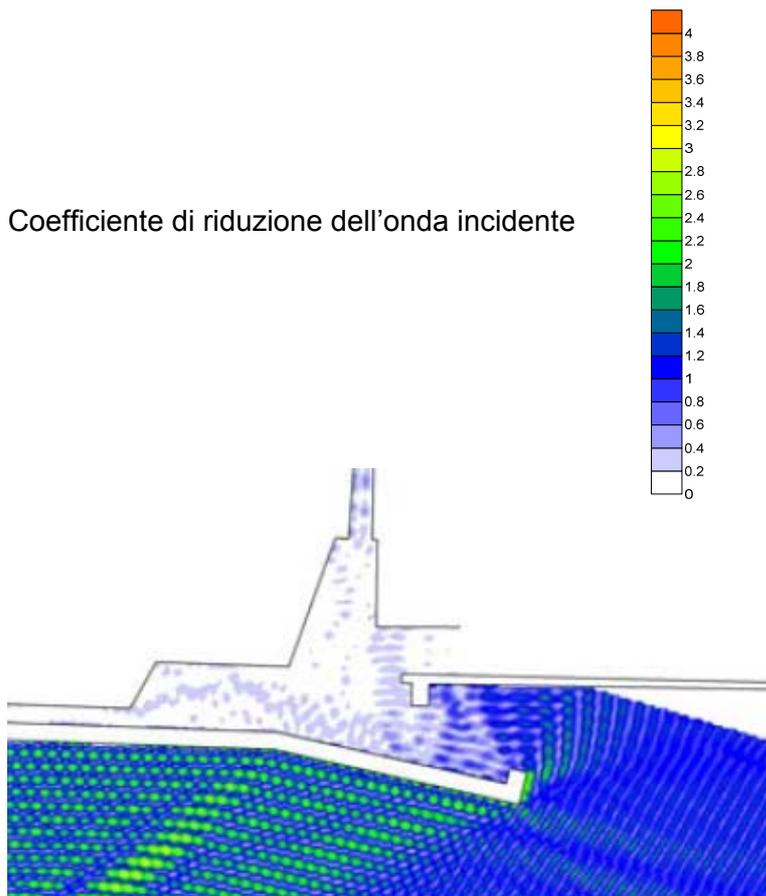


Figura 6.10 - Propagazione dell'onda all'interno del Canale di Calma - soluzione di progetto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.2$ m - $T_p=8.3$ s - Dir 158° N

6.3 Studio degli effetti della nuova opera in termini di moto ondoso sull'operatività dell'area di accesso al bacino di Multedo

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

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

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

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

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

Nelle Figura 6.11 ÷ Figura 6.18, si presentano i risultati delle simulazioni eseguite per la configurazione relativa allo stato di fatto e per la configurazione di progetto, relative al tempo di ritorno di 5 anni (non si riportano quelle per i 20 anni, che presentano un comportamento analogo, per non appesantire la relazione). I risultati delle simulazioni sono riportati in termini di coefficiente di riduzione da applicare all'altezza d'onda incidente.

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

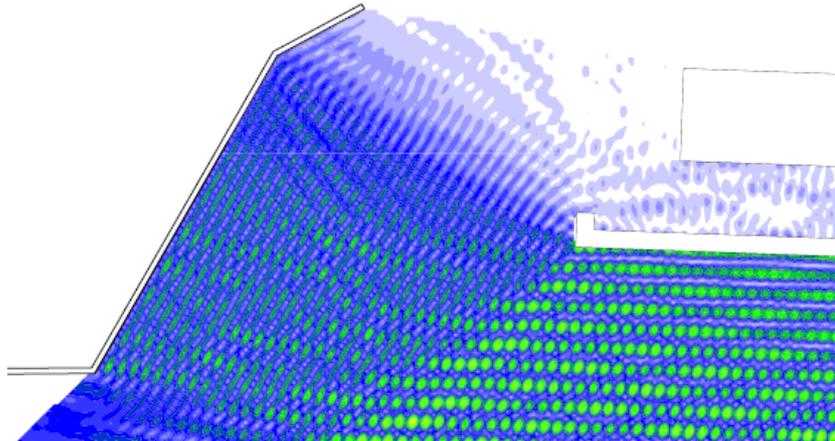


Figura 6.11 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=2.3$ m - $T_p=7.9$ s - Dir 137° N

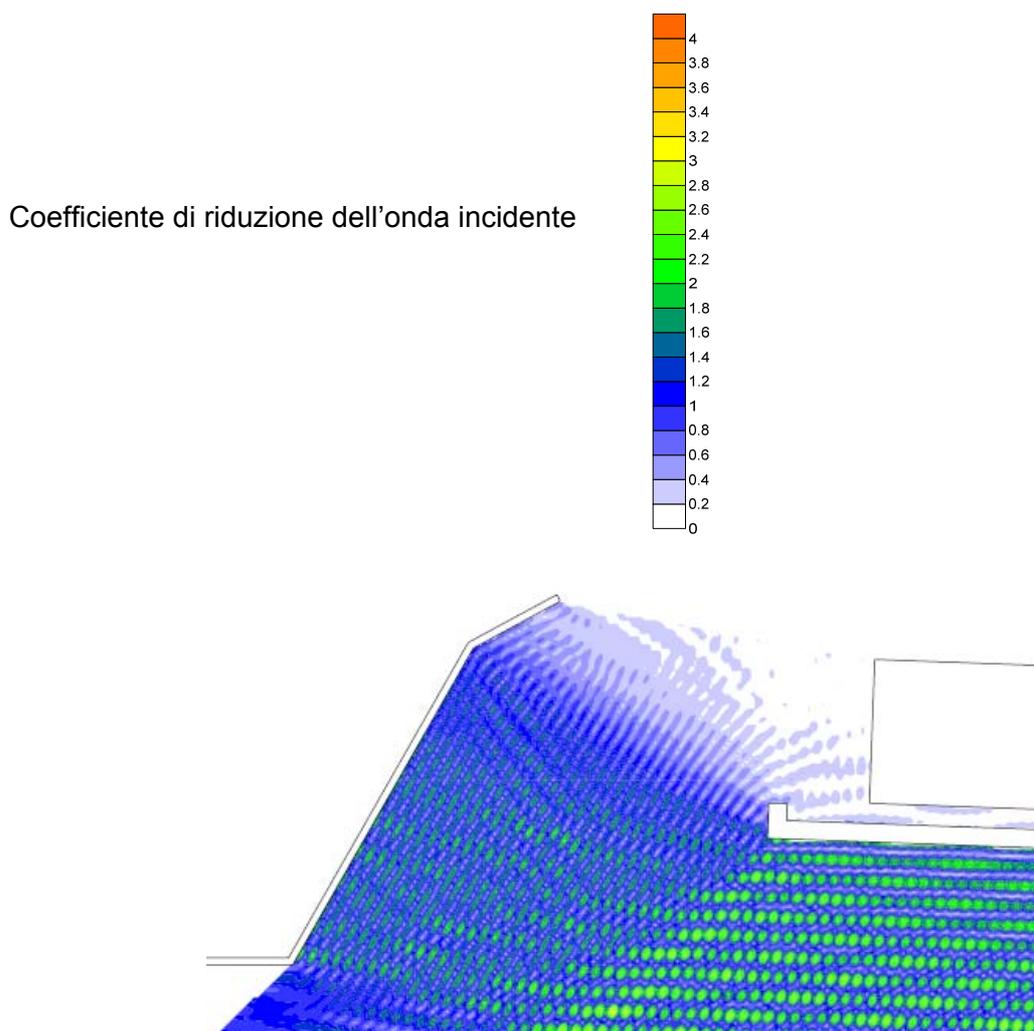


Figura 6.12 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma – soluzione di progetto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=2.3$ m - $T_p=7.9$ s - Dir 137° N

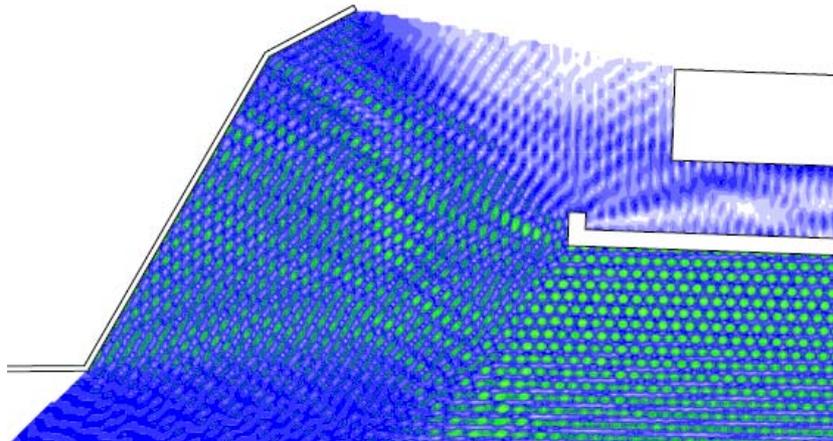


Figura 6.13 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.2$ m - $T_p=8.3$ s - Dir 158° N

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

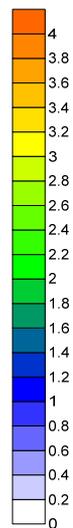


Figura 6.14 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - soluzione di progetto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.2$ m - $T_p=8.3$ s - Dir 158° N

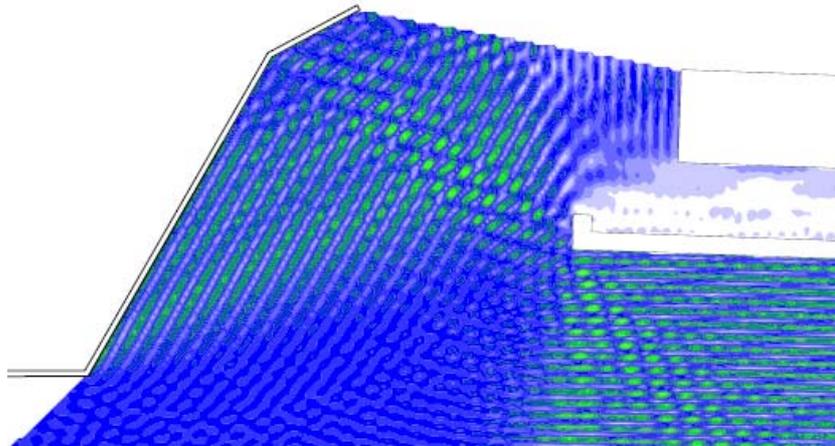


Figura 6.15 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.7$ m - $T_p=8.6$ s - Dir 182° N

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

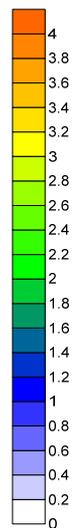


Figura 6.16 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - soluzione di progetto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=3.7$ m - $T_p=8.6$ s - Dir 182° N

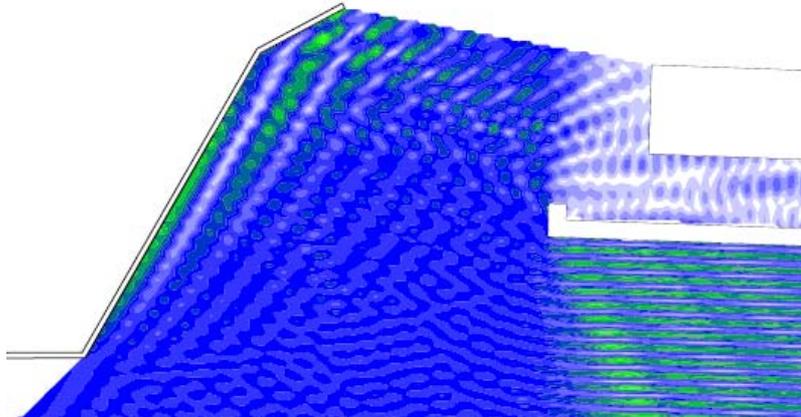


Figura 6.17 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - stato di fatto - Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=5.1$ m - $T_p=10.1$ s - Dir 204° N

Coefficiente di riduzione dell'onda incidente

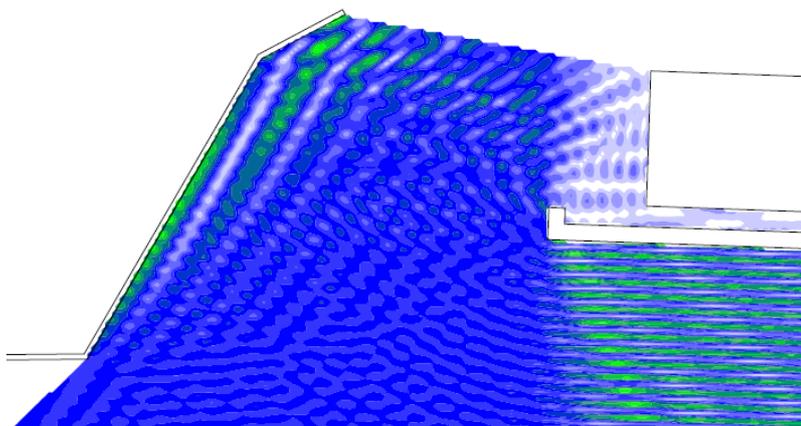
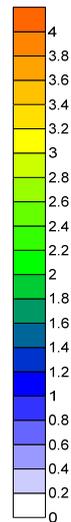


Figura 6.18 - Propagazione dell'onda all'interno del canale di calma - soluzione di progetto- Onda incidente per un $T_r=5$ anni: $H_s=5.1$ m - $T_p=10.1$ s - Dir 204° N

6.4 Analisi della navigabilità nel nuovo Canale di Calma e dei fenomeni idraulici generati dal passaggio dei natanti

Il nuovo deposito di materiali a mare comporta l'ampliamento dell'area aeroportuale da una parte e dall'altra la riduzione della larghezza del Canale di Calma, per cui è stata verificata la compatibilità con le funzioni antropiche esistenti. In tal senso è stato assunto alla base del dimensionamento del nuovo Canale di Calma il criterio fondamentale di mantenere l'attività di navigazione nel canale stesso secondo le modalità oggi esistenti.

Il restringimento del canale di navigazione determina anche una serie di effetti che vanno attentamente studiati al fine di procedere a una corretta valutazione della stabilità delle opere di conterminazione del nuovo deposito a mare.

6.4.1 L'attività di navigazione esistente nel Canale di Calma

I traghetti, i catamarani e le motonavi adibite al trasporto pubblico sono autorizzati a circolare nel canale di calma, collegando Genova Pegli al Porto Antico. Tra i natanti autorizzati al transito nel canale di calma vi sono anche i rimorchiatori del Corpo dei Piloti, dei Rimorchiatori Riuniti e del Gruppo Antichi Ormeggiatori del Porto di Genova.

Nella relazione meteomarina sono elencate tutte le imbarcazioni autorizzate al transito nel canale di calma e le loro caratteristiche.

In Tabella 6-10 sono riportate le caratteristiche delle navi di progetto per cui sono state effettuate le verifiche di navigabilità del nuovo canale. La motonave per il servizio pubblico Mare Express e i tre rimorchiatori rappresentano, infatti, i natanti con le dimensioni maggiori che transitano oggi nel canale di calma.

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

Flotta	Lunghezza L _{OA} (m)	Larghezza (m)	Pescaggio D (m)
MAREXPRESS	26.70	9.00	1.70
100 SVEZIA	27.50	11.50	6.00
101 INGHILTERRA	27.50	11.50	6.00
102 MESSICO	36.65	13.60	7.00

Tabella 6-10 - Caratteristiche delle navi di progetto che transitano nel canale di navigazione

6.4.2 Verifica della profondità e larghezza del nuovo Canale di Calma

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

Per quanto riguarda la profondità del canale, le linee guida indicano che il rapporto tra la profondità del canale ed il pescaggio delle navi che vi transitano deve essere pari ad almeno 1,10 in acque protette, 1,3 in acque con onde max da 1 m e 1,5 m in acque con onde ancor più alte, con periodi e direzioni di provenienza sfavorevoli. Tali valori tengono conto dello squat e delle eventuali incertezze del dragaggio e del rilievo. Nel nostro caso il nuovo Canale di Calma presenta profondità (pari a circa 13 m) ampiamente superiori alle esigenze.

La larghezza al fondo del canale, nel caso di circolazione a senso unico, viene determinata tramite la seguente relazione:

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

che per un canale a doppio senso di circolazione diventa:

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

in cui: w_{BM} = larghezza minima di manovra, w_i = incremento di larghezza per canali rettilinei determinato da fattori ambientali e condizioni di navigazione; w_{Br} , w_{Bg} = incrementi di larghezza che tengono conto del "bank effect"; w_p = incremento di larghezza per canali a doppio senso di circolazione.

I diversi termini che concorrono alla determinazione della larghezza del canale sono determinati sulla base delle indicazioni riportate dalle linee guida precedentemente citate.

Con riferimento alle imbarcazioni di progetto indicate nel paragrafo precedente, sono stati verificati 5 scenari in relazione a differenti condizioni meteomarine (ordinarie ovvero tempo di ritorno 5 anni e gravose ovvero tempo di ritorno 20 anni) e modalità di navigazione e di circolazione, ai fini di una navigazione in sicurezza:

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

Nella Tabella 6-11 sono sintetizzati i risultati del calcolo in termini di larghezza minima del canale per i suddetti 5 scenari considerati, che tengono conto anche di varie velocità dei natanti.

Si ricorda secondo quanto presentato nel capitolo relativo agli effetti della tracimazione delle onde sulla diga esistente, la raccomandazione di non considerare in via cautelativa ai fini di una navigazione in sicurezza una fascia aderente alla diga foranea di 5 m, pertanto la larghezza del canale utile per la navigazione diventa pari a 70 m.

Sulla base di quanto riportato in Tabella 6-11 si possono dedurre le seguenti conclusioni:

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

necessario un canale di larghezza 67 m per una velocità massima di 8 nodi; per velocità maggiori di 8 nodi non possono essere garantite condizioni di sicurezza in quanto è necessario disporre di un canale di larghezza maggiore di 70 m (vedi scenario 2);

- per il rimorchiatore di progetto (Messico) che transita in condizioni meteomarine gravose e a senso unico di circolazione, sono invece garantite le condizioni di sicurezza per la navigazione nel canale di 70 m fino a velocità di transito massime di 8 nodi (scenario 4);
- per il nave bus e il rimorchiatore (Svezia o Inghilterra) che transitano in condizioni meteomarine ordinarie e ovviamente in doppio senso di circolazione è necessario un canale di larghezza 67 m per una velocità massima di transito di 8 nodi per il rimorchiatore e di 12 nodi per il navebus; in presenza di velocità di transito superiori è necessario disporre di una larghezza del canale superiore ai 70 m (scenario 3).

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

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

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

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

Note:

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

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

Tabella 6-11 - Larghezza del canale minima per i vari scenari considerati

6.4.3 I fenomeni idraulici generati dal passaggio dei natanti

Un natante in navigazione genera all'interno di un canale effetti idrodinamici che riguardano al generazione di un moto ondoso e di correnti. Il fenomeno è in generale piuttosto complesso ed esistono a riguardo una notevole mole di studi che hanno trattato l'argomento con vari approcci: analitico, sperimentale in laboratorio e tramite misure dirette di campo. Gli effetti idrodinamici che si determinano in un canale per effetto del passaggio di un'imbarcazione sono in sintesi i seguenti (vedi Figura 6.19):

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

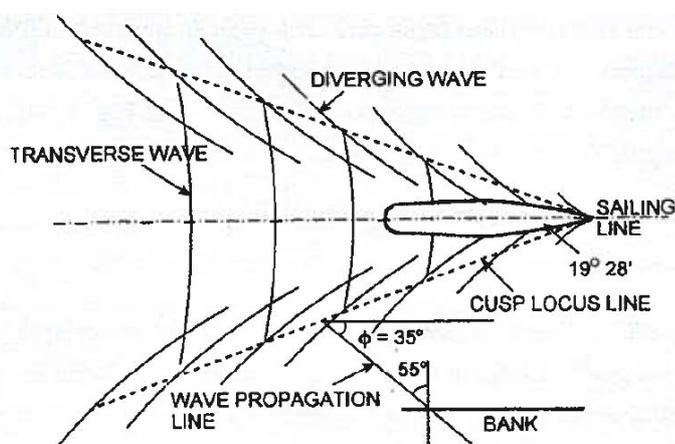


Figura 6.19 - Sistema ondoso generato dal transito di una imbarcazione

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

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

Le valutazioni sono state eseguite in relazione a tutti gli scenari riportati sopra in Tabella 6-11, quindi considerando diverse velocità di transito delle imbarcazioni e la possibilità che alcune di esse transitino contemporaneamente nel canale di navigazione, compatibilmente con le dimensioni di progetto di quest'ultimo.

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

Per quanto riguarda i rimorchiatori Svezia e Inghilterra, considerando la massima velocità di transito compatibile con la larghezza di progetto del canale, ovvero 8 nodi, ed una profondità media del canale pari a 13 m, si sono ottenuti effetti idrodinamici modesti: un abbassamento del piano d'acqua che coincide con l'altezza delle onde generate a poppa pari a 0.26 m, ed un valore della corrente di ritorno pari a 0.34 m/s, che interessa solo lo strato d'acqua superficiale.

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

Questi valori trovano conforto anche dai risultati di analisi di campo condotte nei canali della laguna di Venezia, per vari tipi di imbarcazioni, tra cui anche quelle di caratteristiche analoghe al nostro caso. Sono state in particolare misurate le altezze d'onda divergenti generate da una motonave per trasporto pubblico che transitava a diverse velocità comprese tra 6 nodi e 10 nodi. L'altezza d'onda massima generata evidentemente aumenta con la velocità del natante ed è stata misurata un'altezza d'onda generata di 15 cm per la velocità di 6 nodi e di 43 cm per una velocità di 10 nodi.

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

6.5 Studio di Simulazione di Manovra nel nuovo Canale di Calma

L'attività di simulazione è stata sviluppata presso il CETENA S.p.A, con l'utilizzo di un simulatore in tempo reale denominato "SAND" (Simulatore Distribuito di Addestramento alla Navigazione) che contiene dentro di sé un modello matematico, interamente sviluppato da CETENA.

Lo sviluppo dello studio di simulazione in tempo reale ha permesso di considerare, oltre alle proprietà tecnico-geometriche dei natanti (geometria dello scafo, apparati di propulsione-generazione, appendici) anche: le caratteristiche meteomarine del contesto in cui la simulazione ha luogo (stato di mare, corrente, vento), la morfologia dell'area portuale, gli effetti specifici legati alla posizione del natante (banchina, profondità del fondale), l'interazione tra i natanti stessi e quella tra natanti e l'ambiente portuale esterno.

Lo studio si è posto l'obiettivo di eseguire le simulazioni di manovra che riguardano □ di verificare la navigabilità e le condizioni d'esercizio nel Canale da parte delle due tipologie di unità navali ritenute più gravose tra quelle costituenti il naviglio che attualmente opera nel Canale. Nello specifico si tratta della "Navebus" di AMT SpA ed un Rimorchiatore (del quale sono state considerate due differenti classi).

Nello specifico l'area di simulazione è stata definita schematizzando la geometria dell'intero Canale, orientato per 285°N, da una imboccatura all'altra

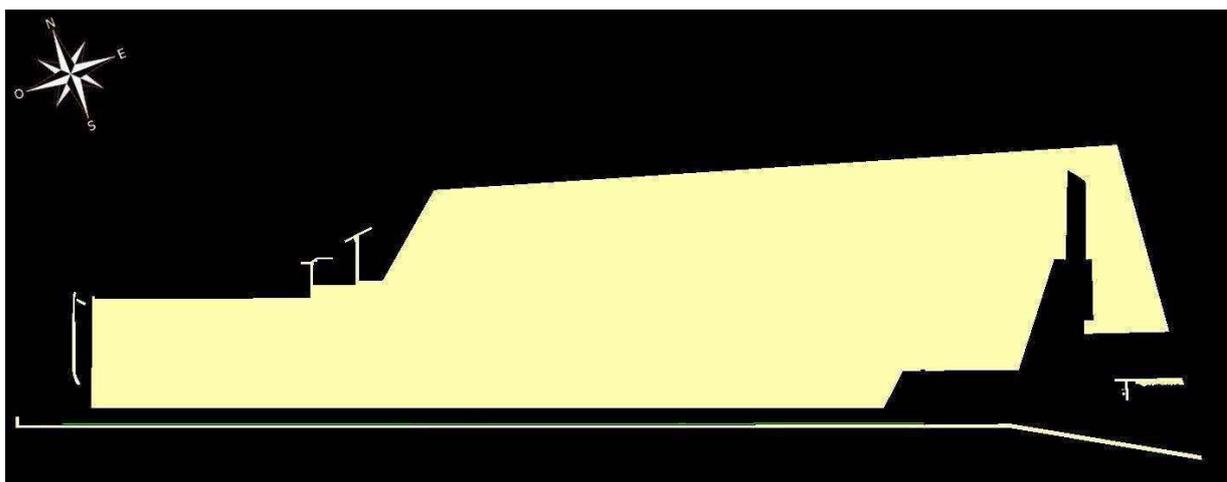


Figura 6.20 - Layout portuale del Canale di Calma schematizzato per le simulazioni

Il fondale del Canale di Calma è stato schematizzato è stato considerato pari a 12 m.

La larghezza a disposizione per le manovre di transito delle unità in simulazione è stata diminuita ulteriormente a 70 m, dei 75 m di progetto, per tenere conto dell'effetto di tracimazione dell'onda, legato a rigore al solo scenario "gravoso" (periodo di ritorno dell'onda uguale a 20 anni), ma considerato, in via più conservativa, per tutte le simulazioni

Il naviglio considerato nelle simulazioni è analogo a quello considerato nell'analisi di navigabilità (Tabella 6 10). Di seguito si riportano le schede grafiche dei singoli mezzi.

<p>Navebus di AMT spa</p>  <p>Catamarano dislocante bielica a propulsione tradizionale</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>L</td> <td>26.70 m</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>9.0 m</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>1.70 m</td> </tr> <tr> <td>V max</td> <td>18 nodi</td> </tr> </tbody> </table>		L	26.70 m	B	9.0 m	T	1.70 m	V max	18 nodi	<p>Rimorchiatore "Svezia"</p>  <p>Tractor tug con 2 Voith Schneider</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>L</td> <td>27.5 m</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>11.5 m</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>6.00 m</td> </tr> <tr> <td>V max</td> <td>13.5 nodi</td> </tr> </tbody> </table>		L	27.5 m	B	11.5 m	T	6.00 m	V max	13.5 nodi	<p>Rimorchiatore "Messico"</p>  <p>Tractor tug con 2 Voith Schneider</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>L</td> <td>36.65 m</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>13.60 m</td> </tr> <tr> <td>T</td> <td>7.00 m</td> </tr> <tr> <td>V max</td> <td>14.2 nodi</td> </tr> </tbody> </table>		L	36.65 m	B	13.60 m	T	7.00 m	V max	14.2 nodi
L	26.70 m																												
B	9.0 m																												
T	1.70 m																												
V max	18 nodi																												
L	27.5 m																												
B	11.5 m																												
T	6.00 m																												
V max	13.5 nodi																												
L	36.65 m																												
B	13.60 m																												
T	7.00 m																												
V max	14.2 nodi																												

Figura 6.21 - Caratteristiche dei mezzi navali impiegati nella simulazione

Le condizioni meteomarine prese in esame sono relative: sia alla calma assoluta, sia ad eventi meteomarini caratterizzati da tempi di ritorno pari rispettivamente a 5 e 10 anni, contestualmente a venti provenienti dai quadranti prevalenti (fino a valori di 44 nodi, SSW) e correnti marine caratteristiche dell'area di studio con direzione est-ovest e ovest-est.

Per i venti si sono considerano le seguenti caratteristiche:

- ai venti da N-NE, una velocità pari a 22.6 m/s (circa 44 nodi) come velocità media per un periodo di ritorno di 5 anni; gli altri valori (es. 20 anni) sarebbero troppo elevati per effettuare realisticamente la navigazione nel canale;

- ai venti da S-SE, una velocità pari a 15.1 m/s (circa 30 nodi) nello scenario “ordinario” con periodo di ritorno di 5 anni, e una velocità di 16.8 m/s (circa 33 nodi) nello scenario “gravoso” con periodo di 20 anni;
- ai venti da S-SW, una velocità pari a 18.3 m/s (circa 35 nodi) nello scenario “ordinario” con periodo di ritorno di 5 anni, e una velocità di 22.7 m/s (circa 44 nodi) nello scenario “gravoso” con periodo di 20 anni.

Per le velocità della corrente si sono identificati, rispettivamente per le condizioni di vento da Libeccio e da Scirocco, i seguenti valori:

- Scirocco: correnti litoranee da est verso ovest di 25 cm/s pari a circa 0.5 kn;
- Libeccio: correnti litoranee da ovest verso est di 10 cm/s pari a circa 0.2 kn.

Il moto ondoso considerato nei differenti scenari viene di seguito definito attraverso le caratteristiche delle onde incidenti (alla Diga Fornea, esternamente al Canale di Calma), in termini di altezza significativa Hs periodo e direzione.

TR 5 ANNI			TR 20 ANNI		
Hs alla diga [m]	Tp [s]	DIR [°]	Hs alla diga [m]	Tp [s]	DIR [°]
3.20	8.31	158	3.77	9.02	160
5.10	10.09	203	5.66	10.71	204

Figura 6.22 - Layout portuale del Canale di Calma schematizzato per le simulazioni

Nel modello implementato per il simulatore si considerano i valori di agitazione ondosa interna al Canale di Calma, derivante dalla propagazione delle onde incidenti all'interno del bacino portuale (si faccia riferimento ai risultati illustrati nel Capitolo 6 sugli studi di propagazione condotti con il modello matematico DIFFRAC).

La taratura del comportamento manovriero delle due tipologie di unità in simulazione è stata effettuata grazie a Piloti (Aste) e Rimorchiatori (Bignone), i quali si sono prestati a collaborare attivamente con CETENA nei giorni precedenti all'esecuzione delle prove ufficiali,

La tabella seguente riassume le simulazioni sviluppate, in accordo e sotto la supervisione della Capitaneria di Porto di Genova, il 25 Maggio 2012 presso il laboratorio del CETENA.

#	CONDIZIONI METEOMARINE	SCENARIO	UNITÀ NAVALI	VELOCITÀ DI TRANSITO [kn]	ESITO MANOVRA
1	Calma assoluta	ordinario	Navebus →	11.51	riuscita
			Messico ←	7.98	riuscita
2	Vento da NNE a 44 kn	ordinario	Navebus →	12.09	riuscita
			Navebus ←	12.02	riuscita
3A	Vento da SSE a 30 kn, mare associato Hs=3.20 m, Tp=8.31 s; corrente est-ovest di 25 cm/s	ordinario	Messico →	8.08	riuscita
Messico ←			8.31	riuscita	
3B		ordinario	Svezia →	8.00	riuscita
			Svezia ←	8.33	riuscita
4A	Vento da SSW a 35 kn, mare associato Hs=5.10 m, Tp=10.09 s; corrente ovest-est di 10 cm/s	ordinario	Navebus ←	12.09	riuscita
Svezia →			7.94	riuscita	
4B		ordinario	Navebus →	12.08	riuscita
			Messico ←	7.93	riuscita
5	Vento da SSW a 44 kn, mare associato Hs=5.66 m, Tp=10.71 s; corrente ovest-est di 10 cm/s	gravoso	Messico ←	7.97 (a metà percorso)	riuscita

Tabella 6-12 - Simulazioni eseguite: esito manovre e velocità di transito delle unità nel Canale di Calma

Tutte le simulazioni, si sono svolte con esito positivo, sia per quanto riguarda la velocità di manovra, sia per quanto concerne gli aspetti legati alla sicurezza dei natanti, correlati alle distanze di transito dalle opere portuali e fra i mezzi stessi. Tuttavia, particolare attenzione nella fase di transito di entrambe le unità navali, dovrà essere messa in atto in navigazione con scarsa visibilità oppure di notte ed in presenza di un'agitazione ondosa associata ad eventi meteomarini gravosi con periodi di ritorno superiori o uguali ai 20 anni.

A margine delle considerazioni relative al presente studio, si osserva inoltre che al di fuori del Canale di Calma, nella zona antistante le due imboccature (Levante e Ponente), si verificano serie difficoltà di governo alle unità navali prese in esame, in presenza di un'agitazione ondosa associata ad eventi meteomarini gravosi (caratterizzati da periodi di ritorno superiori o

uguali ai 20 anni). In tali zone infatti l'agitazione ondosa risulta essere condizionata, oltre che dal moto ondoso incidente, anche dagli effetti di riflessione che questo subisce a causa delle opere portuali limitrofe esistenti, quali ad esempio la Diga di Voltri.

6.6 Analisi dell'idrodinamica e della dispersione potenziale

In base alle osservazioni fatte dalla Capitaneria di Porto e dall'Autorità Portuale di Genova, si è proceduto, come ampiamente ricordato nei paragrafi precedenti, ad una revisione della soluzione progettuale che, in termini generali può essere riassunta con:

- Larghezza residua del canale di navigazione pari a 75 m
- Rimodulazione della testata orientale della colmata con uno spostamento tale da consentire le manovre e l'attracco delle navi alla banchina ILVA

Inoltre questa nuova soluzione doveva essere inserita considerando i dragaggi già previsti sia di fronte alla banchina ILVA che alla foce del torrente Polcevera e la rimodulazione della testata del molo est.

La configurazione della situazione di riferimento da assumere come base per la simulazione della situazione attuale è quindi quella riportata in Figura 6.23, mentre quella di progetto è illustrata in Figura 6.24.

È quindi importante, anche per questa nuova configurazione, studiare le caratteristiche idrodinamiche di questo sistema che costituiscono la base non solo relativa al movimento delle masse d'acqua collegate, ma anche e soprattutto il mezzo con cui avvengono i fenomeni dispersivi e di trasporto nell'area ed hanno, quindi, un effetto diretto sulla qualità del sistema in generale

Risulta pertanto evidente come, per valutare gli effetti che il nuovo intervento potrebbe avere su tali fenomeni locali in un sistema idrico sostanzialmente complesso come quello in esame, sia necessario uno studio di dettaglio in grado di riprodurre i processi principali che si verificano nella situazione attuale e in grado di prevederne i principali cambiamenti nella configurazione di progetto.

Per tale motivo è stato necessario predisporre un'analisi di dettaglio con strumenti adeguati per il conseguimento degli obiettivi sopra ricordati.

In particolare è stato messo a punto un modello matematico, idrodinamico e dispersivo che ha consentito di studiare l'andamento dei campi di corrente nella situazione attuale con diversi scenari di forzanti esterne (marea, vento, correnti litoranee, ecc.) per lo scenario di riferimento e di applicarlo poi alla configurazione prevista nel progetto definitivo, incluse le varianti richieste, e di studiare i principali processi direttamente connessi all'idrodinamica come la dispersione ed il trasporto solido evidenziando, anche in questo caso, le modifiche di questi parametri che verranno indotte dai nuovi interventi.

Mentre per un'analisi di dettaglio si rimanda al relativo rapporto specialistico, nei seguenti paragrafi si riassumono i principali risultati ottenuti.

6.6.1 *Il modello idrodinamico e dispersivo*

Lo studio idrodinamico di un'area protetta, come un porto, richiede sempre una grande attenzione per quanto riguarda il ricambio delle masse d'acqua nelle diverse condizioni meteo-marine che possono presentarsi.

A differenza di altri fenomeni, come ad esempio lo studio del moto ondoso, lo studio delle correnti richiede una valutazione specifica degli effetti prodotti dalle singole forzanti esterne in quanto anche piccole variazioni possono indurre conseguenze di una certa rilevanza.

Sulla base di queste considerazioni, il metodo di analisi che usualmente viene adottato deve prevedere:

- a) La predisposizione di uno strumento di analisi, usualmente uno o più modelli matematici tra loro interconnessi, che siano in grado di rappresentare con sufficiente dettaglio la zona di studio ed i fenomeni connessi all'idrodinamica locale
- b) Una definizione la più possibile dettagliata, sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo, delle forzanti esterne che determinano il comportamento idrodinamico e dispersivo del sito
- c) L'identificazione del comportamento idrodinamico del sistema nella configurazione di riferimento e, quindi, confrontarlo con quello che si verrà ad instaurare in seguito alla realizzazione degli interventi previsti al fine di valutarne le principali modifiche. Nel caso le stesse fossero da considerare non accettabili, sarà necessario identificare i possibili interventi di mitigazione e valutarne gli effetti.

Anche per il presente studio si è ritenuto di applicare questo metodo, collaudato ed accettato a livello generale.

Le attività che sono state svolte sono:

- messa a punto del modello matematico idrodinamico e dispersivo per l'area del porto di Genova, limitatamente, data l'estensione, all'area direttamente interessata dal canale di calma.
- Identificazione e quantificazione delle forzanti esterne e che, in generale, possono essere identificate con:
 - Onde di marea
 - Vento
 - Correnti litoranee
 - Deflussi di corsi d'acqua naturali o artificiali
- Simulazione dello scenario di riferimento e di quello con gli interventi al fine di identificare gli effetti di questi ultimi sull'idrodinamica locale.

Nella Figura 6.25 viene riportata la griglia a maglia curvilinea utilizzata per schematizzare il porto di Genova per la zona di interesse, mentre nella Figura 6.27 è evidenziato un dettaglio che consente di evidenziare come la maglia sia a risoluzione variabile, con una grande densità di maglie nella zona del porto, dove le informazioni devono essere maggiormente dettagliate, e si vanno via via diradando verso il mare aperto dove la morfologia della zona è meno variabile e, quindi, viene richiesta una minore precisione locale nella sua descrizione.

La risoluzione della griglia di calcolo in prossimità del canale di calma è tra i 15 ed i 30 m circa e questo consente di rappresentare con sufficiente dettaglio sia la situazione attuale che quella con gli interventi previsti.

La batimetria associata a tale maglia e rappresentativa dello scenario di riferimento è riportata in Figura 6.26.

Nella Figura 6.27 è riportato il dettaglio della schematizzazione in prossimità del canale di calma, mentre nella Figura 6.28 viene illustrata la relativa batimetria.

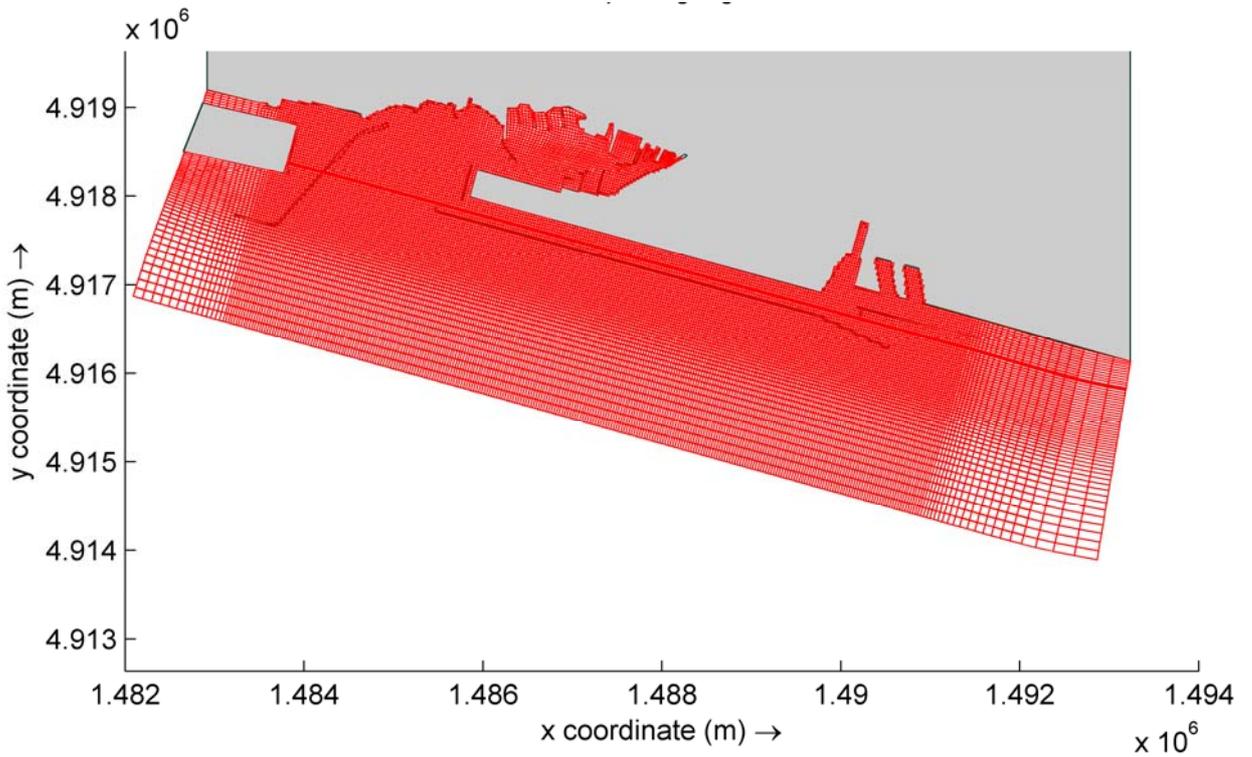


Figura 6.25 - Schematizzazione del dominio di calcolo con una griglia a maglia curvilinea

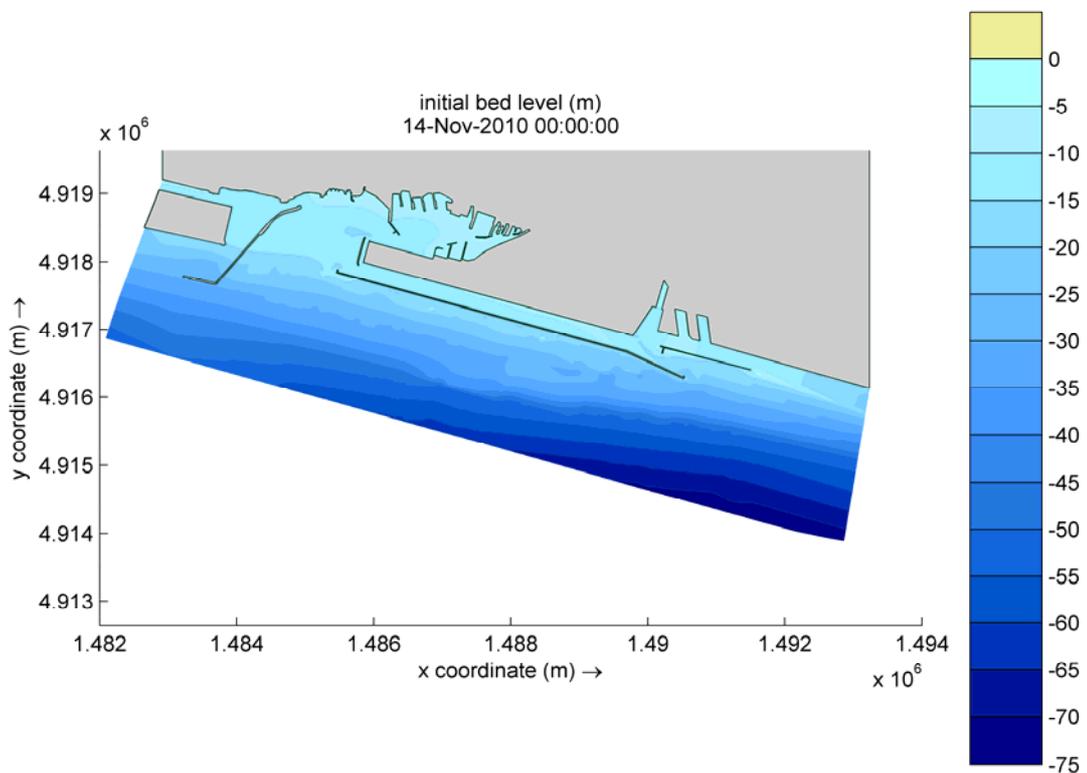


Figura 6.26 - Batimetria (m) applicata alla maglia di calcolo della Figura 6.25.

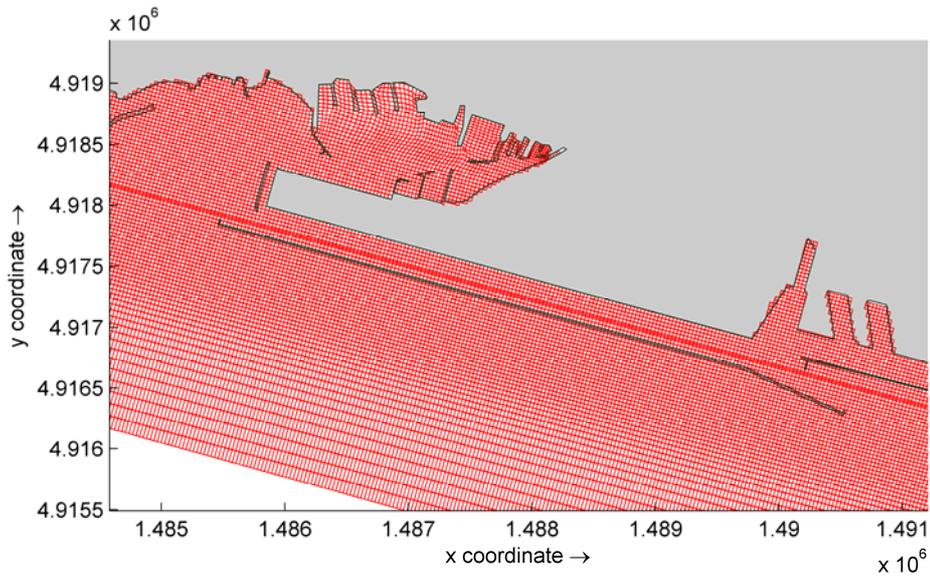


Figura 6.27 - Dettaglio della maglia di calcolo nella zona del canale di calma

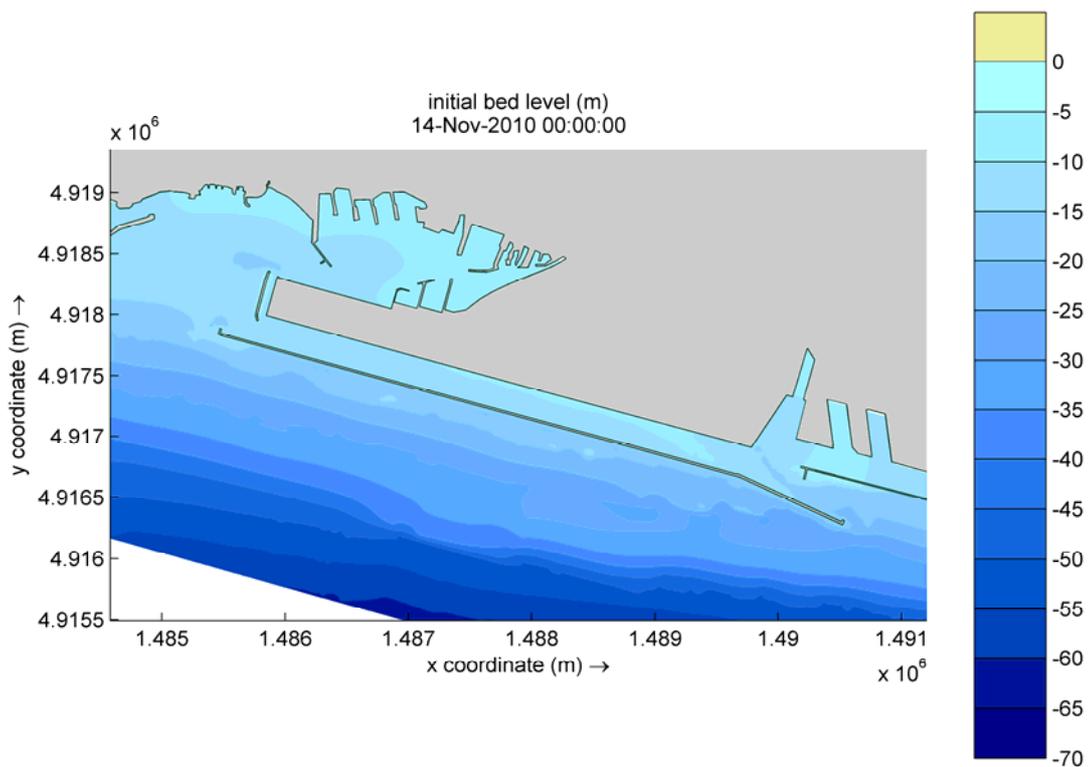


Figura 6.28 - Dettaglio della batimetria (m) applicata alla maglia di calcolo di Figura 6.27

6.6.2 *Idrodinamica e dispersione potenziale nella zona di progetto*

Per consentire un'analisi dettagliata di quanto sopra ricordato, ad ogni scenario analizzato sono state applicate condizioni al contorno caratteristiche del sito di interesse e, in particolare:

- Oscillazione di marea;
- Correnti litoranee;
- Velocità del vento;
- Deflussi di acque dolci dai corsi d'acqua e dagli scarichi principali.

Al fine di valutare l'effetto medio in termini di velocità e, quindi, di trasporto dovuto all'oscillazione della marea, si è adottato, sulla base delle analisi riportate nella "Relazione Meteomarina" del presente progetto, la seguente marea sintetica media:

- Ampiezza (A): 0.12 m
- Periodo (T): 12 ore

In questo modo viene identificata una marea sinusoidale ciclostazionaria che oscilla tra quota +0.12 m e -0.12 m rispetto al medio mare con un periodo di 12 ore, caratteristico delle maree semidiurne come quelle che si verificano a Genova. L'utilizzo di una marea sintetica di questo tipo consente di instaurare dei campi di moto stabili, atti a mettere in risalto le variazioni indotte dalla geometria del sistema.

Sempre sulla base di quanto riportato nella Relazione Meteomarina, nell'ottica di realizzare uno scenario con forzanti idrodinamiche medie, si è ritenuto di imporre una velocità litoranea da est verso ovest di intensità uniforme di 10 cm/s.

Le caratteristiche sito-specifiche dei venti sono state riportate sempre nella "Relazione Meteomarina" sviluppata per il presente progetto.

Per le simulazioni con il modello matematico descritto in questo rapporto sono stati considerati i seguenti eventi di vento:

- a) Calma di vento
- b) Vento di scirocco con intensità di 12 m/s
- c) Vento di libeccio con intensità di 10 m/s

Per quanto riguarda i deflussi di acque dolci agli scarichi principali in questo studio sono stati considerati i tre corsi d'acqua che sfociano in prossimità dell'area in esame e che sono, da est verso ovest: il torrente Polcevera, la cui foce è ubicata immediatamente ad est del canale di calma, il rio Roncallo più ad occidente, ed, infine, il Rio Secco. L'ubicazione delle foci è riportata in Figura 6.29.

I tre corsi d'acqua presentano un regime di tipo torrentizio caratterizzato da intensi e poco frequenti picchi di portata e da lunghi periodi di siccità.

Questi tre corsi d'acqua sono stati studiati nel dettaglio nei Piani di Bacino editi a cura della Provincia di Genova⁶.

Il Polcevera è in grado di fornire dei deflussi di piena estremamente rilevanti, con un deflusso massimo annuo di circa 300 m³/s che raggiungono facilmente i 1000 m³/s per tempi di ritorno di circa 10 anni.

Il rio Roncallo ed il rio Secco, d'altra parte, presentano portate massime annue decisamente limitate, stimabili in qualche metro cubo al secondo, che diventano decisamente elevate, anche in relazione all'estensione esigua dei relativi bacini imbriferi (0.643 km² per il Roncallo e 0.59 km² il secco): infatti, per un tempo di ritorno di 10 anni le portate diventano rispettivamente di 11 e 8 m³/s, mentre per 30 anni le portate di piena stimate arrivano a 18 e 15 m³/s con contributi specifici di 28 e 25 m³/s km².

Per lo sviluppo del presente studio, sono stati studiati due diversi scenari di deflusso di questi 3 corsi d'acqua: il primo, in condizione di piena annuale, teso a definire il campo idrodinamico ed i processi di dispersione, mentre per l'analisi del ricambio dei corpi d'acqua recettori sono stati adottati i valori stimati di deflusso medio annuo in modo da verificare i processi sul medio-lungo periodo. Entrambi questi scenari sono stati applicati sia allo scenario attuale che a quello previsto con gli interventi.

⁶ Provincia di Genova; "Torrente Polcevera – Piano di Bacino Stralcio per la difesa Idrogeologica, geomorfologica, per la salvaguardia della rete idrografica e per la compatibilità delle attività estrattive", Genova 2003

Provincia di Genova; "Ambiti Regionali di Bacino 12 e 13 – Piani di Bacino stralcio per la tutela del rischio idrogeologico", Genova 2009



Figura 6.29 - Corsi d'acqua considerati nel presente studio

Al fine di verificare l'influsso degli scarichi di questi corsi d'acqua sui campi di moto locali e sulla dispersione, per ognuno degli scenari considerati sono state prese in considerazione i seguenti deflussi:

- a) Deflusso nullo, quindi caratteristico dei periodi di secca
- b) Deflusso medio annuo
- c) Deflusso di piena con tempo di ritorno di 1 anno; questo scenario è stato considerato specialmente in relazione all'analisi dei campi di dispersione per verificare l'andamento delle concentrazioni di traccianti conservativi in periodi di piena ricorrente.

Inoltre, come espressamente richiesto dal MATTM in fase di revisione del progetto, si è considerato come scenario anche quello derivante dal considerare i deflussi del t. Polcevera e dei rii Roncallo e Secco con Tempo di Ritorno di 200 anni al fine di verificare che le nuove opere non costituiscano un ostacolo al libero deflusso delle acque.

Poiché questa analisi consente di verificare la capacità di deflusso idraulico con tempi di ritorno di grande rilevanza, si è ritenuto, per le simulazioni necessarie a definire il regime del sistema in condizioni normali, di concentrarsi sui regimi di secca e medi annui dei corsi d'acqua,, importanti per le analisi ambientali, lasciando le verifiche di sicurezza alla sola simulazione con $Tr=200$ anni.

Sono quindi stati utilizzati, per i diversi scenari i deflussi riportati nella seguente Tabella 6-13.

Tabella 6-13 - Portate di deflusso considerate per le immissioni dei corsi d'acqua nell'analisi dei campi di corrente e della dispersione

	Torrente Polcevera (m ³ /s)	Rio Roncallo (m ³ /s)	Rio secco (m ³ /s)
Condizione di secca	0.0	0.0	0.0
Deflusso medio annuo	5.0	0.5	0.1
Piena annuale	300.0	5.0	1.5
Piena duecentennale	1758.0	31.0	26.0

L'insieme delle simulazioni effettuate per l'analisi delle correnti e della dispersione nella zona di progetto, per la configurazione attuale è quindi quello riassunto riportato in Tabella 6-14.

Simulazione	Marea	Correnti litoranee	Deflussi acque dolci	Velocità del vento
1	Ciclostazionaria sinusoidale Ampiezza ±12 cm Periodo 12 ore	Costante da Est di 10 cm/s	Condizione di secca	Calma di vento
2				Scirocco 12 m/s
3				Libeccio 10 m/s
4			Deflusso medio annuo	Calma di vento
5				Scirocco 12 m/s
6				Libeccio 10 m/s
7				Evento duecentennale

Tabella 6-14 - Quadro sinottico delle simulazioni effettuate per lo studio del campo di correnti e della dispersione nella situazione attuale

A titolo esemplificativo, vengono riportati di seguito alcuni risultati ottenuti, mentre per una discussione dettagliata degli stesasi si rimanda alla relazione specialistica.

In particolare, da Figura 6.30 a Figura 6.32 vengono riportati i campi di moto, nella configurazione di progetto, valutati considerando come forzanti l'oscillazione di marea, le correnti litoranee, i deflussi medi annui dai corsi d'acqua considerati e, per ognuna delle figure, rispettivamente la calma di vento, il vento di scirocco ed il vento di libeccio.

Come si può notare le correnti, che usualmente tendono a fluire in direzione est – ovest, con il vento di libeccio invertono la loro direzione, ma nella sostanza le velocità significative all'interno del canale di calma, rimodulato dalla presenza della nuova colmata, mantengono intensità contenute, comprese tra i 10 e i 25 cm/s.

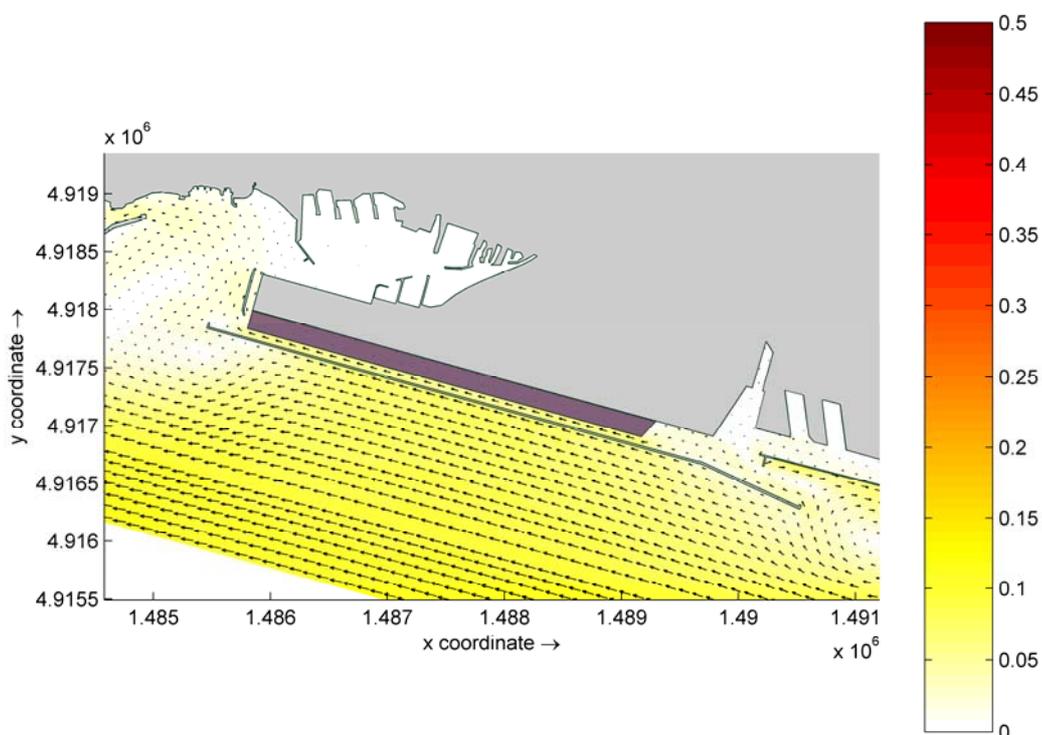


Figura 6.30 - Configurazione di progetto, campo di moto generato da marea, correnti litoranee e deflussi medi annui dei corsi d'acqua in calma di vento.

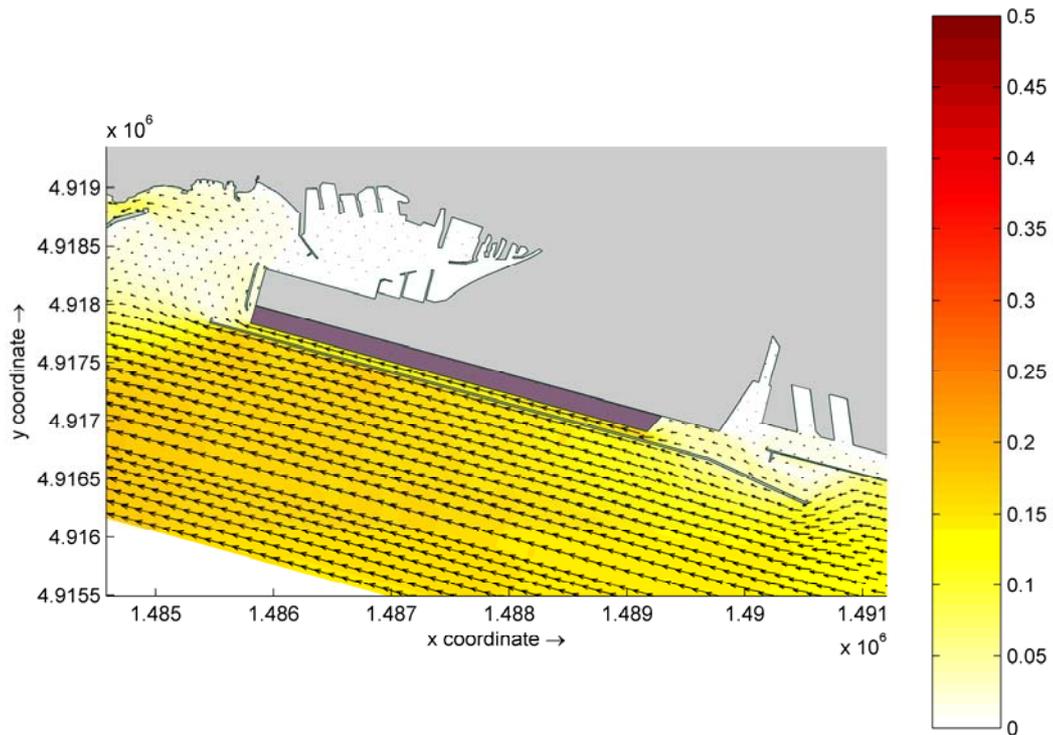


Figura 6.31 - Configurazione di progetto, campo di moto generato da marea, correnti litoranee e deflussi medi annui dei corsi d'acqua e vento di scirocco.

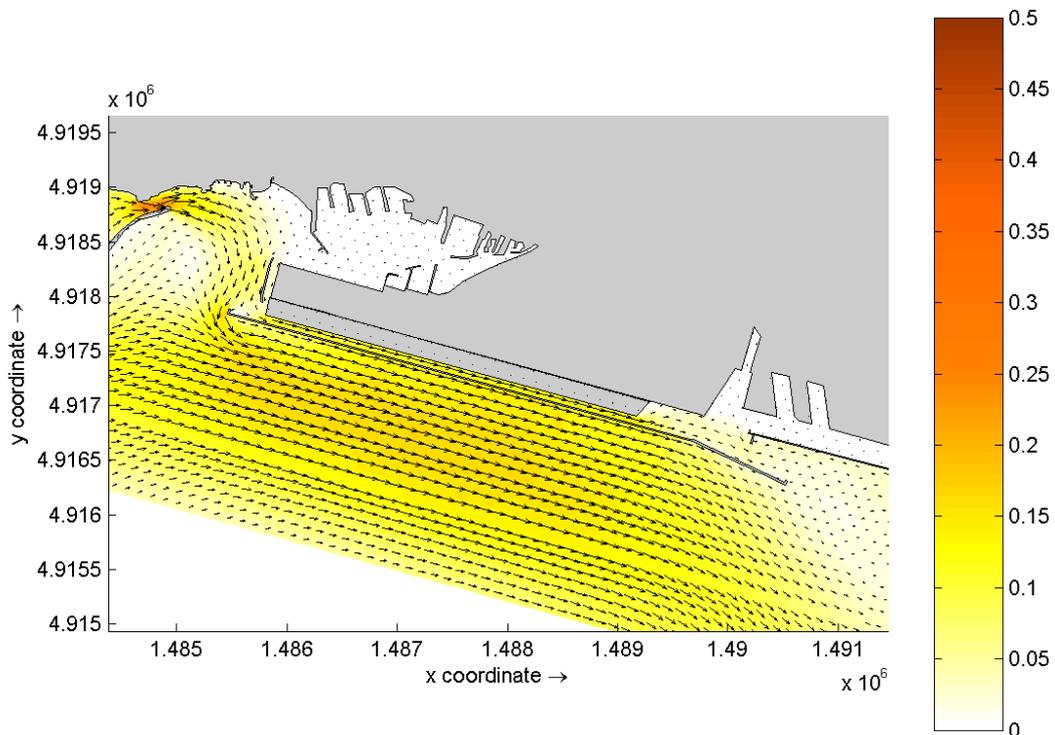


Figura 6.32 - Configurazione di progetto, campo di moto generato da marea, correnti litoranee e deflussi medi annui dei corsi d'acqua e vento di libeccio

Questo determina che, da un punto di vista della dispersione, data la caratteristica estremamente confinata del corpo d'acqua oggetto di studio, anche se le velocità sono limitate, la parte avvertiva è preponderante rispetto alla dispersiva e, quindi, il riuscire a mantenere nel canale di calma delle velocità paragonabili a quelle della situazione attuale (anzi leggermente più elevate) garantisce comunque un sufficiente ricambio del corpo idrico.

Questo risulta evidente dai risultati riportati da Figura 6.33 a Figura 6.35 dove sono riportate, per le tre situazioni a cui si riferiscono i risultati dei campi di moto precedenti, le differenze di concentrazione tra la situazione di progetto e la situazione di riferimento.

Come si può notare, considerando che la concentrazione massima agli scarichi può valere al massimo 1 u.i./l, le differenze indotte dalla presenza della nuova colmata fanno aumentare queste concentrazioni al massimo del 6-8% (0.6-0.8 u.i./l) a fronte di una riduzione della sezione di flusso superiore al 65%.

Un'analisi più approfondita della variazione del ricambio del canale di calma una volta realizzata la nuova colmata è stata effettuata per mezzo della variazione del cosiddetto "Tempo di Ricambio"

Questo parametro, che in letteratura viene definito come il tempo necessario affinché il flusso di marea, supposto composto da acqua "pulita", riduca, in un punto, la concentrazione di una sostanza conservativa, inizialmente uniformemente distribuita nell'area (cioè con una concentrazione iniziale uguale in ogni punto della zona di studio), di un fattore pari al numero di Eulero "e" ($\sim 2.718281\dots$), consente di valutare in modo oggettivo le variazioni indotte alla

Per utilizzare tale parametro è necessario valutare il comportamento di un tracciante passivo presente nel sistema e che modifichi la sua concentrazione in funzione delle condizioni idrodinamiche e dispersive locali.

Per il presente studio sono stati considerati 2 scenari di scarico dei corsi d'acqua:

- Lo scenario di secca, caratteristico di un comportamento estivo
- Lo scenario con deflusso dai corsi d'acqua corrispondente al deflusso medio annuo

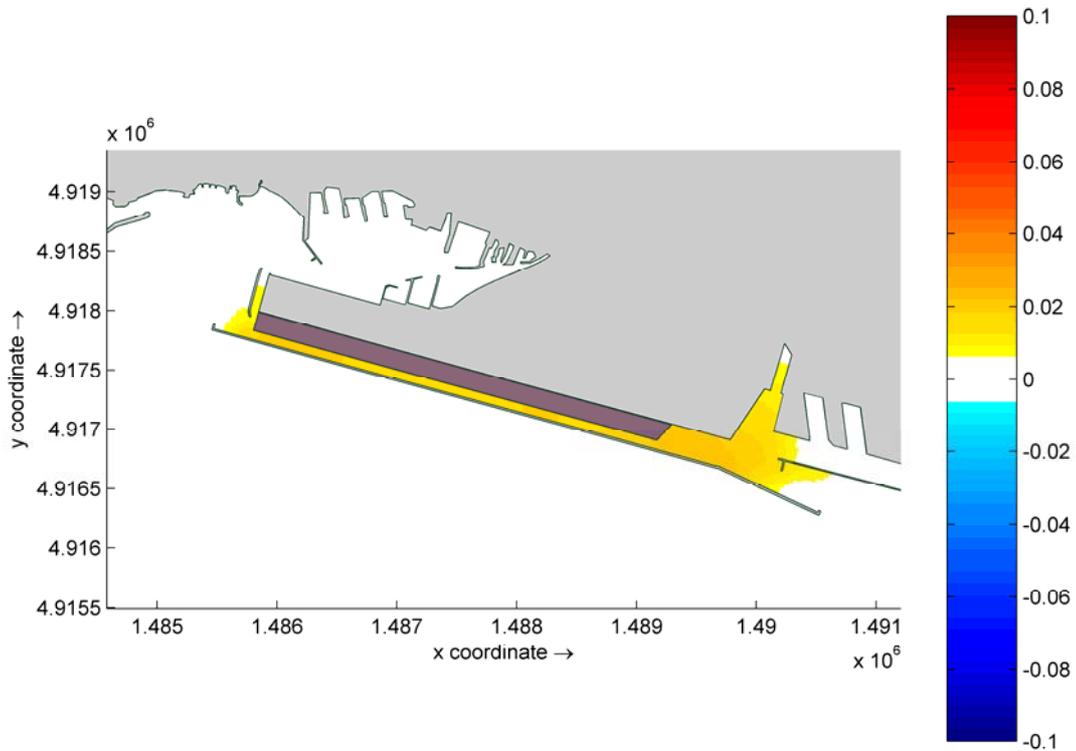


Figura 6.33 - Differenza tra il campo di concentrazione ($u.i./m^3$) generato dal tracciante rilasciato dal T. Polcevera nello scenario con interventi e nello scenario di riferimento per la simulazione 4

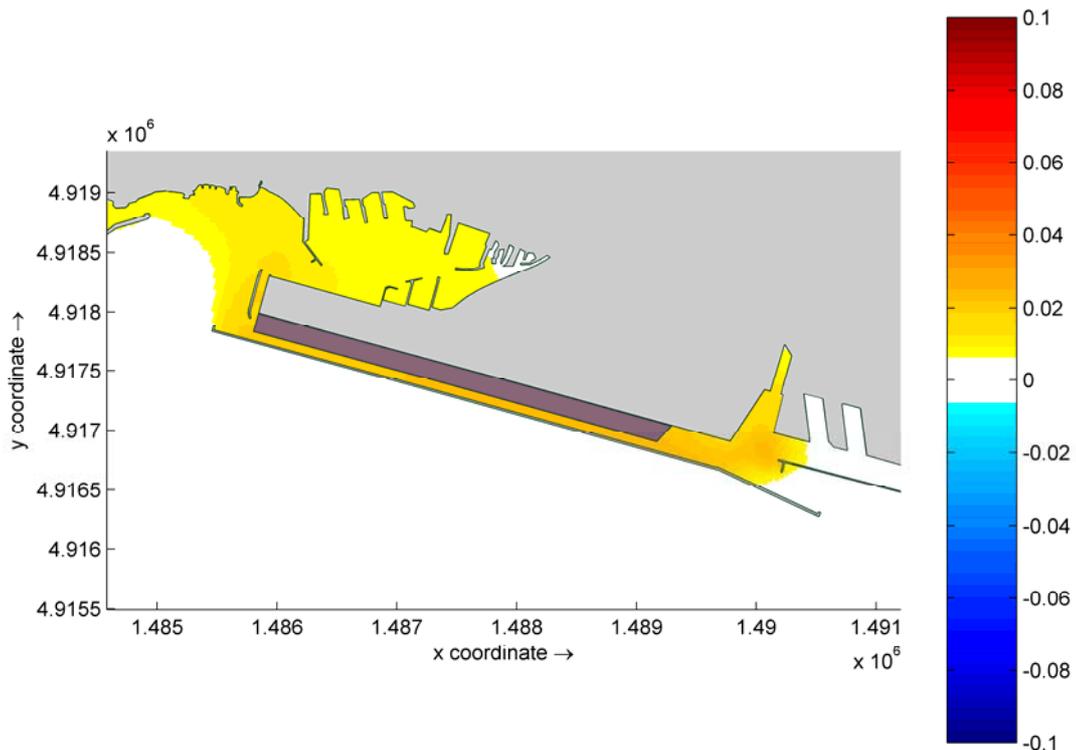


Figura 6.34 - Differenza tra il campo di concentrazione ($u.i./m^3$) generato dal tracciante rilasciato dal T. Polcevera nello scenario con interventi e nello scenario di riferimento per la simulazione 5

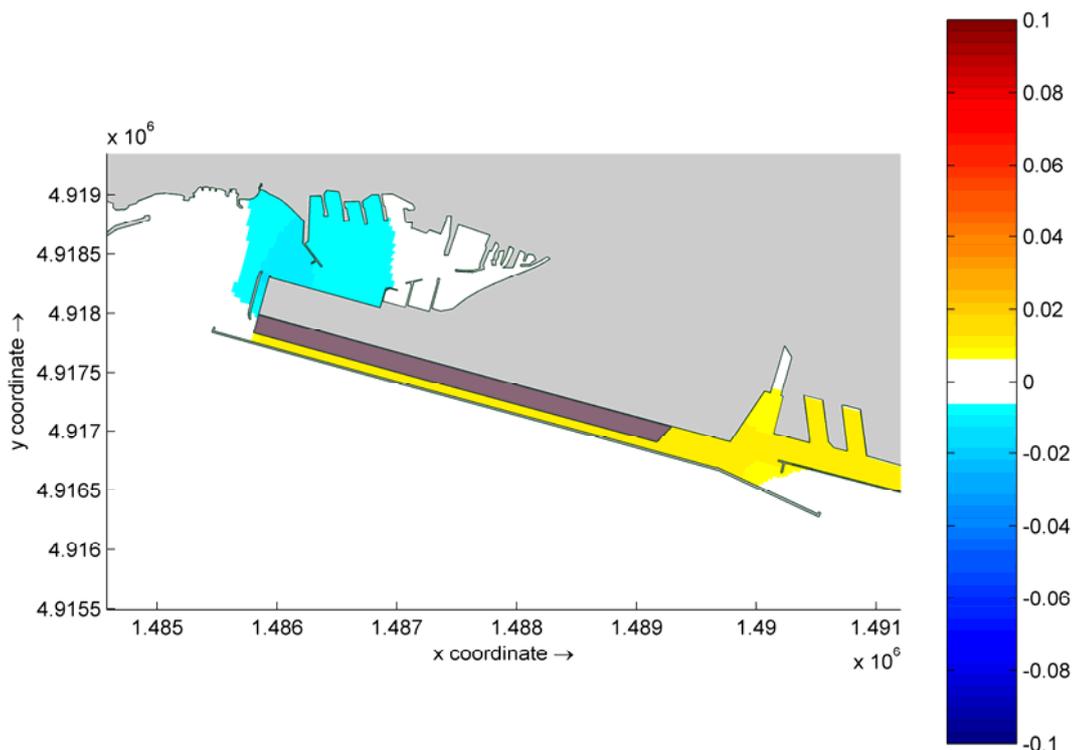


Figura 6.35 - Differenza tra il campo di concentrazione ($u.i./m^3$) generato dal tracciante rilasciato dal T. Polcevera nello scenario con interventi e nello scenario di riferimento per la simulazione 6

Nelle successive immagini di Figura 6.36, Figura 6.35 e Figura 6.37 vengono riportati, nella prima, la distribuzione del tempo di ricambio, in ore, per lo scenario che include il deflusso dai corsi d'acqua, sia per la situazione di riferimento che per quella con gli interventi, mentre nella seconda è riportata la differenza tra le due.

Risulta quindi evidente che la realizzazione della nuova colmata induce una tendenza all'aumento del tempo di ricambio nell'area prospiciente la banchina ILVA, mentre nella zona ad ovest si manifesta una tendenza alla riduzione.

In termini percentuali si stima che il tempo di ricambio, nella situazione peggiore, possa aumentare inferiore al 30%.

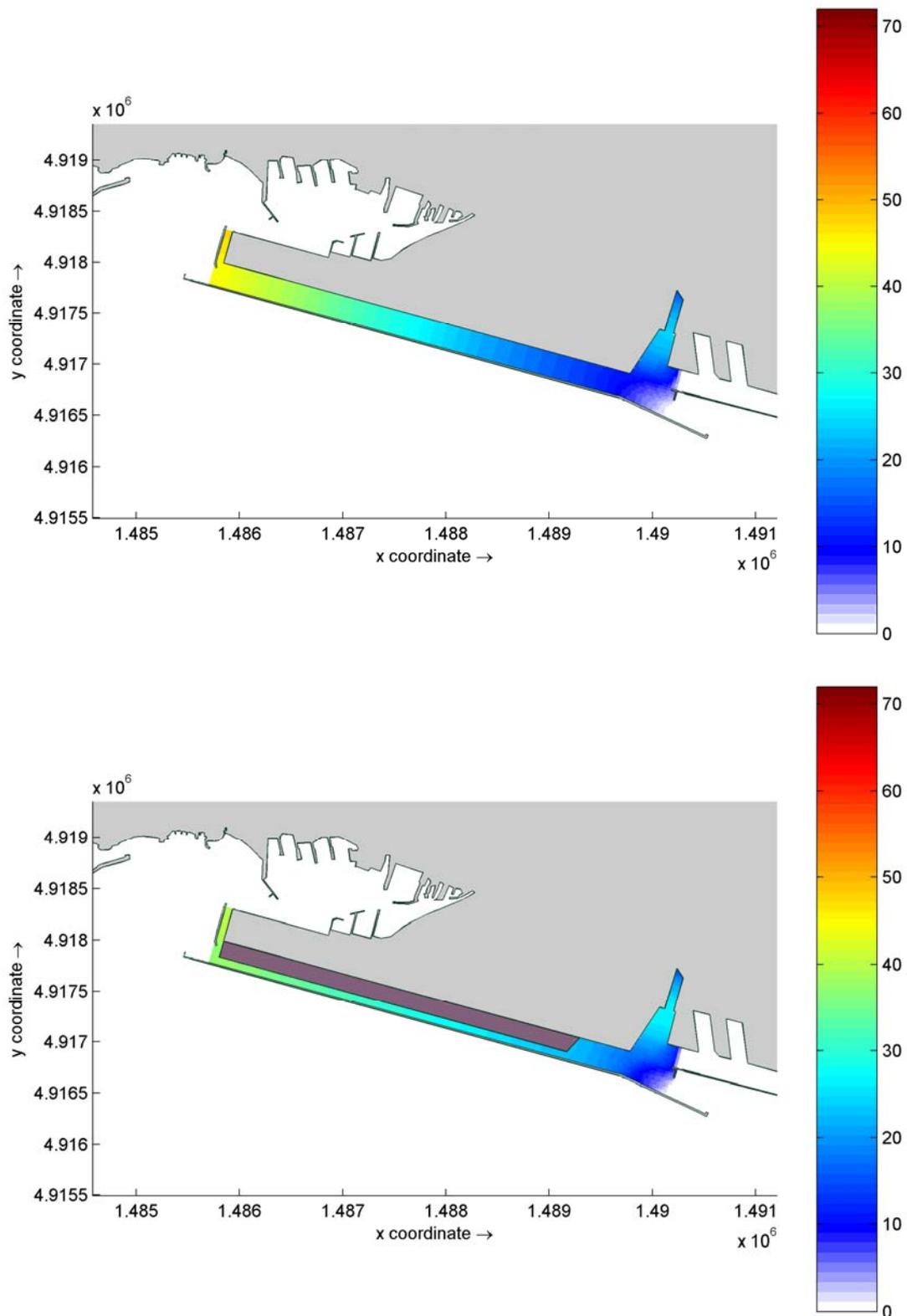


Figura 6.36 - Tempo di ricambio, in ore, nel canale di calma quando sottoposto a marea media, a correnti litoranee oltre e ai deflussi medi annui dei principali corsi d'acqua nella situazione di riferimento (sopra) e di progetto (sotto).

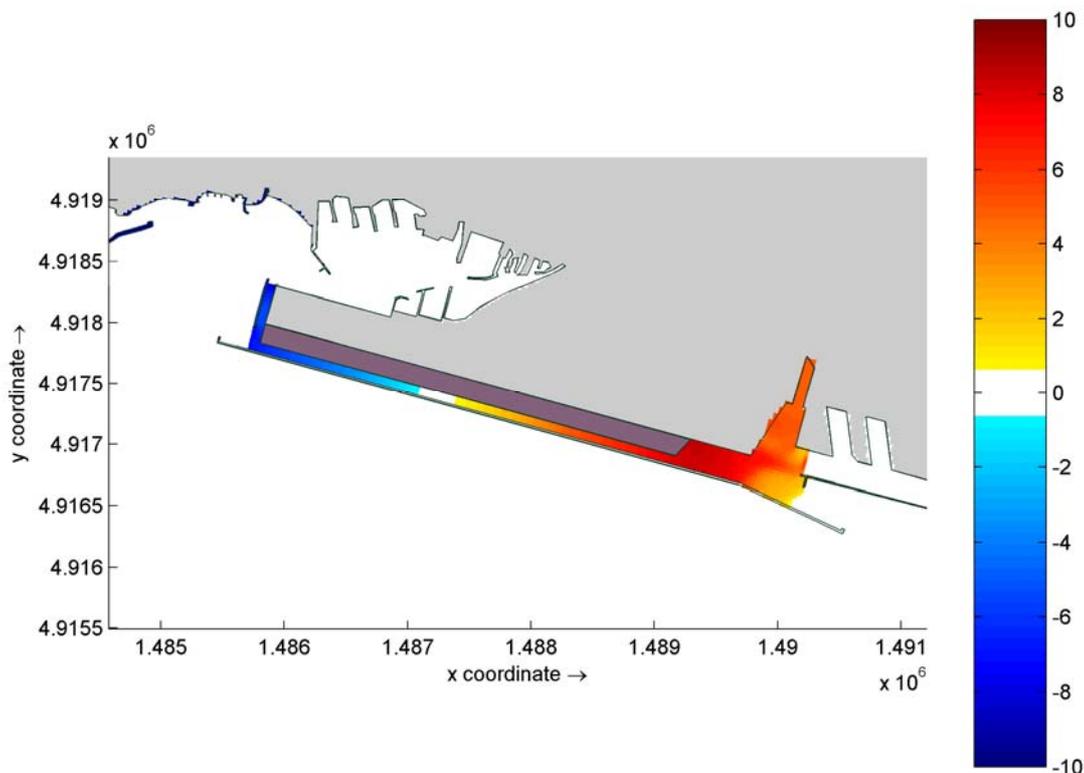


Figura 6.37 - Differenza del tempo di ricambio, in ore, tra la situazione di riferimento e di progetto, nella medesima condizione di forzanti esterne considerate nella precedente Figura 6.36

6.6.3 Trasporto solido nella zona di progetto

Come evidenziato nei paragrafi precedenti, il Canale di Calma è, nella situazione attuale, un bacino a bassa energia nel quale defluiscono alcuni corsi d'acqua, tra i quali il Torrente Polcevera che può presentare apporti anche rilevanti.

In queste condizioni è importante studiare come il trasporto di sedimenti, principalmente dovuti a questi corsi d'acqua, possa interagire con il canale di calma sia per la configurazione attuale, sia per la configurazione con gli interventi previsti già realizzati.

Usualmente, per uno studio di questo tipo, sarebbe necessario identificare le caratteristiche del trasporto solido dei corsi d'acqua interessati (Torrente Polcevera, rio Secco e rio Roncallo) in termini di granulometria e quantità, e verificare quindi come questo influenzi la distribuzione ed il trasporto dei sedimenti in sospensione e sul fondale nel canale.

Poiché i dati disponibili sul trasporto solido di questi tre torrenti non sono sufficientemente dettagliati per procedere ad un'analisi come sopra ricordato, è stato necessario effettuare alla valutazione della potenziale distribuzione dei sedimenti per via indiretta, basandosi sulle seguenti considerazioni:

- Il Canale di Calma, come dimostrato anche con le analisi idrodinamiche, dispersive e del ricambio, può essere assimilato ad un bacino di sedimentazione in cui le onde non possono agire e le correnti, sia mareali che litoranee, hanno effetti estremamente modesti.
- Si può pertanto ritenere che, anche in base all'analisi dei dati relativi ai sedimenti di fondo, che l'eventuale materiale grossolano (sabbia grossa, ghiaia o materiale di granulometria ancora maggiore) potenzialmente recapitato al canale di calma dai corsi d'acqua, sedimenterebbe immediatamente a valle dei relativi sbocchi, senza interferire con i sedimenti del canale in senso generale
- Si può quindi assumere che i soli sedimenti in grado di determinare un trasporto solido nel canale di calma possano essere costituiti da sabbie medio fini o da sedimenti fini come limi e argille
- Al fine di studiare il potenziale trasporto legato a questi sedimenti, è stato messo a punto un modello di trasporto solido che, utilizzando i risultati del modello idrodinamico sopra descritto, consenta di verificare la capacità di trasporto in sospensione e la loro probabilità di sedimentare nel canale di calma ed aree limitrofe.

Poiché questa analisi non può che essere condotta su basi parametriche, sono stati definiti tre diversi sedimenti codificati come IM1, IM2 e IM3, le cui caratteristiche, in termini sedimentologici, sono riportate nella seguente tabella.

In particolare si è concentrato lo studio su sedimenti fini definendo le caratteristiche per un'argilla media (IM1), un limo grossolano (IM2) ed una sabbia fine (IM3).

Per ognuno di essi sono stati stimati, sulla base di dati di letteratura⁷ i valori di velocità di sedimentazione (espressa in m/giorno) e di tensione critica di sedimentazione e di risospensione (Pascal) che, inseriti nel modulo morfologico del modello utilizzato, consentissero di valutare, per ognuno di essi, la distribuzione delle concentrazioni nel tempo e la densità di sedimentazione sul fondo.

⁷ U.S. Army Corps of Engineers - Coastal Engineering Research Center _ EM 1110-2-1100 (Part III) 30 Apr. 02

Tabella 6-15 - Caratteristiche dei sedimenti utilizzati per le analisi parametriche di trasporto solido

Codice Sedimenti	Velocità di sedimentazione (m/giorno)	τ_{critico} di sedimentazione (pascal)	τ_{critico} di risospensione (Pascal)
IM1	5.0	0.02	0.20
IM2	20.0	0.02	0.20
IM3	500.0	0.03	0.32

Su tali basi è stato definito uno scenario in grado di rappresentare i processi sopra ricordati e valutare, in modo parametrico, il comportamento del sistema.

Lo scenario si basa sui seguenti parametri:

- Durata della simulazione: 40 giorni
- Immissione costante, per i primi 7 giorni, di una concentrazione, per ogni tipologia di sedimento, pari a 100 g/m^3 , con un campo idrodinamico corrispondente al deflusso massimo annuale dei corsi d'acqua considerati.
- Transizione dal settimo al nono giorno, con progressiva riduzione dell'immissione di solidi sospesi fino al loro annullamento e riduzione dei flussi idrici dei corsi d'acqua fino ai valori corrispondenti al deflusso medio annuo
- Ultimazione della simulazione con queste caratteristiche al fine di consentire una completa sedimentazione dei solidi immessi in sospensione.

Utilizzando queste impostazioni sono state eseguite le simulazioni per lo scenario della situazione attuale e di quella con gli interventi previsti ed i risultati sono illustrati nei paragrafi successivi.

Per quanto riguarda la capacità di trasporto di sedimenti in sospensione, è stata sviluppata un'analisi tesa a verificare, per sedimenti di diverse granulometrie possibili potenzialmente rilasciati dai principali corsi d'acqua, come il sistema sia in grado di trasportare le diverse tipologie di sedimenti, verificandone il fatto sia in termini di recapito all'esterno del sistema che in termini di sedimentazione.

È stato verificato che, nella **situazione attuale**, i sedimenti di dimensioni inferiori (limi e argille) sono in grado di restare in sospensione per essere distribuite dalle correnti in praticamente tutto il dominio di calcolo. Le aree dove potenzialmente tendono a sedimentare

in modo più significativo sembrano essere in corrispondenza del sistema di foce del torrente Polcevera e nel bacino occidentale del porto, ad ovest del rilevato aeroportuale.

Per questi sedimenti, comunque, sembra essere importante la quantità di sedimenti che escono dal sistema.

Per quanto riguarda i sedimenti di dimensione maggiore, anche se sabbie fini, la tendenza sembra quella che il sistema non sia in grado di disperdere questi sedimenti che restino intrappolati, nella situazione attuale, ad una distanza limitata dai punti di immissione.

Nella situazione **con interventi**, invece, la capacità dispersiva di sedimenti di granulometria maggiore viene incrementata dalle maggiori velocità che possono manifestarsi localmente. In ogni caso non appena la capacità di trasporto diminuisce a causa di una riduzione locale di velocità, le sabbie fini tendono a sedimentare (Figura 6.38 e Figura 6.39).

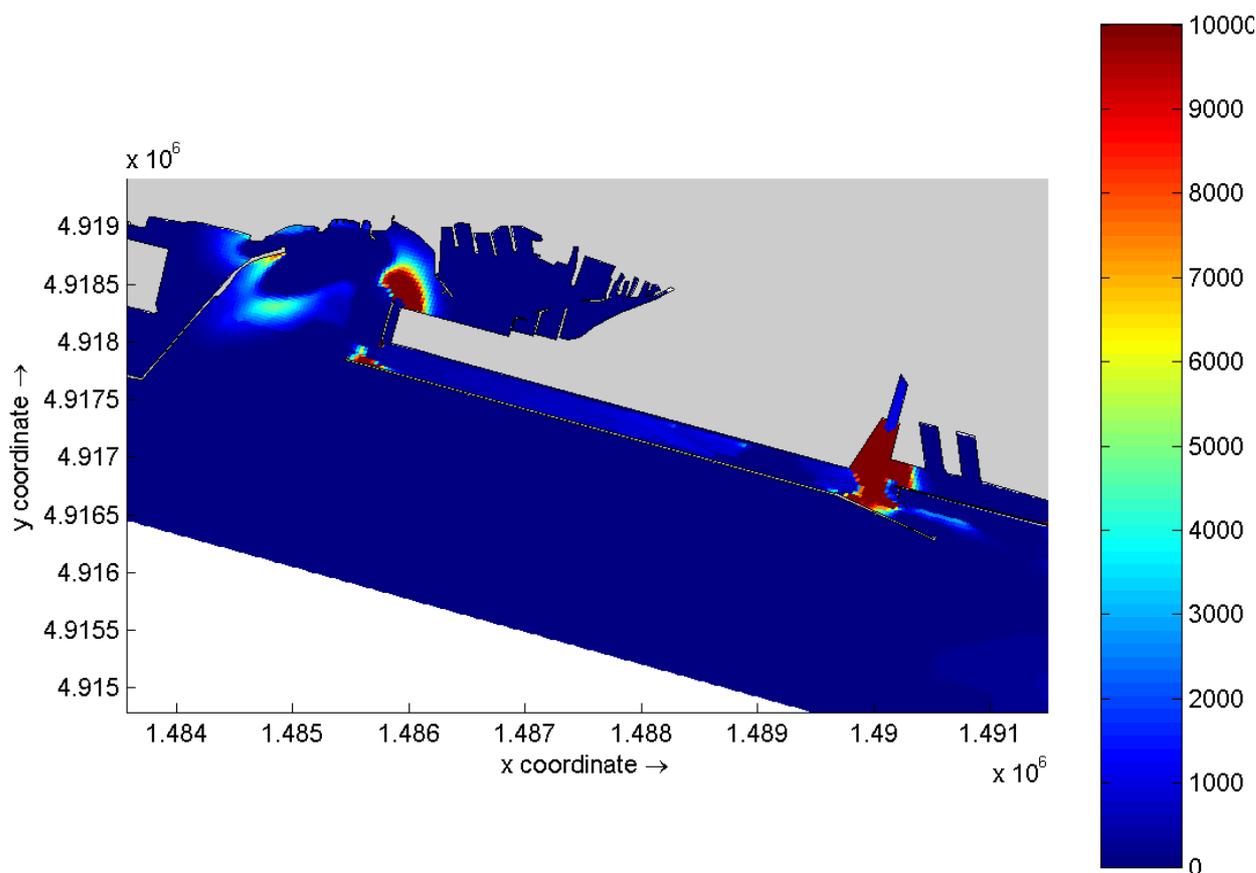


Figura 6.38 - Situazione attuale – Materiale IM3 – Densità di sedimentazione (g/m²) di solidi in sospensione alla fine del processo

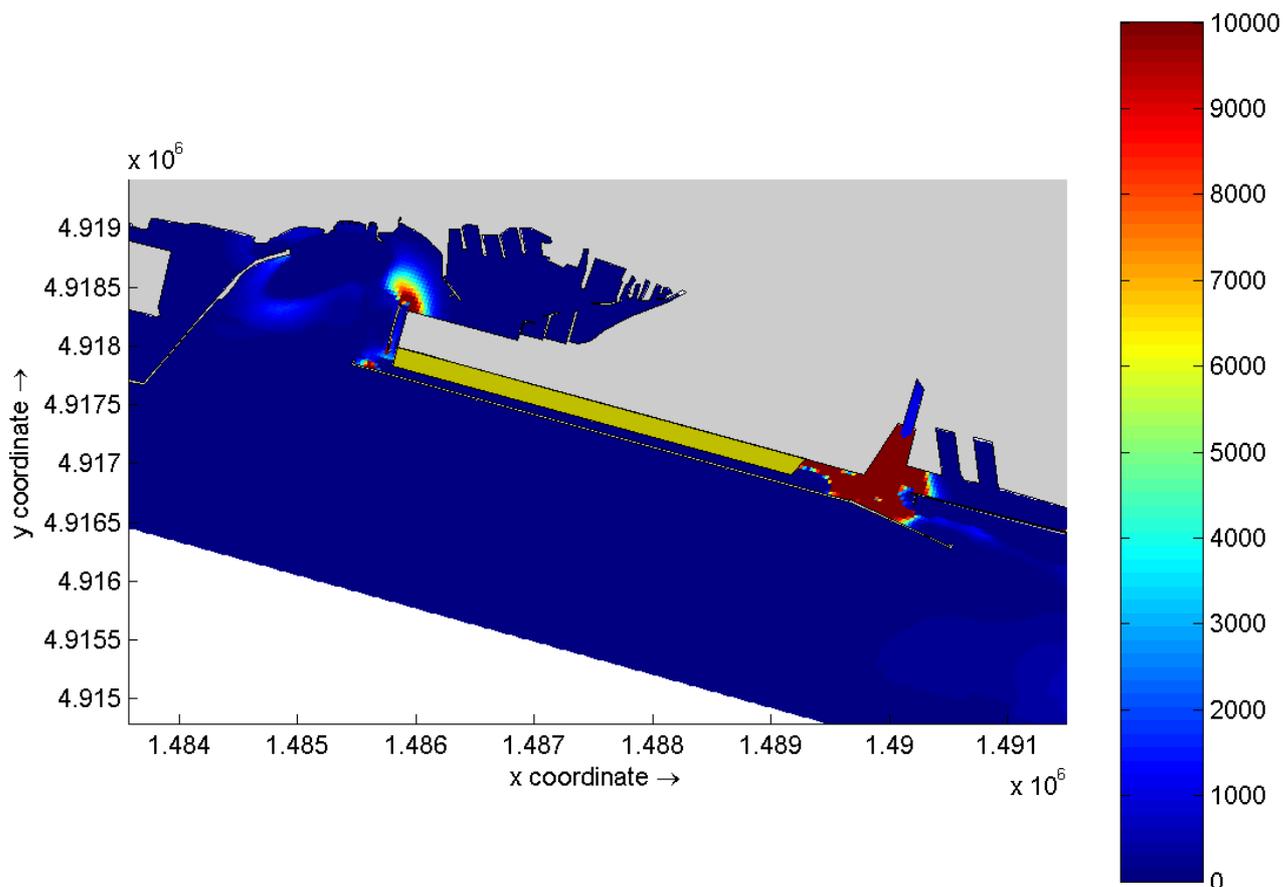


Figura 6.39 - Materiale IM3 – Differenza di densità di sedimentazione (g/m²) di solidi in sospensione tra la situazione attuale e quella con interventi alla fine del processo

Come già evidenziato in precedenza, le analisi relative al trasporto solido in sospensione sono state svolte per evidenziare le tendenze evolutive di questo fenomeno a seguito dell'inserimento delle opere in progetto nel canale di calma e da tali analisi non è possibile derivare valori che illustrino in modo quantitativo questo fenomeno.

E' inoltre da notare che questi apporti di sedimenti, data la presenza di un corso d'acqua delle caratteristiche del torrente Polcevera, avrebbero una distribuzione nel tempo estremamente impulsiva, con forti apporti concentrati durante le piene dei torrenti e lunghi periodi di mancanza di trasporto solido fluviale a causa delle portate idriche contenute (o nulle).

Sulla base di tali considerazioni è da sottolineare che, in ogni caso, le aree di potenziale sedimentazione individuate sono comunque da ritenere attendibili per sedimenti medio fini (sabbie fini) ed è comunque da rilevare come queste tendano a coincidere con le aree di cui è

previsto il dragaggio sia alla foce del Polcevera, sia di fronte alla banchina ILVA, fatto che conferma come due progetti sviluppati sulla base di concetti e valutazioni differenti hanno portato all'individuazione delle stesse aree potenziali di sedimentazione.

E' anche da sottolineare come, nel corso del presente studio non si è tenuto conto di eventuale materiale di granulometria più grossolana che, sicuramente, il torrente Polcevera è in grado di recapitare nella zona di studio, specialmente nella sua zona di foce, durante gli eventi di piena. Sulla base dei risultati idrodinamici ottenuti, però, anche per eventi con tempi di ritorno rilevanti, si ritiene che il materiale di pezzatura più grossa tenda a depositarsi immediatamente a valle dell'ultima soglia del tratto di foce andando nel tempo a riformare il fondale di cui è stato previsto il dragaggio, indipendentemente dal presente progetto.

E' da ritenere che questo fenomeno di sedimentazione sarà, in un primo momento immediatamente successivo al dragaggio, particolarmente evidente a valle della citata soglia, anche in considerazione al fatto che il dragaggio tenderà a far diminuire in modo repentino la velocità della corrente e, quindi a facilitare la deposizione dei sedimenti.

Man mano che il fondale tenderà a riportarsi alla situazione preesistente al dragaggio, la velocità della corrente si manterrà più elevata, mantenendo la sua capacità di trasporto e, quindi, andando a depositare il materiale in zone sempre più lontane dalla soglia.

E' comunque anche da ritenere che questo processo, che sarebbe opportuno fosse oggetto di un monitoraggio periodico, non sarà influenzato dalla presenza dell'imbonimento oggetto del presente studio.

7 VERIFICHE GEOTECNICHE

Per le verifiche geotecniche sulle opere di conterminazione e le analisi relative al decorso e alla stima dei cedimenti che interesseranno l'opera si rimanda all'elaborato APE-9010, "Relazione Geotecnica e Sismica", si riporta di seguito una breve descrizione degli input progettuali assunti e i risultati delle verifiche condotte.

7.1 Caratteristiche geotecniche materiale di smarino e materiali da costruzione

I parametri geotecnici dei materiali utilizzati per la costruzione della cassa di colmata sono riportati in Tabella 7-1.

Tabella 7-1 - Caratteristiche delle navi che transitano nel canale di navigazione

Materiale	Peso specifico (γ) [kN/m ³]	Angolo di resistenza al taglio ⁸ [°]		Coesione intercetta ¹ [kPa]		Resistenza non drenata ¹ [kPa]	
		φ'_k	φ'_d	c'_k	c'_d	c_{uk}	c_{ud}
Sabbia satura riempimento cassoni	20	42	35,8	0	0	-	-
Scanno – materiale da scogliera	20	48	41,5	0	0	-	-
Scanno – filtro	20	45	38,5	0	0	-	-
Materiale costituente gli argini interni alla colmata	19	42	35,8	0	0	-	-
Riempimento a mare di progetto – Materiale potenzialmente amiantifero	19	40	34	0	0	-	-
Riempimento a mare di progetto – Materiale non amiantifero selezionato	19	42	35,8	0	0	-	-

Il materiale potenzialmente amiantifero, che costituirà circa il 70% dell'intera colmata, sarà estratto mediante scavo meccanico con TBM. Non conoscendo in questa fase di progettazione le caratteristiche meccaniche dello stesso, è stata assunta nelle analisi una

⁸ I pedici 'k' e 'd' riportati in Tabella 7-1 individuano rispettivamente i valori caratteristici e di progetto dei parametri di resistenza dei materiali, ottenuti applicando ai parametri caratteristici i coefficienti riduttori indicati dalle NTC 2008.

distribuzione granulometrica di riferimento compresa fra quelle riportate in Figura 7.1, relative a materiali estratti mediante tecniche di scavo analoghe a quelle previste nel caso in esame.

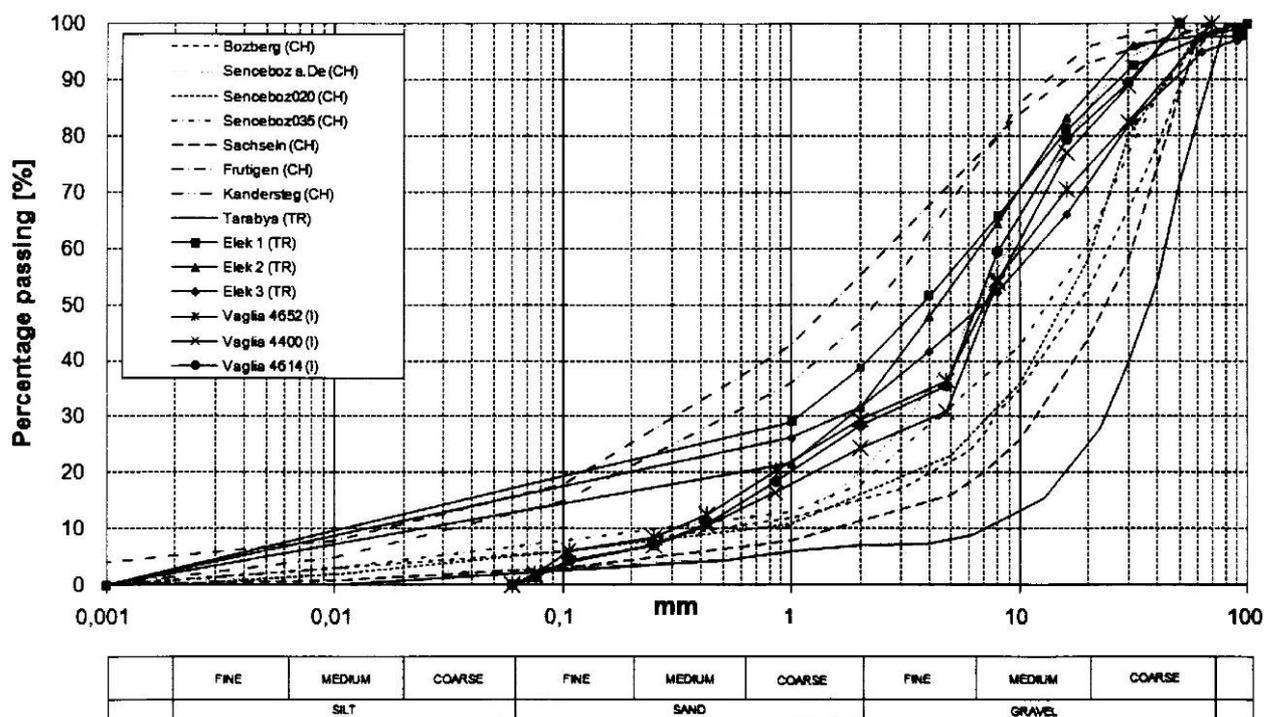


Figura 7.1 - Distribuzioni granulometriche di riferimento per la stima dei parametri geotecnici del materiale potenzialmente amiantifero di smarino.

Dall'analisi di tali granulometrie, ricavate dalla ricerca bibliografica (Thalman-Suter, 1999⁹; Olbrecht et al., 1998; Tuncdemir et al., 2008; Bilgin et al., 2009; Vanarese et al., 2006), si osserva che nello scavo con TBM da roccia, nella gran maggioranza dei casi, la percentuale di passante < 1 mm è sempre superiore al 10%, attestandosi su valori medi compresi fra il 10% ed il 30%. Si osserva, inoltre, che la percentuale di materiale inferiore ad 1 - 2 cm è estremamente variabile, in quanto è direttamente legata alle caratteristiche di resistenza della roccia e alla spaziatura dei dischi; in ogni caso si hanno generalmente valori compresi tra il 25% e l'85%. Tali risultati consentono, in prima battuta, di stimare le caratteristiche meccaniche del materiale potenzialmente amiantifero di smarino riportate in Tabella 7-1.

⁹ Politecnico di Torino - TUSC – Centro per le gallerie e lo spazio sotterraneo, "Prove comparative di condizionamento dei terreni attraversati dalla galleria "Santa Lucia" per l'applicazione dello scavo meccanizzato di gallerie con tecnologia EPB", Luglio 2010

7.2 Verifica a liquefazione

Per il materiale di riempimento della colmata allo stato attuale, non sono a disposizione informazioni sufficienti per una valutazione di dettaglio della stabilità del sito in termini di verifica a liquefazione per il materiale di riempimento. Le probabili caratteristiche granulometriche, riportate in Figura 7.1, evidenziano una distribuzione sufficientemente eterogenea, con una prevalenza di materiali ghiaiosi, tale da non ricadere interamente all'interno delle zona suscettibile di liquefazione indicata dalle NTC2008.

Per i terreni di fondazione la verifica è stata eseguita valutando la resistenza a liquefazione del terreno mediante correlazioni empiriche basate su:

- prove penetrometriche statiche (CPT)
- prove penetrometriche dinamiche (SPT)

I risultati ottenuti sono stati ricavati per valori dell'accelerazione a_{max} pari a 0,176g e per una magnitudo momento pari a 5,2, stimata sulla base dei dati di disaggregazione della pericolosità sismica riportati sul sito INGV. I risultati ottenuti evidenziano valori generalmente superiori a 1,25, valore limite suggerito dall'Eurocodice EC8 [EN 1998-5, 2005], ed in ogni caso maggiori o uguali a 1.

7.3 Verifica opere di conterminazione

In campo geotecnico, la Normativa vigente (NTC 2008) impone che i cassoni in progetto, appartenenti alla categoria "Opere di sostegno a gravità" (cfr. §6.5.3.1.1), debbano soddisfare le verifiche di sicurezza in campo statico e sismico con riferimento ai seguenti Stati Limite (SLU):

- Collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno (SLU GEO);
- Scorrimento sul piano di posa (SLU GEO);
- Ribaltamento (SLU EQU);
- Stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno (SLU GEO).

Sono state considerate 3 sezioni rappresentative, denominate Sezione A, Sezione B e Sezione C.

La verifica di collasso dell'insieme fondazione-terreno relativa ai cassoni in progetto è stata effettuata con riferimento a due scenari:

- Scenario 1 Realizzazione dei cassoni di sostegno costituenti l'opera di conterminazione, in assenza del riempimento a mare a tergo degli stessi.
- Scenario 2 Geometria finale di progetto, completa di cassoni di sostegno e riempimento a mare a tergo degli stessi.

Per le verifiche di scorrimento e ribaltamento dei cassoni di conterminazione, si è fatto riferimento esclusivamente allo scenario più critico, ovvero lo Scenario 2.

Sono state identificate diverse condizioni di carico per il moto ondoso, riportate nella seguente figura.

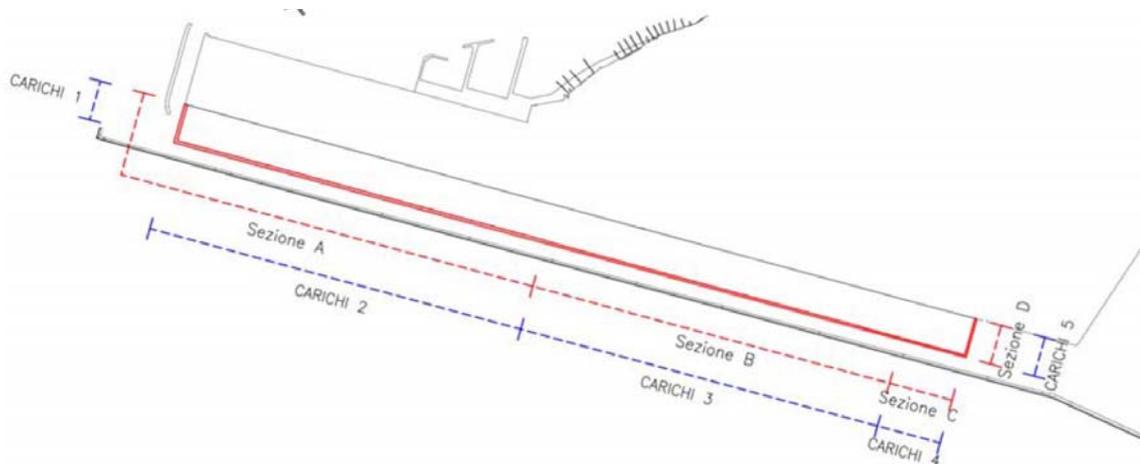


Figura 7.2 - Planimetria con l'indicazione delle sezioni tipo dei cassoni e dei relativi carichi di moto ondoso

Per lo Scenario 1 la condizione di moto ondoso più critica è quella corrispondente alla cresta dell'onda, mentre per lo Scenario 2 è quella di cavo dell'onda.

Sono state analizzate le seguenti condizioni di verifica:

- Condizioni statiche: tempo di ritorno dell'onda significativa pari a 10 anni per lo Scenario 1 (fase provvisoria) e 200 anni per lo Scenario 2 (fase di esercizio di lungo termine).
- Condizioni sismiche (azioni sismiche come da Normativa Italiana, corrispondenti ad un periodo di ritorno $T = 1898$ anni): tempo di ritorno dell'onda significativa pari a 10 anni.

Dai risultati ottenuti si evince che tutte le verifiche imposte dalla Normativa vigente (NTC 2008) in condizioni statiche e sismiche (lungo termine) risultano superate, come illustrato nella seguente tabella.

Verifica	Scenari	Sezione	F.S.-STATICO	F.S.-SISMICI	F.S.-LIMITE NTC 2008
Collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno (SLU GEO)	Scenario 1	Sezione A	1,30	-	1,00
		Sezione B	1,29	-	1,00
		Sezione C	1,20	-	1,00
	Scenario 2	Sezione A	1,10	1,14	1,00
		Sezione B	1,14	1,12	1,00
		Sezione C	1,13	1,12	1,00
Collasso per instabilità globale (SLU GEO)	Scenario 2	Sezione A	1,10	1,14	1,10
		Sezione B	1,14	1,12	1,10
		Sezione C	1,13	1,12	1,10
Scorrimento (SLU GEO)	Scenario 2	Sezione A	1,21	1,00	1,00
		Sezione B	1,61	1,18	1,00
		Sezione C	1,58	1,35	1,00
Ribaltamento (SLU EQU)	Scenario 2	Sezione A	2,94	2,71	1,00
		Sezione B	3,59	2,87	1,00
		Sezione C	3,62	2,95	1,00

Tabella 7-2 - Fattori di sicurezza calcolati per le verifiche di sicurezza di tipo geotecnico imposte dalla normativa per il progetto di un'opera di sostegno.

Per le verifiche di stabilità globale si riporta il valore medio fra il fattore di sicurezza calcolato applicando il Metodo di Morgenstern e Price e quello ottenuto adottando il metodo semplificato proposto da Bishop.

Nel seguito si riportano alcune considerazioni in merito agli accorgimenti da adottare, in fase esecutiva, al fine di incrementare i margini di sicurezza relativi alla stabilità dell'opera in progetto:

- In presenza di spessori consistenti (> 1 m) di materiali fini aventi scadenti caratteristiche meccaniche depositati sul fondale occorre prevedere il dragaggio di tali materiali in modo tale che lo scanno di fondazione dei cassoni sia realizzato al di sopra dei primi strati sabbiosi consistenti riscontrabili in sito. Al fine di riscontrare l'eventuale presenza di tali depositi superficiali, si raccomanda l'esecuzione di prove penetrometriche prima della realizzazione dello scanno.
- In fase di progettazione esecutiva, si suggerisce di effettuare prove in sito e di laboratorio al fine di verificare le ipotesi effettuate in questa sede sul comportamento meccanico della formazione di sabbia limosa costituente la base d'appoggio dello scanno dei cassoni di conterminazione. In particolare, occorre verificare la capacità di drenaggio di tali materiali in presenza di carichi ciclici aventi frequenza analoga a quella dei carichi trasmessi dal moto ondoso.
- E' bene prevedere che la messa in opera dei cassoni avvenga almeno in due fasi, con un riempimento iniziale non superiore alla metà del volume totale previsto. In questo modo il processo di consolidazione dei materiali a grana fine di fondazione determinerà il raggiungimento di valori di resistenza al taglio non drenata superiori a quelli iniziali, incrementando il margine di sicurezza dell'opera.

7.4 Calcolo dei cedimenti e verifiche agli stati limite di esercizio (sle) incluse le strutture in adiacenza

L'analisi dei cedimenti è stata effettuata mediante un modello agli elementi finiti bidimensionale, implementato mediante il software di calcolo Plaxis v8.6, rappresentante una sezione trasversale tipologica dell'opera in progetto.

Successivamente, la realizzazione delle opere in progetto è stata simulata come segue:

1. Realizzazione dello scanno di fondazione del cassone;
2. Realizzazione parziale del cassone, con riempimento dello stesso sino a metà dei volumi totali previsti di sabbia selezionata;
3. Consolidazione per i tre mesi successivi;

4. Completamento del cassone;
5. Consolidazione per i 12 mesi successivi;
6. Realizzazione del riempimento a mare a tergo dei cassoni con materiale potenzialmente amiantifero;
7. Consolidazione per i 20 mesi richiesti per la realizzazione del riempimento con materiale potenzialmente amiantifero;
8. Realizzazione del riempimento a tergo dei cassoni con materiale non amiantifero;
9. Consolidazione per i 13 mesi richiesti per la realizzazione del riempimento con materiale non amiantifero;
10. Consolidazione per step successivi di 3 mesi, 6 mesi, 1 anno, 2 anni, 5 anni a partire dal completamento dell'opera a mare.

Poiché la realizzazione delle opere in esame è stata simulata con una fase di calcolo in condizioni non drenate, la consolidazione durante la fase di costruzione (fasi 5, 7 e 9) è stata valutata adottando un tempo di analisi pari alla metà di quello di costruzione, ipotizzando che l'incremento di carico avvenga linearmente.

Nel seguito (Tabella 7-3 e Tabella 7-4), per ciascuna delle opere antropiche rilevanti riscontrate nell'area oggetto di studio, sono riportati gli spostamenti in direzione verticale ed orizzontale, stimati ai punti indicati in Figura 7.3 e Figura 7.4 e corrispondenti a:

- Punto A: cassoni della diga foranea;
- Punto B: cassoni di conterminazione del riempimento a mare di progetto;
- Punto C: cassoni della banchina aeroportuale;
- Punto D: terreno di fondazione al di sotto del riempimento a mare di progetto;
- Punti E e F: estremi della pista aeroportuale.

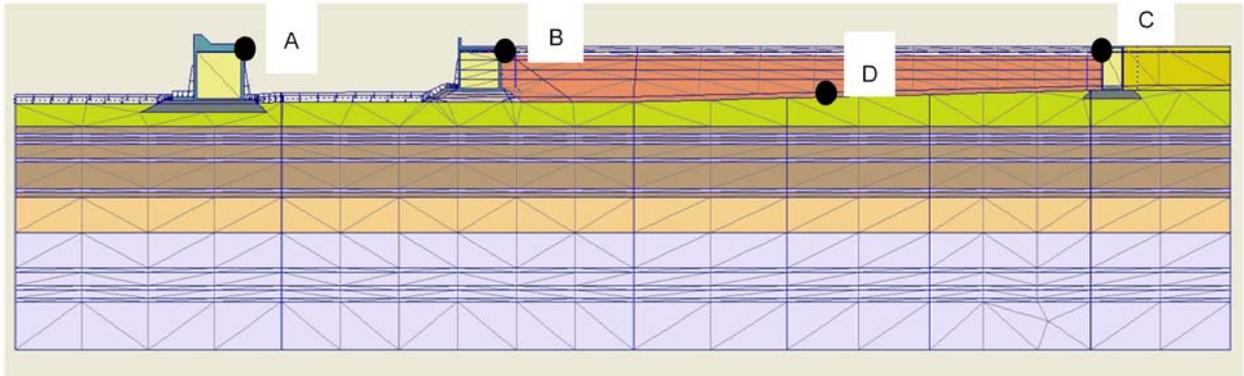


Figura 7.3 - Punti di riferimento per il calcolo degli spostamenti in corrispondenza delle opere rilevanti presenti nell'area di progetto.

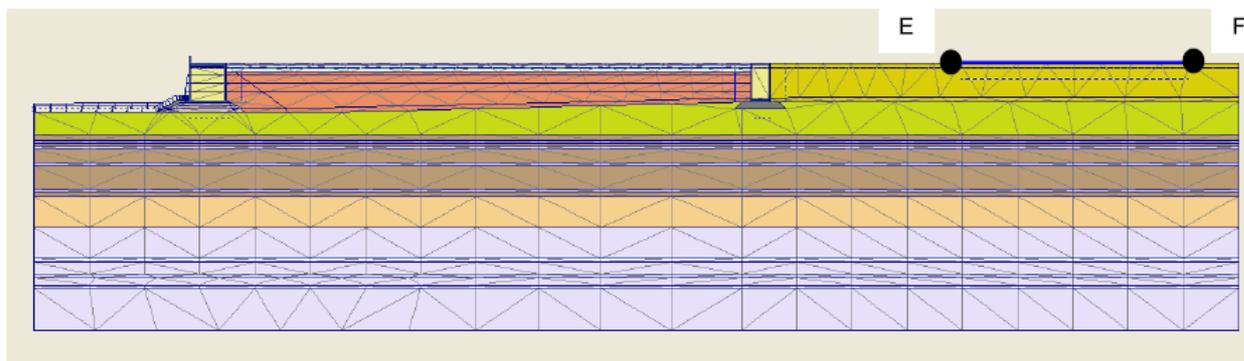


Figura 7.4 - Punti di riferimento per il calcolo degli spostamenti in corrispondenza delle opere rilevanti presenti nell'area di progetto.

Fase	Punto A		Punto B		Punto C		Punto D	Punto E	Punto F
	u _x * [cm]	u _y [cm]	u _x * [cm]	u _y [cm]	u _x * [cm]	u _y [cm]	u _y [cm]	u _y [cm]	u _y [cm]
2 – Riempimento di metà cassone di conterminazione	-	-	-5,4	20,7	-	-	-	-	-
3 – Consolidazione	-	-	-0,8	6,1	-	-	-	-	-
4 – Completamento cassone di conterminazione	-	-	-6,1	18,8	-	-	-	-	-
5- Consolidazione	-	-	-1,3	5,3	-	-	-	-	-
6 – Riempimento con materiale potenzialmente amiantifero	5,4	0,0	-1,9	12,1	7,8	7,7	29,7	0,0	0,0
7 – Consolidazione	-3,0	2,4	-12,5	15,3	5,2	14,1	27	1,9	0,8
8 – Riempimento con materiale non amiantifero	2,2	0,0	1,4	4,8	2,8	4,4	11,9	0,0	0,0
9 - Consolidazione	-1,2	0,9	-4,5	6,2	1,8	6,9	11,5	0,8	0,3
Cedimento totale	3,4	3,3	-31,1	89,3	17,6	33,1	80,1	2,7	1,1

*Sono assunti come positivi gli spostamenti in direzione Sud – Nord.

Tabella 7-3 - Spostamenti delle opere antropiche rilevanti nell'area oggetto di studio durante le fasi di lavorazione.

Tempi di consolidazione	Punto A		Punto B		Punto C		Punto D	Punto E	Punto F
	u _x * [cm]	u _y [cm]	u _x * [cm]	u _y [cm]	u _x * [cm]	u _y [cm]	u _y [cm]	u _y [cm]	u _y [cm]
3 mesi	0,0	0,0	-0,4	0,5	0,0	0,6	1,0	0,8	0,3
6 mesi	-0,3	0,0	-0,7	0,9	0,2	1,0	1,7	0,8	0,3
1 anno	-0,5	0,2	-1,0	1,5	0,4	1,6	2,7	0,8	0,2
2 anni	-0,8	0,4	-1,4	2,4	0,7	2,3	4,1	0,9	0,2
5 anni	-1,4	1,1	-1,6	3,9	1,2	3,2	5,8	1,5	0,3
Cedimento totale (realizzazione opere + 5 anni di consolidazione)	2,0	4,4	-32,7	93,2	18,8	36,3	85,9	4,2	1,4

Tabella 7-4 - Spostamenti delle opere antropiche rilevanti nell'area oggetto per step di consolidazione successivi al termine della realizzazione delle opere stesse.

7.5 Verifiche di stabilità e calcolo dei cedimenti degli argini interni alla colmata

Nel seguente paragrafo si descrivono i risultati delle verifiche condotte sugli argini, che delimitano le due “celle di gestione delle acque” da realizzare all’interno della colmata.

Con riferimento alla Normativa vigente (NTC 2008), gli argini interni appartengono alla categoria “Opere di materiali sciolti e fronti di scavo” (cfr. § 6.8) e debbono soddisfare, in campo statico e sismico, le verifiche di stabilità globale dell’insieme manufatto-terreno di fondazione (SLU GEO).

Sono state analizzate le seguenti condizioni di verifica:

- a) Condizioni statiche;
- b) Condizioni sismiche (azioni sismiche come da Normativa Italiana, corrispondenti ad un periodo di ritorno $T = 332$ anni).

Le verifiche di stabilità sono state condotte con riferimento al modello geometrico riportato in Figura 7.5 e adottando il modello proposto da Morgestern e Price.

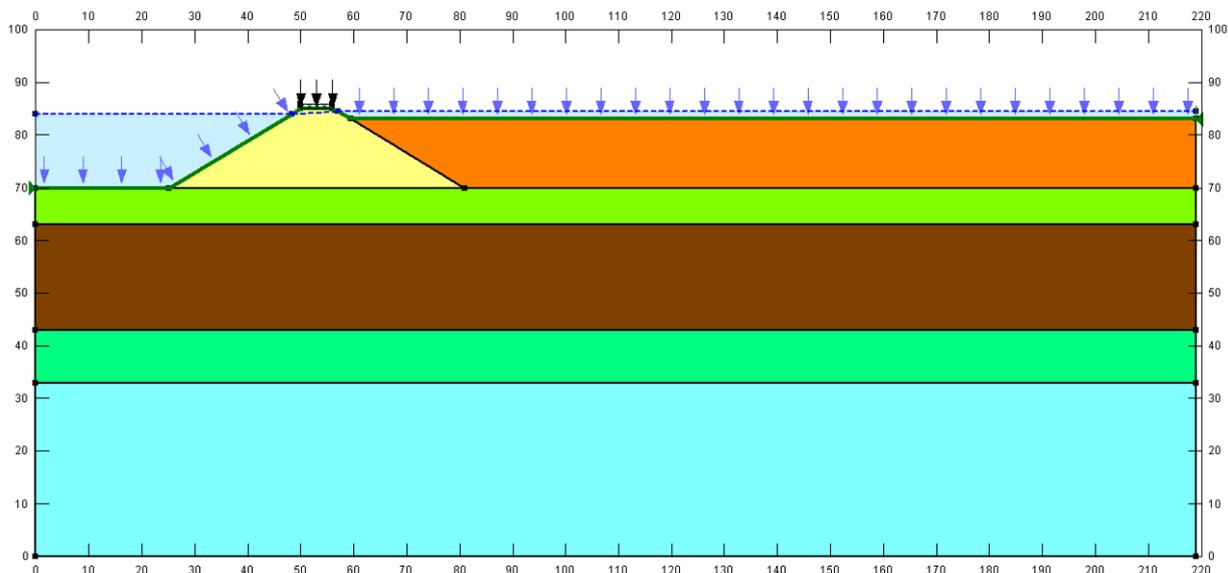


Figura 7.5 - Modello geometrico di riferimento per le analisi di stabilità

I fattori di sicurezza relativi ai cinematismi, riportati in Tabella 7-5, e risultano maggiori del margine di sicurezza imposto dalla Normativa vigente ($F.S. = 1,1$). Pertanto, le verifiche di sicurezza in campo statico e sismico possono ritenersi superate.

Verifica	F.S.
Condizioni statiche (Morgestern e Price)	1,16
Condizioni sismiche (Morgestern e Price)	1,11

Tabella 7-5 - Fattori di sicurezza al collasso per instabilità globale - carico limite dell'insieme fondazione
– terreno con riferimento agli argini interni alla colmata.

L'analisi dei cedimenti è stata effettuata mediante un modello agli elementi finiti bidimensionale, implementato mediante il software di calcolo Plaxis v8.6, rappresentante una sezione longitudinale tipologica dell'opera in progetto. La realizzazione degli argini interni è stata simulata con riferimento alla cella di gestione delle acque indicata con la sigla W2 e alle vasche di raccolta A2 e A3.

La realizzazione delle opere in progetto è stata simulata come segue:

1. Realizzazione degli argini interni;
2. Consolidazione per i 100 giorni successivi (periodo richiesto per la realizzazione degli argini);
3. Consolidazione per gli otto mesi successivi;
4. Riempimento con materiale potenzialmente amiantifero della vasca di raccolta A2;
5. Consolidazione per i 651 giorni successivi;
6. Riempimento con materiale potenzialmente amiantifero della vasca di raccolta A3 e contemporaneo riempimento con materiale non amiantifero della vasca di raccolta A2;
7. Consolidazione i 20 mesi successivi;
8. Completamento del riempimento con materiale non amiantifero delle vasche di raccolta A2 e A3 e della cella di gestione delle acque W2;
9. Consolidazione per i successivi 7 mesi.

Nel seguito sono riportati gli spostamenti in direzione verticale, stimati mediante il software Plaxis v8.6 in corrispondenza dei punti indicati in Figura 7.6

.

Fase	Cedimenti [cm]				
	Vasca A3 (Punto A)	Argine 1 (Punto B)	Cella W2 (Punto C)	Argine 2 (Punto D)	Vasca A2 (Punto E)
Fase 1	-	36.6	-	37	-
Fase 2	-	9.2	8.5	9.1	-
Fase 3	-	2.1	2.3	2.1	-
Fase 4	-	0.0	0.0	0.0	27.0
Fase 5	-	2.8	3.8	9.8	25.1
Fase 6	26.5	0.0	0.0	0.0	4.9
Fase 7	25.3	9.7	4.2	5.7	8.7
Fase 8	7.7	10.0	39.0	7.8	1.8
Fase 9	11.2	13.8	15.7	11.9	6.5
Cedimento totale ad opera eseguita	70.7	84.2	73.5	83.4	74.0

Tabella 7-6 – Cedimenti indotti dalle opere in progetto

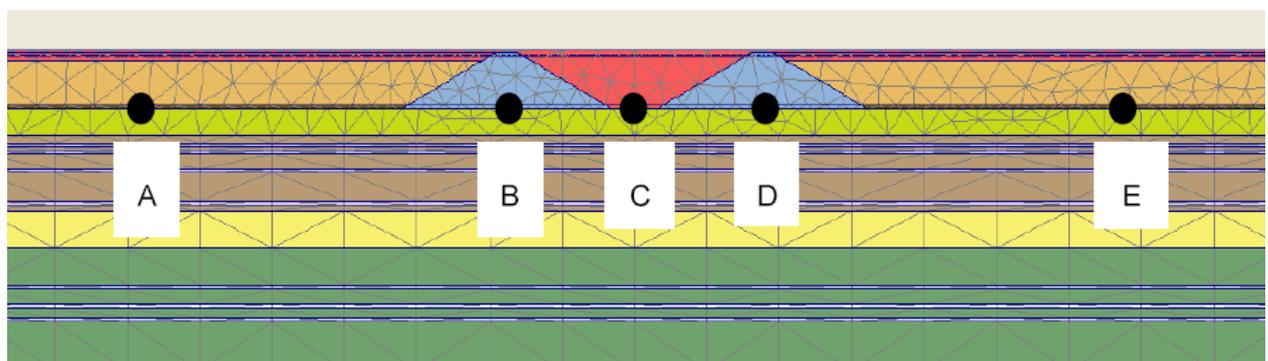


Figura 7.6 - Punti di riferimento per il calcolo degli spostamenti.

7.6 Fenomeni di compenetrazione

Come riscontrato dalle indagini geognostiche, il fondale è costituito, per spessori variabili da 1 a 4 m, da materiali fini, a bassa consistenza. E' pertanto atteso un fenomeno di compenetrazione sia in fase di realizzazione dello scanno di fondazione dei cassoni, sia durante il deposito dello smarino da galleria. Tale fenomeno è fortemente dipendente dalla granulometria del materiale depositato. In particolare, nel caso del materiale grossolano di costruzione dello scanno, si possono prevedere fino a 2 m di compenetrazione; nel caso dello smarino da galleria, caratterizzato da una granulometria più fine, la profondità di compenetrazione può essere preliminarmente stimata pari a 1 m. Tale fatto quindi si tradurrà con tempi sostanzialmente immediati in incrementi di volume per la realizzazione dello scanno di fondazione.

Alla luce di tali considerazioni, la stima dei volumi del materiale di colmata deve tener conto di:

- compenetrazione con il fondale, pari a 1 m circa;
- cedimento di consolidazione primaria, pari a 85 cm circa, che si svilupperà per il 90% nell'arco di 2 anni.

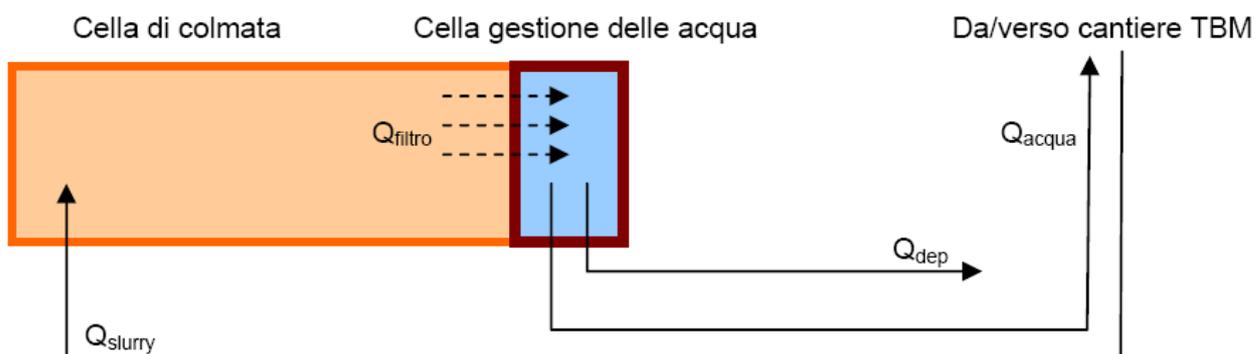
Inoltre, occorre sottolineare che al termine della consolidazione primaria si verificherà un cedimento di consolidazione secondaria stimabile pari a 18 cm circa, valutato per i 100 anni di vita utile dell'opera.

8 ASPETTI AMBIENTALI - IL CICLO DELL'ACQUA E L'IMPIANTO DI DEPURAZIONE

8.1 Il ciclo dell'acqua

Il conferimento dello slurry contenente terre e rocce da scavo con un contenuto di amianto inferiore ai limiti del D.Lgs. 152/06 all'interno delle celle di colmata (2078 m³/h) causa un conseguente deflusso di acqua pari a quello scaricato, dalle stesse celle verso una cella intermedia e delimitata da argini, denominata "cella di gestione delle acque" (vedi Figura 8.1)

Tale elemento risulta di fondamentale importanza all'interno del presente progetto in quanto è attraverso tale cella che si regola l'intero ciclo dell'acqua: da questa infatti verrà prelevata sia la portata di acqua necessaria alla miscelazione dello slurry (2000 m³/h) che quella in surplus da scaricare a mare, previo trattamento (437,5 m³/h).



		TUBAZIONI		
		q.tà	materiale	Diametro [mm]
Q_{slurry}	2.078 m ³ /h	1+1	Acciaio	450
Q_{filtro}	2.078 m ³ /h	6+1	PEAD corr.	DN/ID 400
Q_{acqua}	2.000 m ³ /h	1	Acciaio	450
Q_{dep}	437,5 m ³ /h	1	PEAD PE100	400

Figura 8.1 - Schema e portate (su base 16 ore) del ciclo delle acque

La quota parte di acqua inviata alla cella di gestione delle acque, corrispondente alla portata di materiale "solido" scaricato (437,5 m³/h nelle 16 ore di attività), rappresenta un surplus da scaricare a mare (Q_{dep}). Lo scarico dovrà essere preceduto da idoneo impianto di depurazione

che sarà alimentato da una linea dedicata. Tale linea di pompaggio preleverà l'acqua dalla cella di gestione delle acque e dopo un percorso di circa 4.000 m alimenterà l'impianto di depurazione. L'impianto avrà un funzionamento continuo nelle 24 ore e quindi la portata di alimentazione, valutata su una durata giornaliera, risulta pari a 292 m³/h (circa 81 l/s).

Tale portata è realizzata da 1+1 pompa sommergibile (una attiva e una di riserva) con installazione "a secco" su idoneo skid, collocato sui cassoni di conterminazione, in corrispondenza della cella di gestione delle acque: tale soluzione, avente anche la possibilità di una eventuale chiusura per l'insonorizzazione, risulta ottimale anche in funzione della realizzazione di una seconda cella di gestione delle acque, nei pressi della piarda provvisoria in quanto di facile movimentazione, gestione e manutenzione.

La tubazione di aspirazione in materiale plastico (PEAD PE100 PN10 DN300, \cong 5,00 m) sarà fissata al bordo del cassone e avrà la bocca di pescaggio ad una quota pari a circa -1.00 m s.m.m.

Le due stazioni di sollevamento (una in scorta all'altra) presenteranno, per sicurezza, due mandate distinte costituite da tubazioni in PEAD PE100 PN10 DN400 aventi lunghezza pari a 4.000 m ciascuna. Tale lunghezza risulta necessaria per giungere all'impianto di trattamento previsto presso l'area di cantiere, in destra Polcevera; lo sviluppo delle condotte di mandata seguirà per un certo tratto quello delle tubazioni verso le stazioni di rilancio che rimandano la portata di acqua prelevata dalla "cella di gestione delle acque" al cantiere stradale, per la realizzazione della miscela (*slurry*).

Il presente schema di pompaggio richiede che ciascuna pompa a servizio del depuratore sia in grado di inviare una portata pari a 81 l/s con una prevalenza totale di circa 10,00 m, somma della prevalenza geodetica (2,50 m) e delle perdite di carico distribuite e concentrate sia in aspirazione che in mandata.

Ne risulta che la potenza assorbita dall'impianto di pompaggio per l'invio delle acque a depurazione è stimata essere pari a circa 12 kW.

Il gruppo di pompaggio ad azionamento elettrico dovrà prevedere anche la presenza di un gruppo elettrogeno di continuità a diesel in grado di garantirne l'alimentazione: tale apprestamento risulta necessario soprattutto per le prime fasi di cantiere, quando cioè la disponibilità di alimentazione elettrica dalla rete risulta non essere disponibile.

8.2 L'impianto di depurazione

Il progetto prevede che tutte le acque contenute della colmata e venute a contatto con i materiali versati siano soggette a trattamento depurativo prima dello scarico in mare.

L'impianto di trattamento sarà realizzato prima di cominciare i versamenti e verrà dismesso solo valle del completamento della colmata. La zona prescelta per la sua realizzazione è l'area di cantiere di Cornigliano situata in destra Polcevera, che costituirà anche il recapito finale delle acque trattate.

La selezione del tipo di processo depurativo cui sottoporre le acque è stata effettuata considerando quali tipi di sostanze potrebbero essere rilasciate dai materiali scavati:

- metalli pesanti, con possibile prevalenza di alcuni elementi (ad es. cobalto, cromo ecc.) presenti in concentrazioni elevate nelle rocce attraversate dalle gallerie;
- fibre di amianto;
- BOD, dovuto essenzialmente alle schiume impiegate per fluidificare i materiali durante lo scavo con TBM.

In considerazione della natura dei materiali si è optato per un impianto di tipo chimico fisico, in cui però si è introdotta una fase di filtrazione molto più spinta a seguito della possibile presenza di fibre.

Sia il tipo di processo che il dimensionamento dell'impianto sono stati definiti con l'obiettivo di garantire che l'effluente rispetti i limiti per lo scarico in acque marine (e di transizione) ai sensi della legislazione vigente (D.Lgs. 152/06 e s.m.i.).

8.2.1 Dati di progetto

L'impianto è stato dimensionato per il trattamento di una portata di acque di scarico pari a 450 mc/h per 16 h/d, che corrisponde ad un quantitativo giornaliero di 7.200 mc.

Tale valore corrisponde alle quantità di solidi che viene giornalmente scaricata nell'interno della colmata.

In relazione alla particolare lavorazione di perforazione per la realizzazione dei tunnel mediante TBM, qualitativamente le acque reflue prodotte conterranno solidi sospesi, metalli, e sostanze organiche di sintesi derivanti dagli additivi utilizzati per ottimizzare il lavoro delle frese. Potranno essere presenti inoltre fibre di amianto, in quanto nella perforazione della

galleria da cui origina il materiale scaricato, saranno interessate litologie potenzialmente amiantifere.

L'acqua in ingresso all'impianto viene prelevata dalle vasche W1 e W2 situate all'interno della colmata che si andrà a realizzare a fianco dell'aeroporto di Genova, acqua decantata e prefiltrata per attraversamento degli argini di contenimento.

8.2.2 Schema di processo

Il processo depurativo prevede un trattamento iniziale di tipo chimico-fisico ,di chiariflocculazione, seguito da una serie di filtrazioni delle acque in uscita ed infine da un passaggio attraverso un filtro a carboni attivi per il finissaggio finale.

Per le acque in ingresso sono previsti i seguenti passaggi:

- Chiariflocculazione attraverso il dosaggio di reattivi chimici (cloruro ferrico, idrossido di sodio, polielettrolita)
- Separazione acqua/fanghi in decantatori lamellari
- Ultrafiltrazione delle acque surnatanti
- Finissaggio su carboni attivati

In parallelo allo schema acque è previsto una linea fanghi che prevede il trattamento dei fanghi di origine chimico-fisica prima del loro smaltimento definitivo

8.2.3 Descrizione dell'impianto

L'impianto si estende per una superficie di circa 1600 metri quadri e si compone di diverse unità nel seguito descritte. L'impianto sarà realizzato su una platea di calcestruzzo ed in parte sarà dotato di copertura, con altezza utile pari a 5 m.

La parte coperta comprende il sistema di vasche costituenti l'unità di chiariflocculazione , la sezione di ultrafiltrazione e i locali servizi ove sono situati anche i quadri elettrici per il controllo dell'esercizio dell'impianto.

Lo schema planimetrico dell'impianto è riportato nella figura seguente.

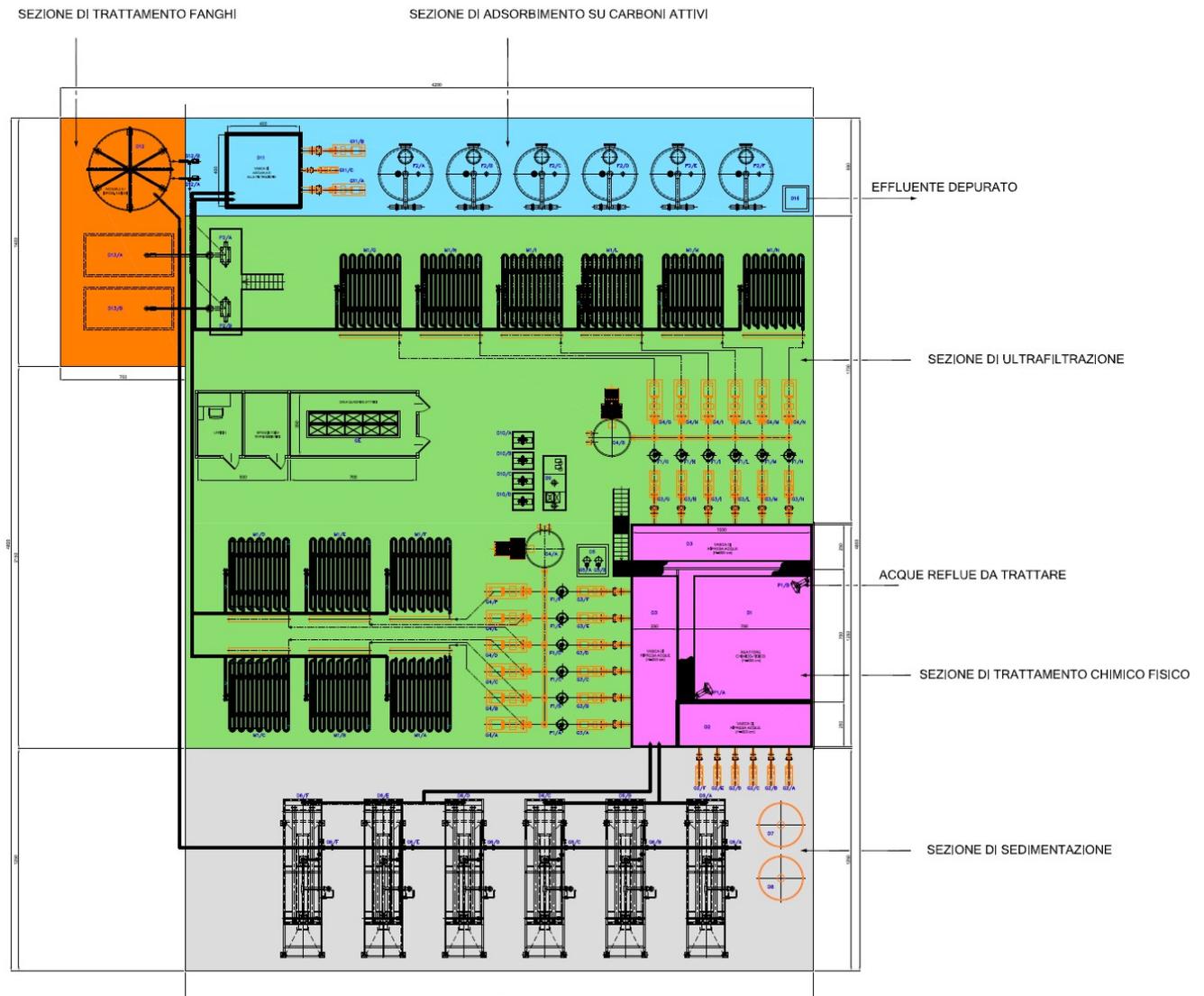


Figura 8.2 - Schema planimetrico dell'impianto di trattamento; sono evidenziate le principali unità

Sezione di trattamento chimico-fisico (chiariflocculazione)

Le acque da trattare vengono pompate all'impianto in una prima vasca (D1), delle dimensioni di 7,5 x 7,5 x H3,0 m, che funge da reattore chimico-fisico.

La capacità utile del reattore di 140 mc permette di avere un tempo di ritenzione idraulico, con il riciclo del concentrato proveniente dalla successiva sezione di ultrafiltrazione, di ca 12 min.

Nel reattore vengono dosati i seguenti reattivi:

- cloruro ferrico, quale reagente coagulante nella destabilizzazione dei colloid

- idrossido di sodio (soda caustica), quale reagente neutralizzante-alcalinizzante per la precipitazione di metalli pesanti (ferro, zinco, nichel, rame, ecc.) a altri microinquinanti.

Il cloruro ferrico è stoccato in un serbatoio da 50 m³ provvisto di camicia di contenimento e viene dosato in vasca, in parallelo al funzionamento della pompa di sollevamento, mediante n. 2 pompe dosatrici, una di riserva all'altra, con interscambio di lavoro.

L'idrossido di sodio è stoccato in un serbatoio 50 m³ provvisto di camicia di contenimento e viene dosato in vasca tramite n. 2 pompe dosatrici, una di riserva all'altra, con interscambio di lavoro. Il dosaggio in questo caso è proporzionale al valore di pH misurato in vasca da una apposita sonda, comunque non superiore ad un quantitativo predeterminato che verrà ottimizzato durante le fasi operative di esercizio.

I reattivi vengono adeguatamente dispersi nell'acqua tramite agitazione, effettuata da n. 2 miscelatori sommersibili.

Attraverso uno stramazzo di troppo pieno terminale, le acque passano quindi in una seconda vasca di presa (D2), dalla quale n. 6 elettropompe centrifughe provvedono al loro prelievo ed invio ad altrettanti sedimentatori lamellari.

Nelle tubazioni di trasferimento ai decantatori viene dosata una soluzione acquosa di polielettrolita anionico quale reagente che ingrossa le dimensioni dei fiocchi di fango, aumentandone la velocità di sedimentazione. Il polielettrolita viene adeguatamente preparato in una stazione automatica di dissoluzione/preparazione, della potenzialità di 2 mc/h, e dosato in linea tramite pompe a diaframmi.

Sezione di sedimentazione

I n. 6 sedimentatori lamellari, in vasca monoblocco in carpenteria metallica, sono costruttivamente identici e possono garantire il trattamento della portata in ingresso complessiva di 450 mc/h anche nel caso di by-pass di una unità nel caso di pulizia/manutenzione.

La modularità e l'esecuzione prefabbricata permettono rapidità nei montaggi/smontaggi e possibile successivo riutilizzo a fine cantiere.

I pacchi lamellari sono del tipo a condotti tubolari in polistirene rigido additivato con carbon black a protezione dai raggi U.V., completi di telaio di contenimento in AISI 304.

Nei sedimentatori i fanghi prodotti dal trattamento di chiariflocculazione si depositano sul fondo tronco-conico, e vengono prelevati in continuo da elettropompe per l'invio alla sezione di disidratazione.

Le acque chiarificate scivolano sulla superficie in una canalina con profilo Thompson e, attraverso apposite condotte aeree a gravità, vengono convogliate alla successiva sezione di ultrafiltrazione.

Sezione di ultrafiltrazione

Le acque dai sedimentatori pervengono in una vasca di ripresa (D3) in carpenteria metallica avente una configurazione ad L con superficie complessiva di 50 mq e altezza 3 m.

Lungo il perimetro della vasca, dal fondo pescano n. 12 elettropompe centrifughe che alimentano altrettante linee di ultrafiltrazione delle acque.

Funzione della sezione di ultrafiltrazione è quella di separare i solidi sospesi e le fibre di amianto ancora disperse nella massa d'acqua. Le dimensioni dei pori delle membrane, dell'ordine di 0,1 μm , sono tali da trattenere nell'impianto le fibre di amianto, che presentano dimensioni di un ordine di grandezza superiore; tramite il riciclo in testa nel reattore chimico-fisico del concentrato ottenuto in uscita dalle membrane, si provvede poi a rimuovere le fibre per chiariflocculazione.

L'utilizzo di membrane esterne al reattore (configurazione side-stream) consente poi di minimizzare il fouling e quindi le operazioni di lavaggio, e limitare al massimo eventuali intasamenti, cosa che le membrane di micro e ultrafiltrazione sommerse non sono in grado di garantire.

Le 12 linee di ultrafiltrazione, costruttivamente identiche, sono composte ciascuna da:

- n. 1 pompa centrifuga di prealimentazione
- n. 1 filtro a cestello automatico
- n. 1 pompa di alimentazione/lavaggio membrane
- n. 84 membrane di ultrafiltrazione di tipo tubolare in materiale polimerico, collegate in serie ed in parallelo
- n. 1 linea di scarico concentrato
- n. 1 linea di scarico permeato

- strumentazione di controllo dei parametri di pressione e portata volumetrica

Sono inoltre presenti n. 2 linee di lavaggio membrane in ciclo chiuso, ognuna asservente una singola linea, dotate di automatismi per:

- la preparazione in automatico delle soluzioni di lavaggio con il dosaggio di reattivi da cisternette da 1 mc, riempimento di acqua di rete, riscaldamento della miscela di lavaggio tramite resistenze elettriche. I reattivi di lavaggio, in numero di 3 (reattivo ossidante, reattivo basico, reattivo acido), vengono dosati tramite pompe specifiche.
- l'esecuzione in automatico dei cicli di lavaggio con sezionamento della linea di membrane da lavare, lavaggio, scarico soluzione esausta.

L'acqua in uscita, ultrafiltrata (permeato), viene raccolta in una vasca di rilancio per essere quindi inviata al trattamento finale di adsorbimento su carbone attivato.

Sezione di adsorbimento su carbone attivato

Per la rimozione delle sostanze organiche disciolte residue (es. tensioattivi presenti negli additivi utilizzati per lo scavo con la fresa meccanica scudata) si prevede una sezione di finissaggio mediante adsorbimento su carboni attivati.

Dalla vasca di ripresa (D11), le acque ultrafiltrate vengono prelevate da n. 2 elettropompe ed alimentate in n. 6 filtri a carbone attivato in carpenteria metallica da 3 m di diametro, collegati in parallelo.

La carica complessiva di carbone attivato permette di avere un tempo di contatto di ca 10 min; nel caso in cui un filtro sia in by-pass per la sostituzione della carica o per controlavaggio con acqua l'impianto può lavorare con n. 5 filtri ed un tempo di contratto di ca 8 min.

I filtri sono dotati di trasduttore per la misura delle perdite di carico e di valvole per l'effettuazione delle fasi di lavoro e di controlavaggio. Se nel singolo filtro non aumenterà la pressione fino al massimo valore non sarà necessario effettuare il controlavaggio, garantendo così un'autonomia maggiore in quanto non si avrà il mescolamento degli strati di carbone differentemente esauriti.

L'eventuale controlavaggio si effettua con acqua, prelevata dalla vasca di rilancio delle acque ultrafiltrate in testa mediante una pompa specifica; gli eluati di controlavaggio vengono inviati nel reattore chimico-fisico in testa all'impianto.

L'esaurimento del carbone attivo verrà stabilito in base alle analisi effettuate nei campioni in ingresso ed in uscita delle colonne di adsorbimento.

Le acque filtrate vengono quindi inviate allo scarico in acque superficiali nel rispetto dei limiti richiesti dalla Tabella 3 dell'Allegato 5 alla Parte Terza del Decreto Legislativo 152/2006 e s.m.i..

Sezione di trattamento dei fanghi

Il fango prodotto dal trattamento di chiariflocculazione delle acque situato in ingresso all'impianto, viene prelevato dal fondo dei sedimentatori lamellari e pompato in un serbatoio di accumulo/ispessimento in carpenteria, di forma cilindrica con fondo tronco-conico, avente diametro di 4,5 m e volume di ca 50 mc.

Le acque surnatanti vengono raccolte su una canalina perimetrale e ricircolate in testa all'impianto chimico-fisico. I fanghi ispessiti sul fondo vengono prelevati da n. 2 elettropompe monovite ed alimentati in altrettanti estrattori centrifughi per ottenere la concentrazione (disidratazione) e quindi una notevole riduzione del volume con abbattimento dei costi di smaltimento.

Nella linea di alimentazione alle centrifughe viene dosata una soluzione acquosa di polielettrolita allo scopo di aumentare la drenabilità del fango.

Le 2 macchine sono installate sopra una struttura in carpenteria metallica; il fango solido prodotto da ogni macchina esce da un bocchello di fondo e per caduta alimenta una coclea che provvede al trasferimento all'interno di un cassone scarrabile.

Da qui il fango verrà prelevato per il successivo smaltimento in discarica controllata. Il controllo della presenza di fibre di amianto nei fanghi, verificherà se i contenuti sono tali da richiedere misure specifiche di gestione e smaltimento, quali ad esempio l'utilizzo di big bags o simili per la raccolta dei fanghi prodotti, in ossequio alla legislazione specifica per i rifiuti contenenti amianto .

Comando e gestione dell'impianto

Il controllo, il comando ed il funzionamento automatizzato dell'impianto e di tutti i suoi componenti elettromeccanici sono assicurati tramite un quadro elettrico centralizzato,

completo di tutte le protezioni, i comandi e la strumentazione necessaria, per ridurre al minimo l'intervento del personale.

L'impianto è gestito da controllore logico programmabile (PLC), completo di terminale operatore grafico tipo touch-screen, per la gestione automatizzata del funzionamento.

Detto sistema permette di:

- modificare i valori strumentali di set-point e allarme;
- visualizzare allarmi, livelli, tempi di funzionamento delle pompe per la manutenzione programmata;
- implementare un eventuale sistema di supervisione e telecontrollo a distanza.

8.2.4 *La gestione dell'impianto*

L'attività gestionale dell'impianto deve essere effettuata da personale tecnicamente preparato, senza particolari requisiti, infatti le attività di taratura, registrazione e regolazione sono gestite automaticamente dal sistema di supervisione programmabile.

La gestione ordinaria può essere effettuata da un solo operatore e può essere effettuata nell'arco del normale orario di lavoro; le attività giornaliere previste sono quelle qui di seguito riportate:

- Controllo delle registrazioni degli allarmi occorsi e valutazione delle cause;
- Controllo dell'andamento dei parametri di funzionamento dell'impianto consultando lo storico disponibile sul sistema di telecontrollo;
- Verifica visiva dell'impianto e controllo dell'integrità di tutte le apparecchiature installate;
- Controllo visivo della flocculazione e della coagulazione;
- Controllo degli strumenti pH per confronto con strumento portatile;
- Controllo della quantità dei reattivi e valutazione delle scorte disponibili;
- Controllo del livello dei fanghi nel decantatore;

- Manutenzione delle varie parti dell'impianto.

A cadenza settimanale è necessario eseguire una analisi chimica per verificare la qualità delle acque in uscita dall'impianto.

9 ILLUMINAZIONE E FORNITURA DI FORZA MOTRICE ALLE STAZIONI DI POMPAGGIO

A completamento dall'intervento si prevede di realizzare un nuovo impianto elettrico a servizio esclusivo delle seguenti aree:

- Stazioni di pompaggio: sarà distribuita la forza motrice alle stazioni;
- Strada di servizio: sarà realizzato un impianto di illuminazione stradale;
- Cunicolo sotterraneo: sarà realizzato un impianto di illuminazione e di rilevazione dei fumi.

L'impianto elettrico sarà realizzato completamente ex-novo, ad eccezione di alcuni tratti di tubazione in cui saranno posati i cavi in media tensione, che risultano tuttora posati nel terreno e, come comunicato dai tecnici dell'aeroporto Cristoforo Colombo, risultano libere e sfruttabili per la posa delle nuove linee in cavo.

L'impianto prevede una nuova consegna in media tensione 15kV da parte del gestore di rete.

Saranno pertanto realizzate 3 cabine, a formare un anello in MT.

La Cabina 00, di ricevimento, non conterrà trasformatori, ma unicamente organi di protezione e manovra in MT.

La Cabina 01 conterrà 3 trasformatori::

- 2 trasformatori MT/bt 15000/690 V di potenza pari a 1600kVA ciascuno, per l'alimentazione di 7 stazioni di pompaggio;
- 1 trasformatore bt/bt 690/400V di potenza pari a 200kVA per l'alimentazione degli impianti di illuminazione stradale, del cunicolo, e dei servizi di cabina.

La Cabina 02 conterrà 3 trasformatori::

- 2 trasformatori MT/bt 15000/690 V di potenza pari a 250kVA ciascuno, per l'alimentazione di 1 stazione di pompaggio;
- 1 trasformatore bt/bt 690/400V di potenza pari a 75kVA per l'alimentazione degli impianti di illuminazione del cunicolo, e dei servizi di cabina.

La distribuzione della media tensione avverrà in tramite tubazioni in parte esistenti ed in parte di nuova posa come sopra descritto ed in parte all'interno del cunicolo sotterraneo di nuova realizzazione. Il cunicolo collegherà in particolare la Cabina 01 con la Cabina 02, mentre per la restante parte dell'anello di distribuzione in MT saranno sfruttare le tubazioni. A questo

scopo la cabina 00 di ricevimento sarà posta in posizione adiacente a quella esistente. Tutti i cavi saranno di nuova posa.

Le stazioni di pompaggio saranno 8, costituite ciascuna da 5 pompe, delle quali 1 di riserva alle 4 principali, per una potenza complessiva di 120kW per ogni stazione di pompaggio. Per contenere i costi dell'impianto garantendo comunque un buon grado di affidabilità si è scelto di impiegare pompe con tensione nominale pari a 690V, per questo la distribuzione della forza motrice avviene a 690V.

L'impianto di illuminazione a servizio della strada di servizio che costeggia la pista aeroportuale lato mare sarà realizzato con armature stradali installate su pali in acciaio di altezza pari a 9 m. Questo impianto sarà interamente alimentato a 400V/230V dal trasformatore posto in cabina 01.

L'impianto di illuminazione a servizio del cunicolo sotterraneo sarà costituito da lampade stagne, con tubi fluorescenti lineari, montate a parete. L'impianto comprende sia lampade per l'illuminazione ordinaria che per quella di emergenza, con autonomia pari a 1h. L'impianto è diviso in 2 tronchi, il primo tronco verrà alimentato dal trasformatore di "Cabina 01" ed il secondo tronco da quello di "Cabina 02".

All'interno del cunicolo saranno realizzati i cavidotti in media tensione. Al fine di monitorare i cavidotti e allertare il personale in servizio circa eventuali principi di incendio all'interno del cunicolo, sarà realizzato un impianto di rilevazione dei fumi. L'impianto sarà costituito da rilevatori ottici di fumo, centrali di comando e segnalazione.

10 LE INTERFERENZE CON L'AEROPORTO CRISTOFORO COLOMBO

La realizzazione della colmata in accosto alla piattaforma aeroportuale esistente deve considerare anche le interferenze presenti, quali gli scarichi delle acque meteoriche di dilavamento delle superfici dell'aeroporto stesso.

L'Aeroporto "Cristoforo Colombo" di Genova è dotato di una rete di drenaggio costituita da un sistema di raccolta superficiale (canali asolati, canalette grigliate e fossi di guardia) e un sistema di collettamento e scarico a mare interrato (tubazioni e strutture scatolari).

All'interno del presente progetto particolare attenzione è posta al sistema di scarico presente lungo il marginamento dell'aeroporto, affacciato sul Canale di Calma.

Il sistema di drenaggio dell'Aeroporto "C. Colombo" di Genova scaricante verso il Canale di Calma compreso tra la struttura aeroportuale stessa e la diga di Cornigliano può essere suddiviso in due macroaree a seconda della tipologia di scarichi verso il Canale di Calma presenti (vedi Figura 10.1):

- Zona "OVEST": drenaggio di metà pista di decollo/atterraggio (*runway*) mediante canali asolati posti a bordo pista e scaricanti a mare mediante tubazioni in calcestruzzo di diametro pari a $\varnothing 400$ mm a quota +0.00 m s.m.m. rispetto al centro tubo;
- Zona "CENTRO-EST": raccolta delle acque meteoriche insistenti sui piazzali di sosta degli aeromobili, delle aiuole delimitate dalle piste di raccordo (*taxiways*), delle *taxiways* stesse e dell'intera *runway* "di levante" attraverso canali asolati, fossi di guardia e canalette grigliate. Date le elevate superfici, oltre a tubazioni in cls $\varnothing 400$ mm, gli scarichi a mare avvengono anche mediante strutture scatolari aventi dimensioni pari a $1.80 \times h.0.75 \div 0.95$ m. Anche questi presentano quota di sbocco in corrispondenza circa del l.m.m.

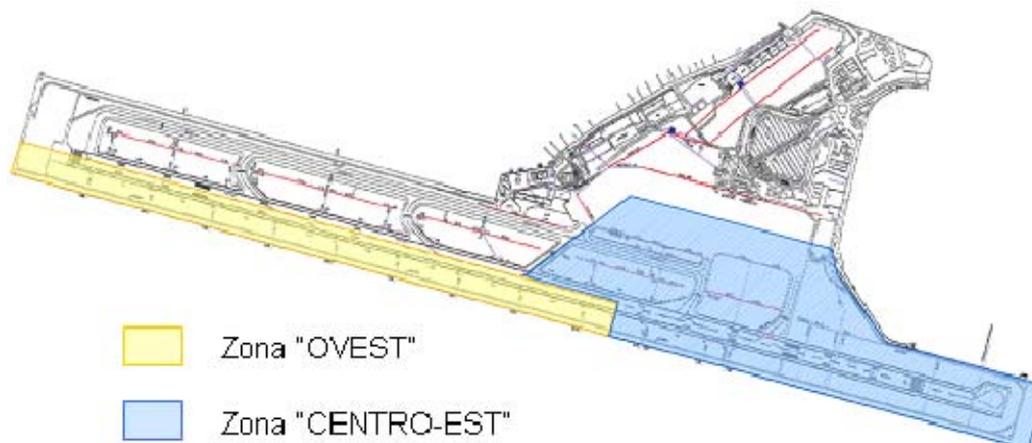


Figura 10.1 - Macroaree di drenaggio dell'aeroporto "C. Colombo" di Genova

Per poter procedere all'identificazione del sistema di risoluzione delle interferenze idrauliche costituite dagli scarichi a mare della rete di drenaggio dell'aeroporto risulta necessario identificarne le portate.

L'analisi si basa sull'identificazione dei singoli sotto-bacini di afferenza a ciascun scarico, calcolando quindi per ciascuno la portata "generata" a differenti tempi di ritorno dell'evento meteorico di riferimento.

Dovendo garantire elevati standard di drenaggio delle aree aeroportuali, tra cui anche la pista di decollo ed atterraggio stessa (*runway*), è stato scelto un evento meteorico di calcolo caratterizzato da un $T_R = 50$ anni.

Per la definizione dei sotto-bacini afferenti a ciascuno scarico si è preso come riferimento lo schema di drenaggio fornito da "Aeroporto di Genova S.p.A." e le pendenze trasversali presenti suddividendo ciascun sottobacino in:

- superficie PISTA: in questa rientrano le superfici pavimentate in calcestruzzo e/o conglomerato bituminoso a servizio delle piste di atterraggio/decollo (*runway*) e di rullaggio (*taxiways*);
- superficie VERDE: comprende le aiuole delimitate dai raccordi tra la pista *runway* e la pista di rullaggio;
- superficie PIAZZALE: in questa rientrano le aree pavimentate in calcestruzzo adibite alla sosta degli aeromobili.

Una volta definite le superfici rientranti in ciascun sotto-bacino, il calcolo idraulico delle portate interessanti ciascun scarico, a tempo di ritorno definito, è stata condotta applicando il “modello della corrivazione” o Metodo Razionale, per la stima della formazione ed identificazione della massima piena.

Date le elevate portate interessanti la rete di drenaggio aeroportuale e soprattutto in relazione alla posizione degli scarichi lungo il marginamento dell'aeroporto che si affaccia sul Canale di Calma, risulta necessario realizzare un'opera di captazione dei singoli scarichi e successiva scarico a mare mediante stazioni di sollevamento: gli scarichi presenti lungo il bordo del marginamento aeroportuale sono stati raggruppati in due macro aree sulla base della loro posizione, denominate gruppo “OVEST” e gruppo “EST”.

Per ciascuno dei due gruppi è prevista la realizzazione di un canale “a gronda” in adiacenza al marginamento esistente con la funzione di raccolta e accumulo delle acque meteoriche provenienti dagli scarichi (Q_i). I canali saranno dotati di stazioni di sollevamento che ne garantiscono lo svuotamento (Q_u): essendo la portata in uscita una frazione di quella in ingresso, i canali stessi fungeranno non solo come ricettori degli scarichi, ma anche come elementi di laminazione.

Il dimensionamento, condotto sulla base delle portate cinquantennali consente di garantire una capacità di accumulo all'interno delle due strutture tale da ottenere un tirante di invaso massimo che non comporti rigurgito all'interno delle condotte di scarico esistenti (quota massima +0.20 m s.m.m.): in tale maniera si garantisce che la rete di drenaggio esistente possa scaricare sempre a “bocca libera” evitando quindi che i rialzi mareali possano renderla sottobattente con conseguenti problemi di scarico ed esondazioni a monte.

L'adozione di stazioni di sollevamento risulta necessario in quanto essendo gli sbocchi degli scarichi esistenti posti in corrispondenza del l.m.m., una loro prolunga fino al limite esterno dei cassoni di conterminazione, in maniera tale da consentirne uno scarico “a gravità”, comporterebbe la realizzazione di uno scarico sottobattente con relativi problemi di rialzo del tirante a monte e quindi possibili esondazioni sulla piattaforma autostradale.

Le stazioni di sollevamento di restituzione delle acque raccolte presenteranno una portata sollevata inferiore a quella massima in ingresso al sistema di accumulo previsto, in maniera tale da limitare l'entità delle stazioni stesse con conseguenti risparmi in termini energetici e di gestione.

Per la risoluzione delle interferenze idrauliche costituite dagli scarichi a mare è stata prestata particolare attenzione alle fasi di realizzazione soprattutto in riferimento alla fase provvisoria

della posa dell'elemento del canale "a gronda". Per tutto il periodo di intervento sul marginamento dell'aeroporto dovrà essere garantita la possibilità di scarico delle rete di drenaggio esistente in maniera tale da non compromettere la funzionalità e sicurezza dell'aeroporto stesso.

Proprio in relazione a tale considerazione, è stato considerato per la fase provvisoria un evento meteorico avente un $T_R=1$ anno, calcolato considerando l'ultimo caso critico per eventi di durata inferiore all'ora (scrosci).

Per garantire lo scarico del sistema di drenaggio si prevede, prima dell'inizio dei lavori di realizzazione del relativo canale di "gronda" di raccolta, l'intercettazione degli scarichi a monte del cassone di conterminazione della piattaforma aeroportuale mediante la realizzazione di pozzetti di adeguate dimensioni. Per tutta la durata dei lavori di realizzazione del canale di "gronda" l'evacuazione delle acque di drenaggio raccolte all'interno dei pozzetti di intercettazione saranno scaricate a mare mediante l'ausilio di una o più pompe da cantiere (circa 100 l/s cad.) alloggiate all'interno dei suddetti pozzetti.

La connessione dei pozzetti con lo scarico entro il canale di "gronda" avverrà attraverso l'esistente apertura sul bordo del cassone che dovrà essere idoneamente "alesata" per potervi alloggiare una tubazione avente diametro interno pari a quella esistente. Tale soluzione di ripristino degli scarichi aeroportuali attraverso i cassoni esistenti e mediante la realizzazione di pozzetti di disconnessione a monte degli stessi cassoni, non solo garantisce la funzionalità del sistema di drenaggio dell'aeroporto anche in fase di cantiere, ma consente che limitati assestamenti del cassone possano avvenire senza compromettere l'integrità degli scarichi, come altrimenti accadrebbe in presenza delle attuali tubazioni in cls.

Alla luce di quanto esposto le tubazioni di collegamento, passanti attraverso fori nel cassone di conterminazione (da asolatura degli esistenti o di nuova realizzazione), dovranno presentare elevati valori di deformabilità, resistenza allo schiacciamento e sistemi di giunzione ad elevata tenuta.

11 LE INTERFERENZE CON I CORSI D'ACQUA RIO RONCALLO E RIO SECCO

Come fatto per l'identificazione degli scarichi a mare della rete di drenaggio dell'Aeroporto di Genova, anche per i corsi d'acqua sfocianti nel canale di calma attraverso i cassoni di conterminazione dell'aeroporto stesso è stata condotta una ricerca sulla base della documentazione esistente, quale "Piano di Bacino - Ambiti regionali di Bacino 12 e 13" redatto dalla Provincia di Genova, cartografia messa a disposizione da Aeroporto di Genova S.p.A., nonché sopralluogo in loco.

Da tale ricerca è stato possibile identificare il Rio Secco ed il Rio Roncallo, come corsi d'acqua sfocianti nel canale di calma.

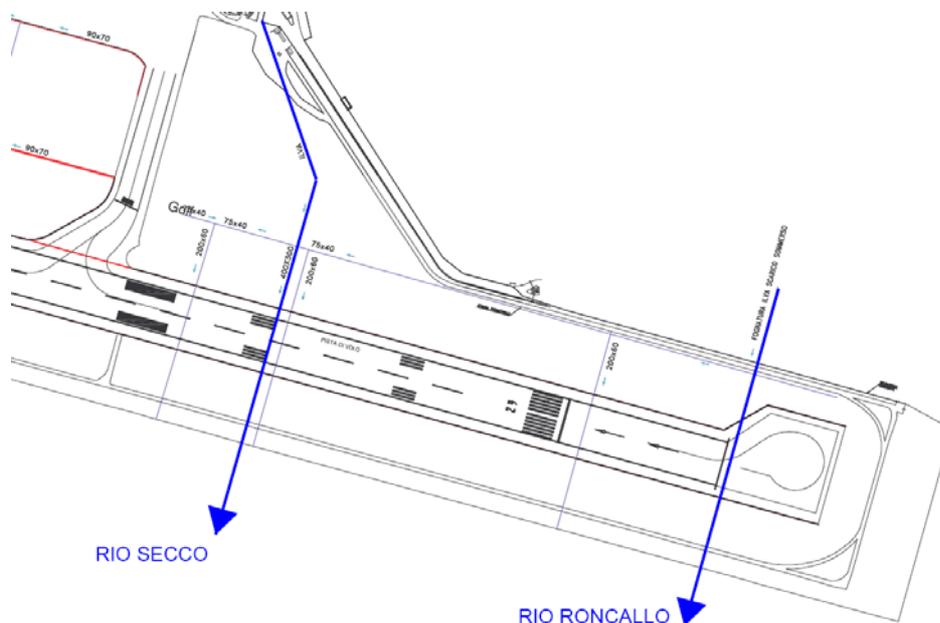


Figura 11.1 - Ubicazione degli scarichi a mare dei rivi interferenti con la colmata in progetto

I 2 rivi sono adiacenti l'uno all'altro (Rio Secco a ovest e Rio Roncallo a est) e entrambi hanno origine meno di 2 km a monte dell'impianto ILVA: il Rio Secco nasce alle spalle dell'abitato di Cornigliano a quota 125 m s.l.m., mentre il Rio Roncallo ha origine in località S.Pietro a quota pari a circa 135 m s.l.m.. Entrambi presentano sbocco a mare in corrispondenza dello stabilimento siderurgico. Il progetto di sistemazione prevede che il Rio Roncallo sia deviato verso est subito a monte dello stabilimento, mentre il Rio Secco risulta drenare a mare l'intera sua area di competenza.

Per il Rio Secco, il rilievo laserscan della murata della banchina esistente, appositamente eseguito, ha individuato lo scarico a circa -4.50 m s.l.m.m con sezione idraulica caratterizzata

da due scotolari affiancati di dimensione 2x1.5m; quanto emerso dal rilievo risulta coerente con quanto presente nella carte storiche recuperate.

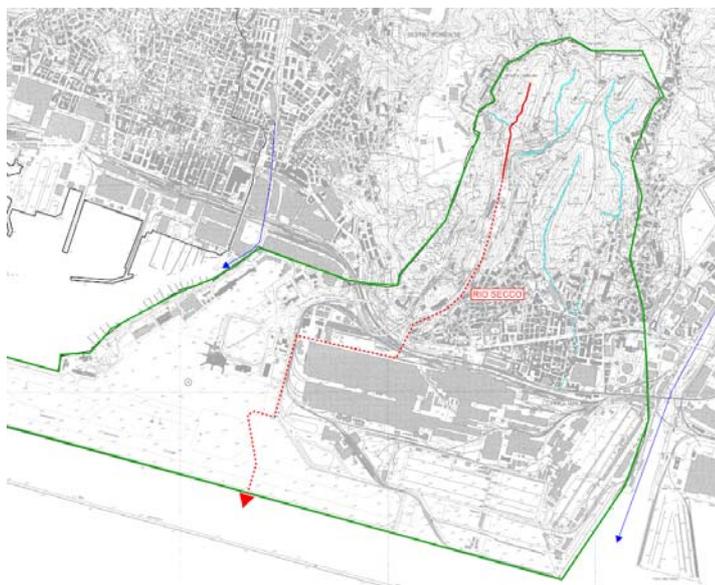


Figura 11.2 - Andamento planimetrico del Rio Secco

Il Rio Roncallo viene maggiormente descritto all'interno del Piano di Bacino, il quale ne identifica delimitazioni e superficie del bacino di afferenza, descrizione e sviluppo planimetrico nell'area a nord dell'aeroporto (zona Cornigliano) e soprattutto portate massime per differenti tempi di ritorno.

Il rivo giunge in area aeroportuale all'interno del "Collettore Italsider" il quale scarica nel canale di calma passando attraverso la struttura dei cassoni di conterminazione dell'aeroporto: da documentazione storica, tale collettore presenta una sezione costituita da due tubazioni a sezione circolare (diametro \varnothing 2,10 m), all'interno di una struttura piena di calcestruzzo, con quota di scarico pari a -12,05 m s.l.m.m.. Quest'ultimo dato risulta incompatibile con le batimetrie presenti nella zona di sbocco (-8.50 ÷ -10.00 m s.m.m). Il rilievo laserscan della murata della banchina esistente, non è stato in grado di individuare l'esatta quota di scarico in quanto la banchina risulta schermata da una struttura metallica; pertanto, in coerenza con la quota del fondale esistente, è stata assunta la quota di scarico a -8.00m s.l.m.m. Per ulteriori approfondimenti si rimanda alle successive fasi progettuali.

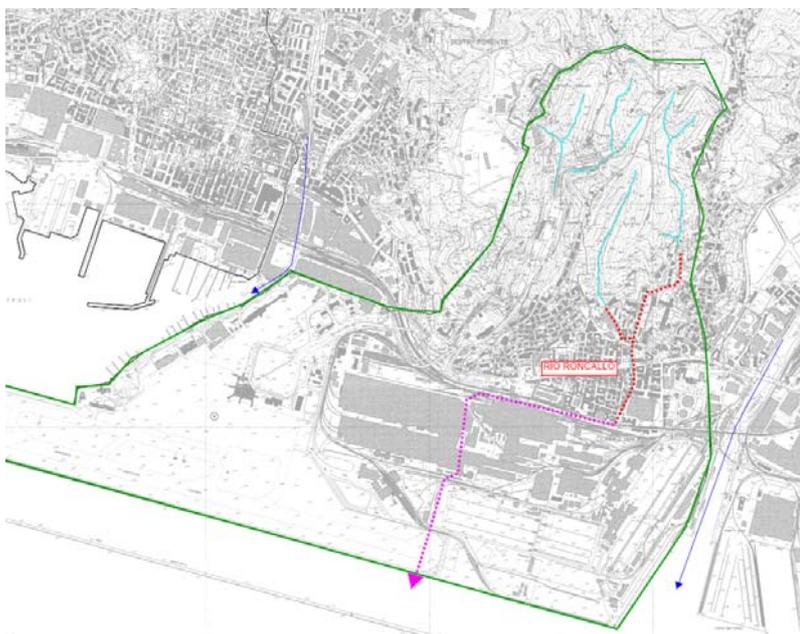


Figura 11.3 - Andamento planimetrico del Rio Roncallo

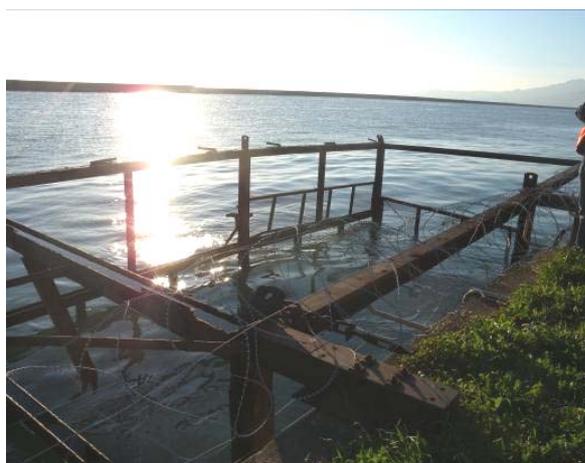


Figura 11.4 - Struttura metallica grigliata posta allo scarico del Rio Roncallo

Per tali interferenze, la risoluzione possibile, risiede nell'adottare interventi specifici, tra loro molto diversificati.

Per quanto riguarda il Rio Secco si ipotizza di realizzare un prolungamento costituito da due file di palancole distanti tra loro 5,00 m e con altezza libera pari a circa 10,0 m; si tratta praticamente di un "canale di calma" perpendicolare al canale di calma principale.

Le palancole, a tenuta idraulica, saranno immerse al fondo imposto al quota di circa -10 m s.l.m.m e collegheranno un pozzetto da realizzare nel banchinamento esistente con i cassoni di conterminazione della cassa di colmata.

Il pozzetto nel banchinamento esistente avrà quota di fondo a -5,00 m e servirà anche per raccogliere eventuali deflussi provenienti da uno scarico posto a 147,00 m verso ovest rinvenuto con il rilievo laserscanner; secondo quanto emerso dagli accertamenti svolti tale scarico risulta privo di funzionalità idraulica.

Il canale delimitato dalle palancole avrà quota di copertura a -0,80 m s.l.m.m a meno di due tratti lunghi, il primo 15 m (dal banchinamento esistente) e il secondo lungo 11,00 m in prossimità del nuovo cassone di conterminazione. Questi due tratti avranno una copertura in "dalle" rimovibili poste a +0,75 m s.l.m.m un metro al di sotto del piano campagna rifinito situato a +1,75 m s.l.m.m e serviranno per effettuare operazioni manutentive di pulizia dal deposito veicolato come trasporto solido dal bacino del Rio Secco.

In prossimità dell'attacco con il cassone di conterminazione, la sezione palancolata verrà allargata a 7,20 m per una lunghezza di 4,00 m; questo allargamento è necessario per raccordare il canale con la luce di deflusso nel cassone, che prevede due luci affiancate larghe 3,50 m e alte 3,20 m, separate da un setto di 0,20 m. L'uscita nel cassone sarà posta a -7,80 m.

Questa soluzione garantisce da una serie di problematiche che potrebbero insorgere, quali:

- assoluta assenza di infiltrazioni;
- assoluta assenza di fessurazioni;
- assoluta resistenza all'abrasione;
- funzionalità garantita indipendentemente da eventuali assestamenti del fondo.

La scelta di mantenere una luce di deflusso così ampia consente infine di ridurre la velocità di uscita dei deflussi nel canale di calma e di contenere il trasporto solido lungo il tratto palancolato, evitando così di interferire con i livelli di fondo del canale di calma, riconfigurato.

Per quanto riguarda viceversa il Rio Roncallo la soluzione per lo sbocco a mare dei deflussi deve tenere conto della particolare evoluzione attualmente in atto sull'asta del Rio.

Lo schema idrografico considerato nel presente studio fa riferimento all'attuale configurazione planimetrica del rio Roncallo: in seguito alle opere previste nell'ambito del progetto "*Strada Urbana di scorrimento da Lungomare Canepa a Piazza Savio, raccordi con la viabilità ANAS di sponda sinistra del T. Polcevera e opere civili propedeutiche alla realizzazione del terzo binario della linea ferroviaria Genova-Ventimiglia*", approvate nella Conferenza dei Servizi

D.P.R. n 383/94 – D.P.R. n 616/77, svoltasi in data 20/09/2007, protocollo n° 118404/6529, il rio Roncallo, che precedentemente attraversava il sito ILVA per sfociare all'interno del canale di calma, immediatamente a monte dello stabilimento, è stato completamente intercettato da un nuovo collettore e deviato verso la sponda destra del Torrente Polcevera.

A seguito di questo intervento, il tratto terminale delle condotte appartenente al rio Roncallo, riguarda solo più piazzali e tetti impermeabili dell'area dello stabilimento ILVA; il rio quindi perde la connotazione di corso d'acqua ma bensì assume la funzione di canale di raccolta e scarico acque di pavimentazioni e tetti dell'area ILVA.

Sulla base delle considerazioni precedenti sono state eseguite le simulazioni idrologiche e idrauliche secondo un tempo di ritorno pari a 50 anni, congruente con quello utilizzato per il dimensionamento del sistema di drenaggio di piattaforma dell'opera a mare.

Sulla base di questi riscontri si propone di realizzare, allo sbocco del Rio Roncallo, sul banchinamento esistente, una vasca con 3 pompe idrovore in grado di evacuare 1500 l/s cadauna per un totale 4,5 m³/s, valore compatibile con la portata di riferimento pari a 4.7. m³/s; il volume residuo può essere facilmente stoccato all'interno delle canalizzazioni esistenti. La vasca servirà anche per raccogliere eventuali deflussi provenienti da uno scarico posto a circa 180,00 m verso est rinvenuto con il rilievo laserscanner; secondo quanto emerso dagli accertamenti svolti tale scarico risulta privo di funzionalità idraulica.

L'impianto idrovoro dovrà essere collegato ad un sensore di pioggia (pluviometro) che lo attiverà; in sostanza volendo tenere i sensori di livello riferiti al medio mare e di conseguenza all'ipotesi di avere il canale/vasca del Roncallo sempre con un livello idrico elevato, occorrerà condizionare l'avvio e lo stacco dell'impianto agli eventi di pioggia.

La regola operativa sopra indicata è realizzabile posizionando i galleggianti di avvio/stacco pompe a una quota corrispondente al volume che si vuole tenere in vasca.

Il mantenimento del canale con carico idrico elevato consente di contenere inoltre eventuali sottospinte che potrebbero lesionare il manufatto esistente.

Il pompaggio avverrà a mezzo di tre condotte (Ø 800 Dn) sistemate a circa -1,00 m rispetto alla configurazione finale del terreno che prevede il p.c. a +1,75/4,25 m; lo sbocco a mare nel cassone di conterminazione sarà posto a circa -1,00 m sul medio mare.

12 FASI LAVORATIVE E MODALITÀ DI ESECUZIONE DELLE OPERE PRINCIPALI

La costruzione della colmata richiederà un tempo complessivo di circa dieci anni, di cui quattro per la costruzione delle opere di conterminazione, otto per il conferimento del materiale e sette per il consolidamento e la realizzazione dello strato di ricopertura finale. Le fasi sono tra loro sovrapposte così come dettagliato dal cronoprogramma riportato nel seguito.

Uno dei parametri principali per la definizione dei tempi e delle fasi di costruzione è il programma di conferimento dei materiali, a sua volta definito dalle velocità delle attività di scavo sia mediante tecnica tradizionale che mediante scavo meccanizzato (TBM).

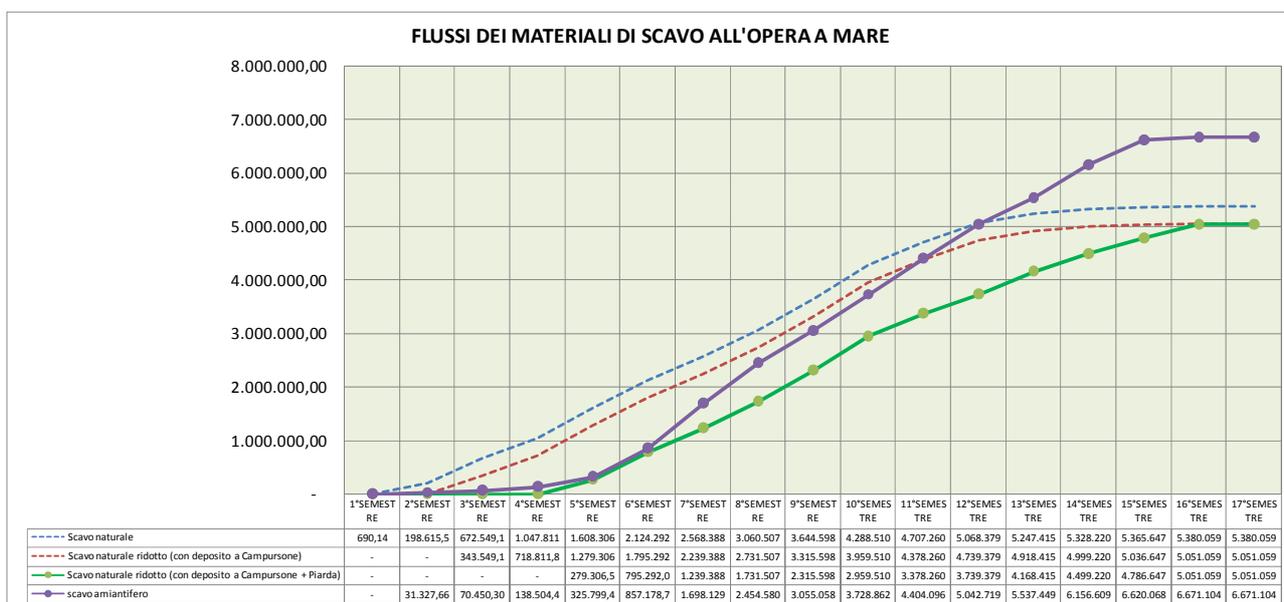


Figura 12-1 - Flusso delle produzioni di smarino nelle tipologie amiantifero e non amiantifero

Nel grafico di viene riportato il flusso del materiale di smarino così suddiviso:

- materiale con un contenuto in amianto (linea viola);
- materiale non contenente amianto (linee blu, rossa e verde).

I diagrammi di flusso sono ottenuti dal cronoprogramma generale dei lavori della Gronda, attribuendo a ciascuna galleria (amiantifera o naturale) il relativo volume di smarino e suddividendo questo valore nei semestri di scavo previsti dal crono. La sommatoria progressiva di ciascun contributo, consente di costruire le seguenti curve:

- curva viola – flusso delle produzioni di materiale potenzialmente amiantifero;

- curva blu - flusso delle produzioni di materiale “naturale” (non amiantifero), secondo le produzioni di scavo previste in galleria;
- curva rossa - flusso delle produzioni di materiale “naturale” (non amiantifero), modificato tenendo conto di depositare le quantità iniziali da scavo nel sito CI-06 “Campursone” per una capacità di 329.000 mc;
- curva verde - flusso delle produzioni di materiale “naturale” (non amiantifero), ottenuto dalla curva rossa, integrata per tener conto di riempire la “Piarda” – per una capacità di 1.000.000 mc – e di svuotarla progressivamente nel periodo conclusivo dei lavori.

Le sopra menzionate analisi sui flussi di smarino sono necessarie perché - come si può notare dal grafico - il flusso “naturale” (curva blu) precederebbe la produzione del materiale amiantifero (curva viola) trasferito via slurrydotto, arrivando all’opera a mare in una fase in cui non può ancora essere reimpiegato (il materiale “naturale” viene infatti prevalentemente utilizzato per la copertura superficiale di “capping”, da realizzarsi nella fase terminale dell’opera).

A tale problema si ovvia solo parzialmente sfruttando la possibilità di depositare la prima parte del materiale nel sito CI-06 “Campursone” (capacità 329.000 mc): il flusso di materiale naturale verso l’opera a mare (curva rossa) viene posticipato ma ancora in modo insufficiente e non compatibile con le fasi costruttive dell’opera.

Occorre quindi provvedere ad un ulteriore deposito temporaneo sfruttando la capacità della “Piarda” dell’Opera a Mare, che consente di stoccare altri 1.000.000 mc. In questo modo la curva di afflusso del materiale naturale diventa quella verde che è compatibile con le fasi di realizzazione: lo smarino naturale si rende infatti disponibile solo successivamente alla produzione di quello amiantifero, consentendo di mettere in opera i materiali nella sequenza corretta.

La programmazione delle attività delle opere a mare è stata impostata in modo coordinato ai flussi di arrivo dei materiali e con lo scopo di minimizzare i tempi di costruzione.

Di seguito si riportano le fasi di esecuzione dei lavori, descritte per macrolavorazioni ed ubicate temporaneamente come indicato nel crono programma allegato in Figura 12.2.

FASE I – Costruzione Conterminazione - dal 1° trimestre dell’ Anno 1 al 3° Trimestre Anno 3

Questa fase, (Figura 12.3, Figura 12.4, Figura 12.5) che decorre dopo la mobilitazione di cantiere, include:

- la costruzione dei cassoni nel cantiere di prefabbricazione;
- la posa in opera dello scanno in pietrame di imbasamento dei cassoni;
- il trasporto in cantiere dei cassoni cellulari prefabbricati, contestualmente al completamento dello scanno d'imbasamento,
- l'affondamento dei cassoni dapprima con acqua e quindi attraverso l'appesantimento con materiale di smarino non amiantifero, trasportato in loco con l'uso di bettoline.

In concomitanza con la realizzazione del marginamento si provvederà quindi all'impermeabilizzazione dello scanno di fondazione e del giunto tra i cassoni con le calze in geotessile riempite della miscela acque-cemento-bentonite e, successivamente, alla finitura superficiale con la realizzazione della soletta di copertura e, ove previsto, del muro paraonde.

Si procederà quindi alla realizzazione degli argini interni di delimitazione della "Piarda".

Contestualmente si provvederà alla costruzione dell'argine in materiale granulare lungo la banchina aeroportuale ed alla posa su di esso del canale di gronda che via via intercetterà gli scarichi delle acque meteoriche provenienti dall'aeroporto; contestualmente al canale di gronda saranno realizzate le stazioni di sollevamento e si inizierà a predisporre l'impianto elettrico per la loro alimentazione.

Sarà costruito il depuratore ed effettuato il collegamento con la vasca W1, adiacente alla piarda, al cui interno confluirà l'acqua in eccesso sostituita dal volume di smarino progressivamente conferito all'Opera a Mare.

FASE II – Riempimento Colmata - dal 4° Trimestre dell' Anno 2 al 4° Trimestre dell' Anno 8.

Si provvederà al riempimento della piarda con i primi volumi di smarino (fino a circa 1.000.000 m³) senza contenuto di amianto (Figura 12.4, Figura 12.5, Figura 12.6, Figura 12.7). Si potrà iniziare a dar corso al riempimento con lo slurry della prima vasca (A2) a ciò destinata; l'acqua di esubero sarà captata dalla vasca centrale (W2) e inviata al depuratore per la reimmissione in mare; dalla stessa vasca sarà captata anche l'acqua di ricircolo destinata ad alimentare il circuito dello slurry (Figura 12.6)

Successivamente sarà completato il riempimento della seconda vasca (A3) con lo slurry, continuando con la captazione dalla vasca centrale W2 dall'acqua in esubero, destinata al depuratore, e di quella di ricircolo dello slurry.

L'ultima porzione di colmata che verrà riempita è costituita dallo spazio creatosi con lo scavo dei materiali non amiantiferi inizialmente depositati nella piarda; l'acqua di esubero e di ricircolo sarà in questa fase captata dalla vasca W1, adiacente alla piarda.

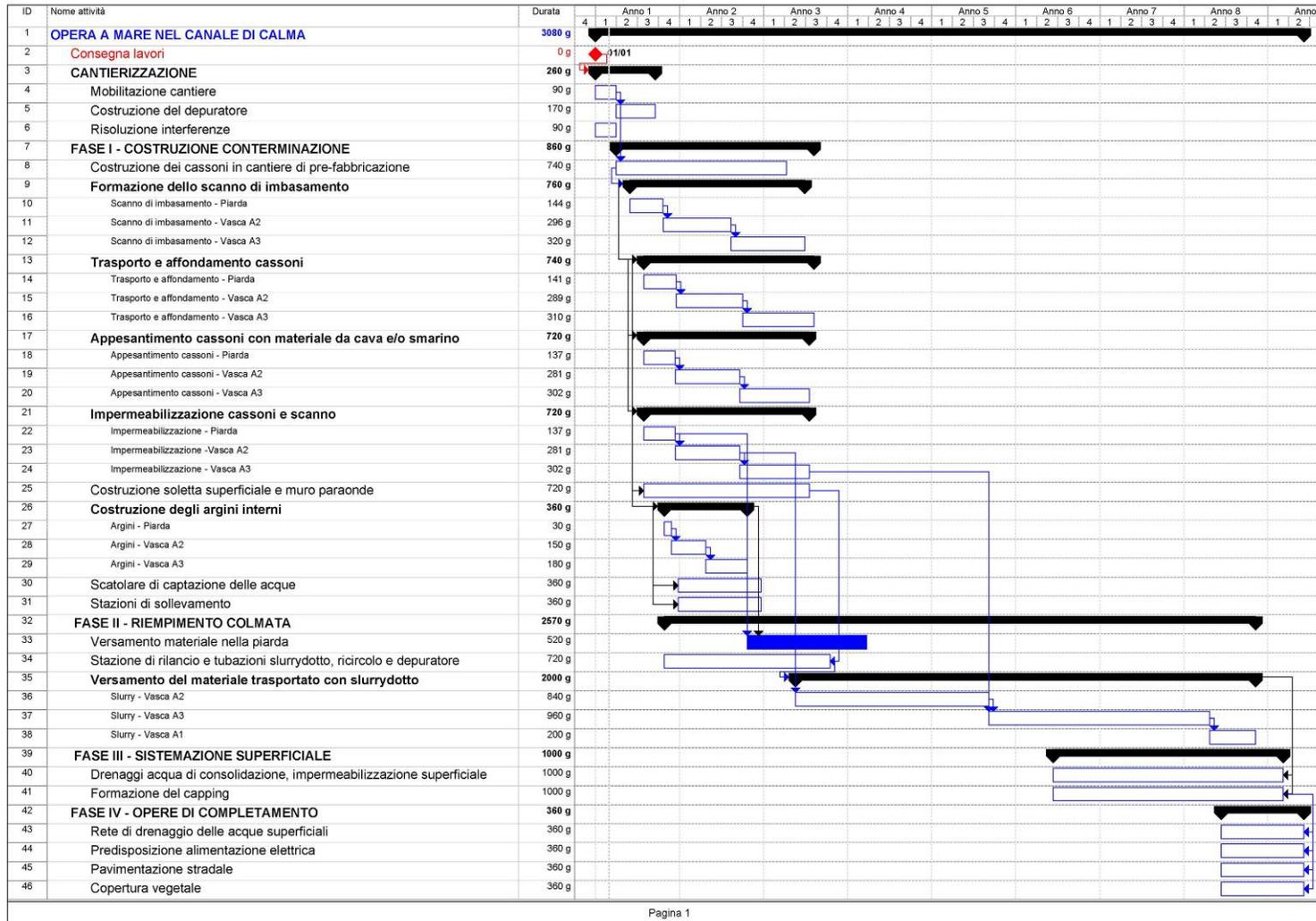
FASE III – Finitura Superficiale Colmata – dal 2° Trimestre dell'Anno 6 al 2° Trimestre dell'Anno 9

Progressivamente al completamento delle aree con riempimento con materiale amiantifero, si avvia la fase di posa dello smarino non contenente amianto proveniente sia dalla piarda che dallo scavo delle gallerie. Arrivati alla quota +0,30 m s.m.m. si provvede alla posa del pacchetto drenante superficiale (Figura 11.7, Figura 12.8) destinato alla captazione dell'acqua di consolidazione del deposito, e all'impermeabilizzazione superiore con una membrana in HDPE . Successivamente verrà posto in opera il "capping", sempre realizzato con le terre e rocce da scavo senza contenuto di amianto. Il depuratore sarà lasciato attivo fino al completo smaltimento delle sovrappressioni interstiziali generate nella colmata dalla realizzazione del capping, dopodiché le tubazioni di uscita dal materasso drenante saranno sigillate ed il depuratore smantellato.

Il riempimento superficiale assume la configurazione finale, raggiungendo nelle porzioni più elevate la quota in sommità di 4,25 m.s.m.m.

FASE IV – Opere di Completamento – dal 2° Trimestre dell'Anno 8 al 2° Trimestre dell'Anno 9

In questa fase, sarà completata la rete di dreni superficiali (Figura 11.8), e si provvederà all'esecuzione delle finiture, ovvero alla pavimentazione delle strade ed alla posa della copertura vegetale(Figura 11.9 – Figura 11.10). Sarà infine smobilitato il cantiere.



Pagina 1

Figura 12.2 - Cronoprogramma delle operazioni di cantiere

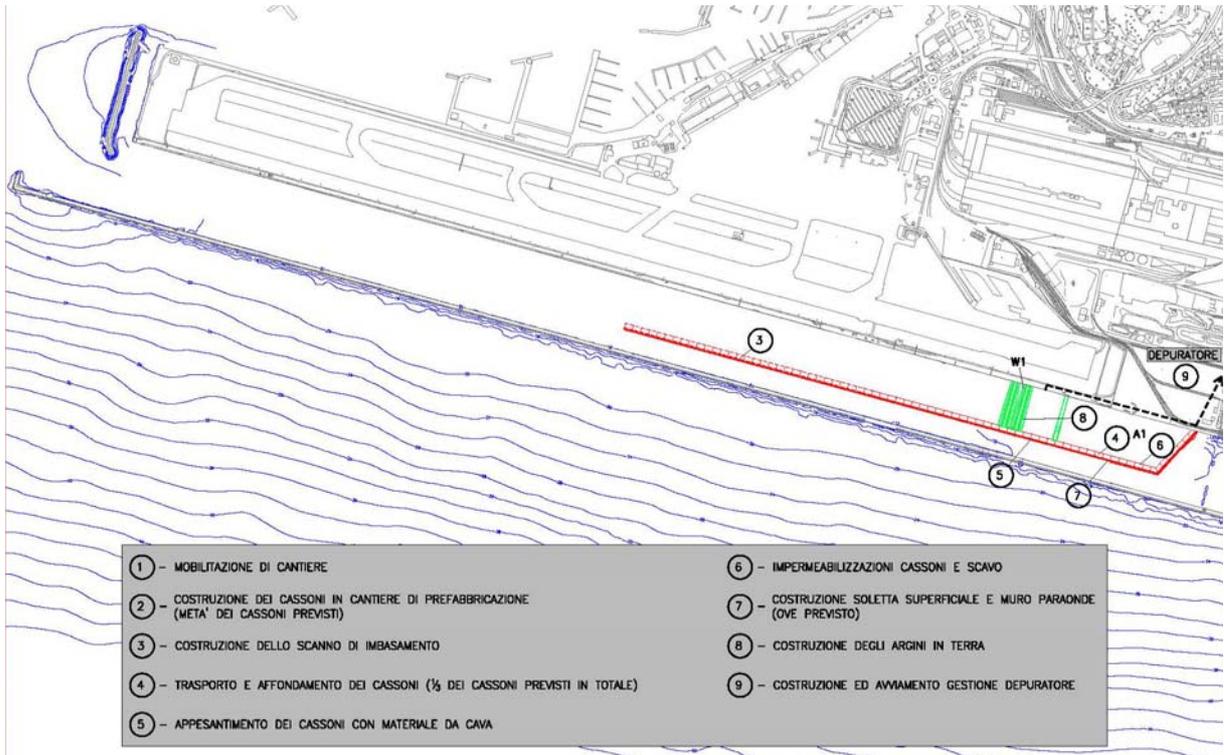


Figura 12.3 - 2° Trimestre Anno 1 – 4° Trimestre Anno 1

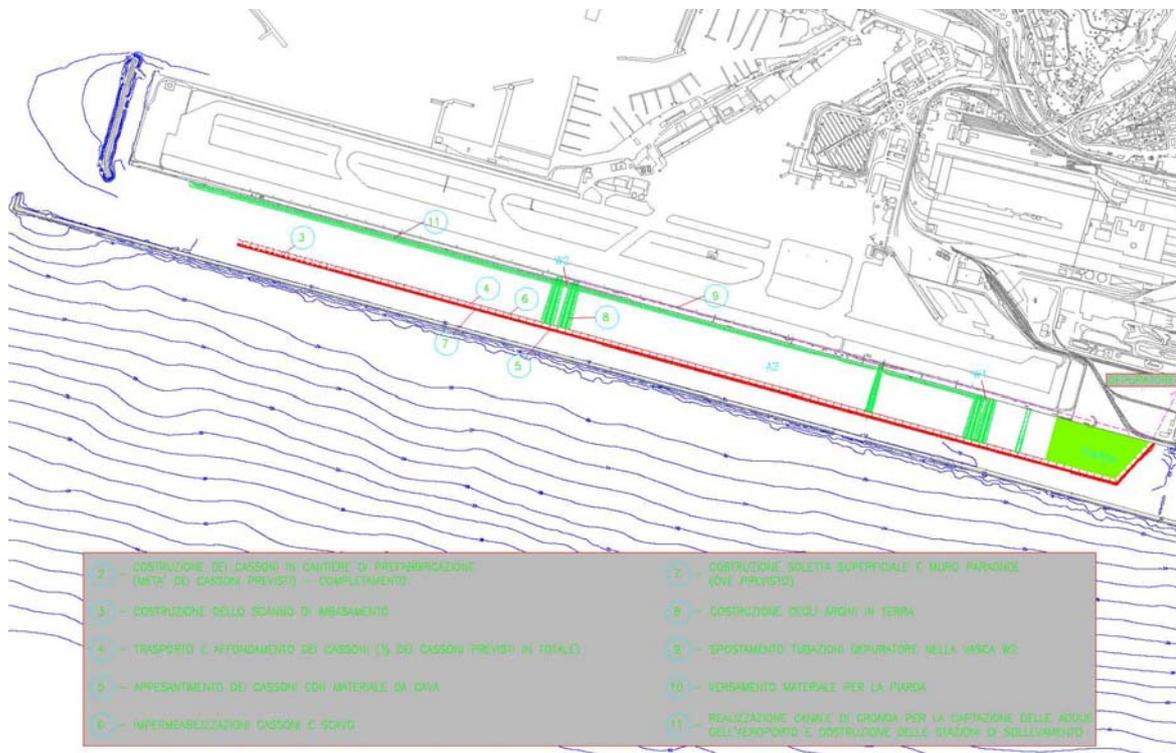


Figura 12.4 - Fase I / Fase II - 1° Trimestre Anno 2 / 1° Trimestre Anno 3

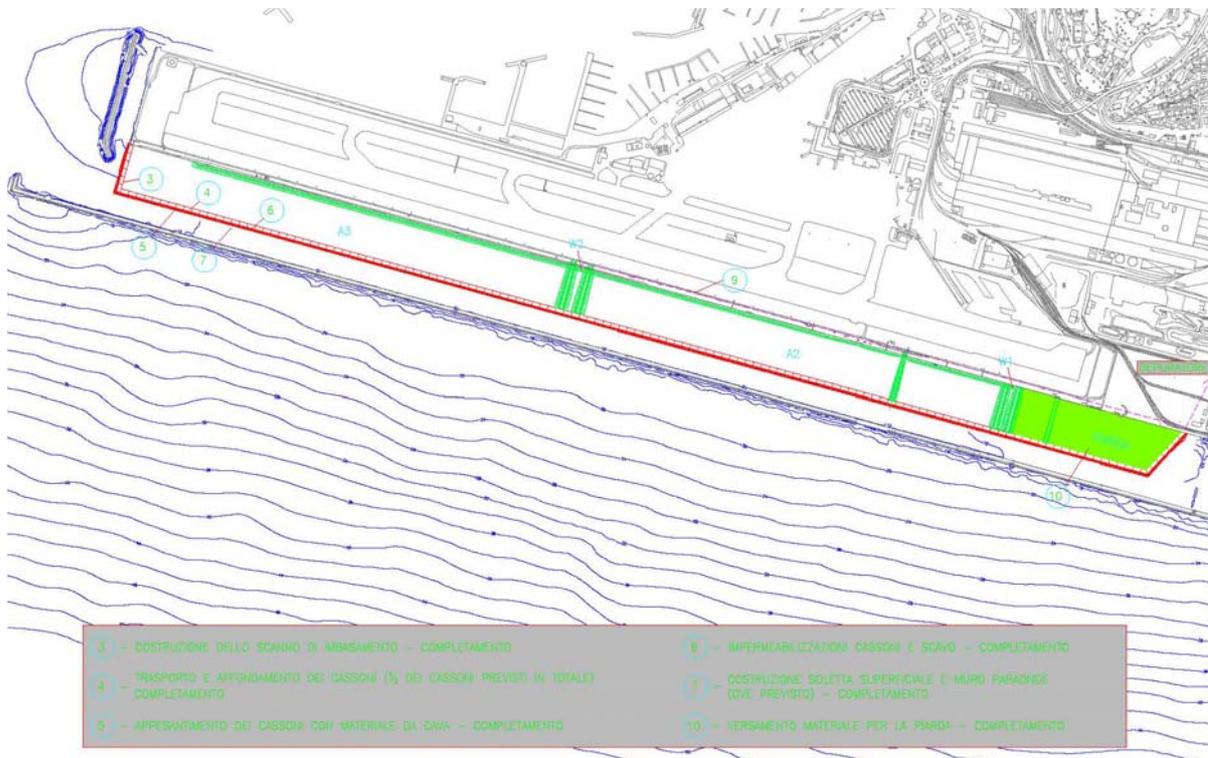


Figura 12.5 - Fase I / Fase II - 2° Trimestre Anno 3 / 3° Trimestre Anno 3



Figura 12.6- Fase II - 4° Trimestre Anno 4 / 3° Trimestre Anno 5



Figura 12.7 - Fase II / Fase III - 3° Trimestre Anno 6 / 2° Trimestre Anno 8



Figura 12.8- Fase III / Fase IV - 3° Trimestre Anno 8 / 1° Trimestre Anno 9

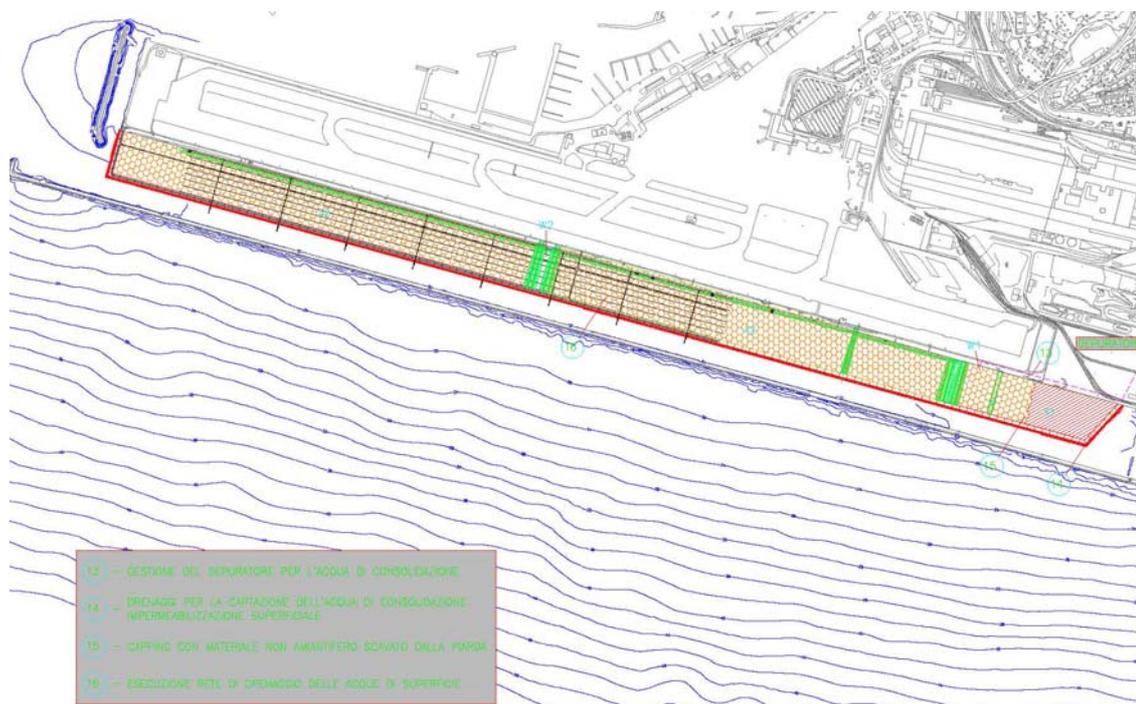


Figura 12.9 - Fase IV – 2° Trimestre Anno 8 / 2° Trimestre Anno 9

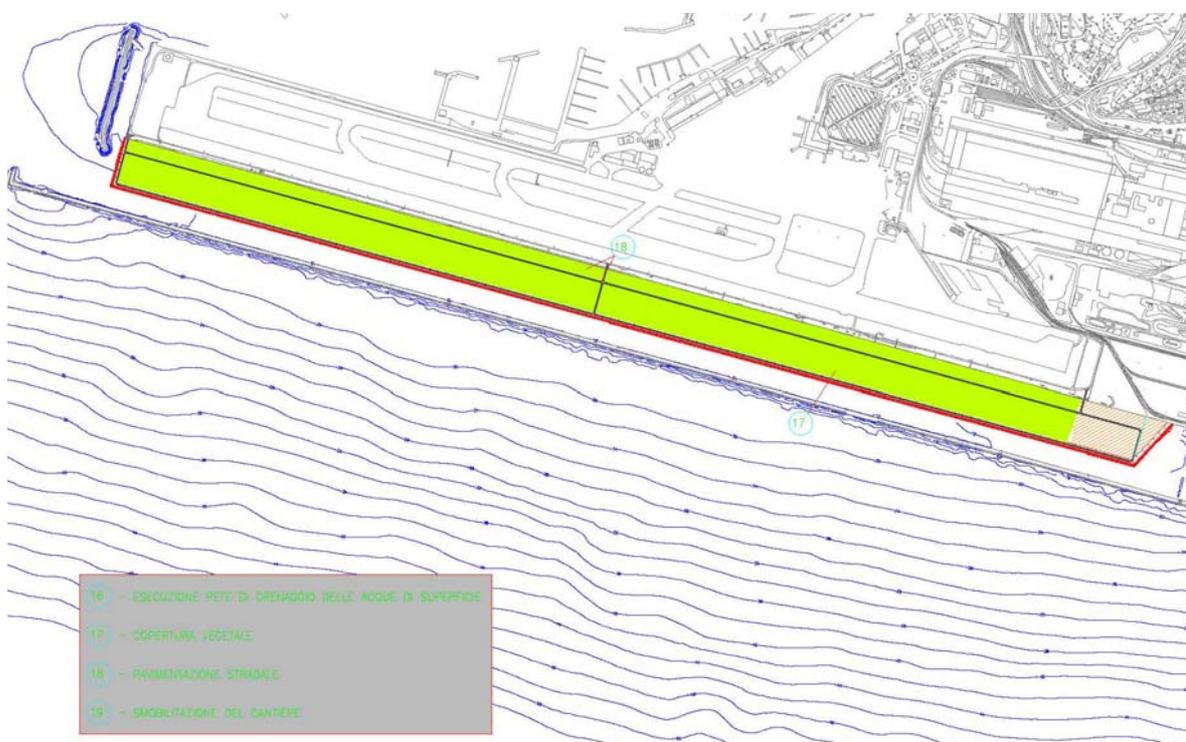


Figura 12.10 - Fase IV – 2° Trimestre Anno 9

12.1 L'utilizzo di mezzi marittimi e di terra per la cantierizzazione

La costruzione del deposito a mare comporterà la presenza nel Canale di Calma di mezzi marittimi, diversi a seconda delle operazioni di cantiere previste, e di mezzi di terra sulla colmata per la realizzazione del capping e del sistema di drenaggio.

Le operazioni ed i mezzi che si prevede di utilizzare sono descritti nel dettaglio nella "Relazione di sintesi sulla fase realizzativa" allegata al progetto.

Per la posa dei cassoni è prevedibile l'utilizzo di rimorchiatori per il trasporto oltre a pontoni con gru durante le fasi di affondamento e alle imbarcazioni di appoggio e controllo (pilotine). Durante il versamento e la movimentazione dei materiali granulari saranno invece necessarie gru montate su pontoni, bettoline ecc.. In particolare si prevede la presenza:

a) per la formazione dello scanno di imbasamento (Figura 12.11):

- 1 pontone per la stesa del geotessuto sul fondale e per lo spianamento, con grappo, del materiale versato;
- 8 bettoline/giorno per il trasporto del materiale granulare, di cui mediamente 2 presenti in cantiere contemporaneamente;

b) per il trasporto e varo dei cassoni, l'appesantimento con materiale granulare e l'impermeabilizzazione (Figura 12.12)

- 1 pontone con gru per la posa in opera del primo cassone;
- 2 rimorchiatori ogni tre giorni per il trasporto dei cassoni dal sito di prefabbricazione;
- 2 barche di appoggio;
- 12 bettoline/giorno per il trasporto del materiale granulare per l'appesantimento, di cui 3 presenti contemporaneamente;
- 2 pontoni con gru per le operazioni di riempimento ed impermeabilizzazione;

c) per il versamento dello slurry (Figura 12.13)

- 2 pontoni speciali, tra loro uniti, che sorreggeranno il diffusore;

d) per la realizzazione del capping (Figura 12.14):

- 5 pale gommate, dotate di benne di circa 7 m³;
- 5 dumper di capacità maggiore di 40 t, per il trasporto del materiale nell'ambito del cantiere

- 2 terne per la realizzazione dell'impianto di drenaggio;
- 2 compattatori a rullo e lama.



Figura 12.11 - Scanno di imbasamento dei cassoni - Modalità esecutive

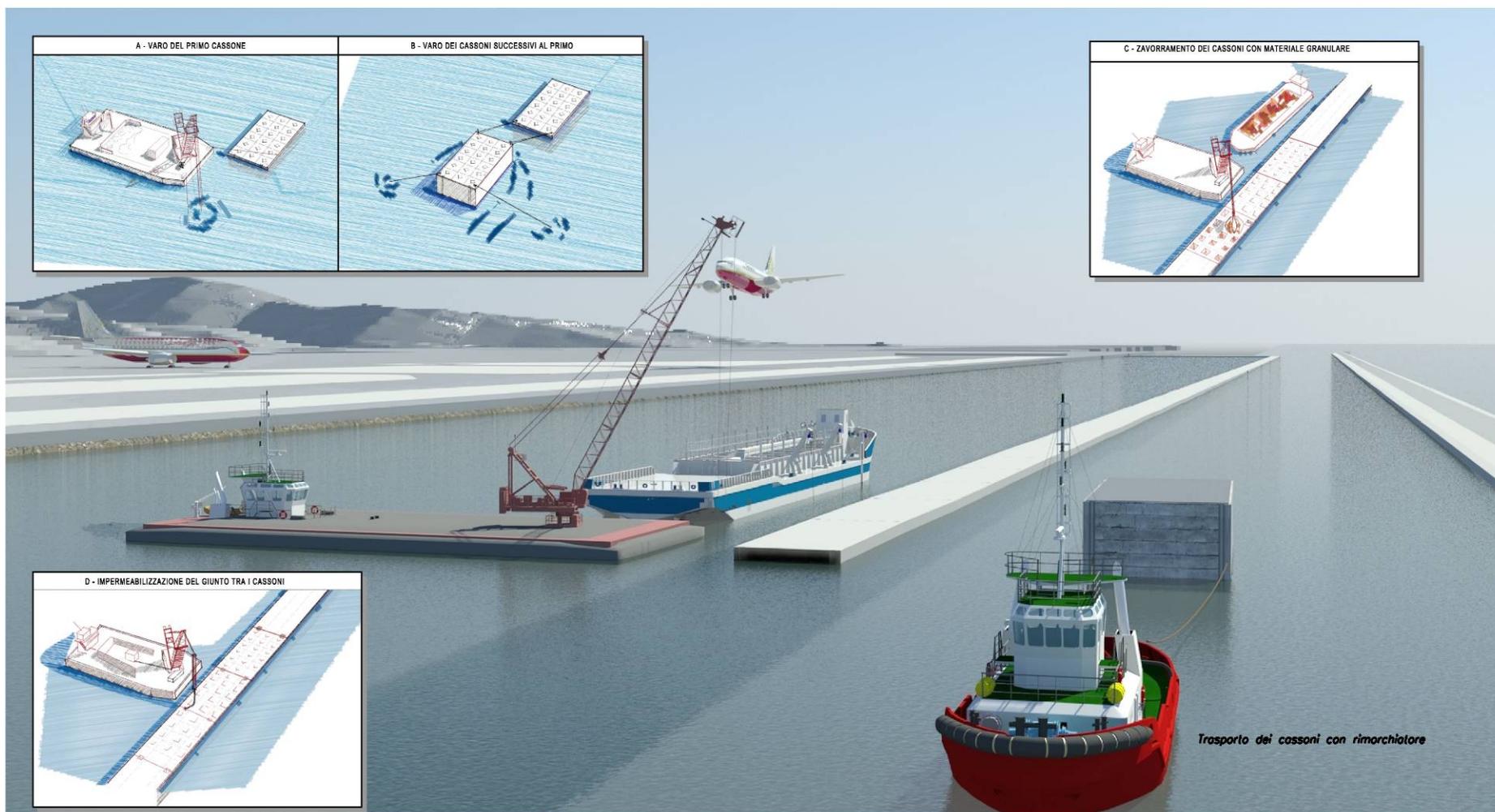


Figura 12.12 - Affondamento dei cassoni - Sequenza della posa



Figura 12.13 - Versamento dello slurry all'interno della colmata - Schema del versamento

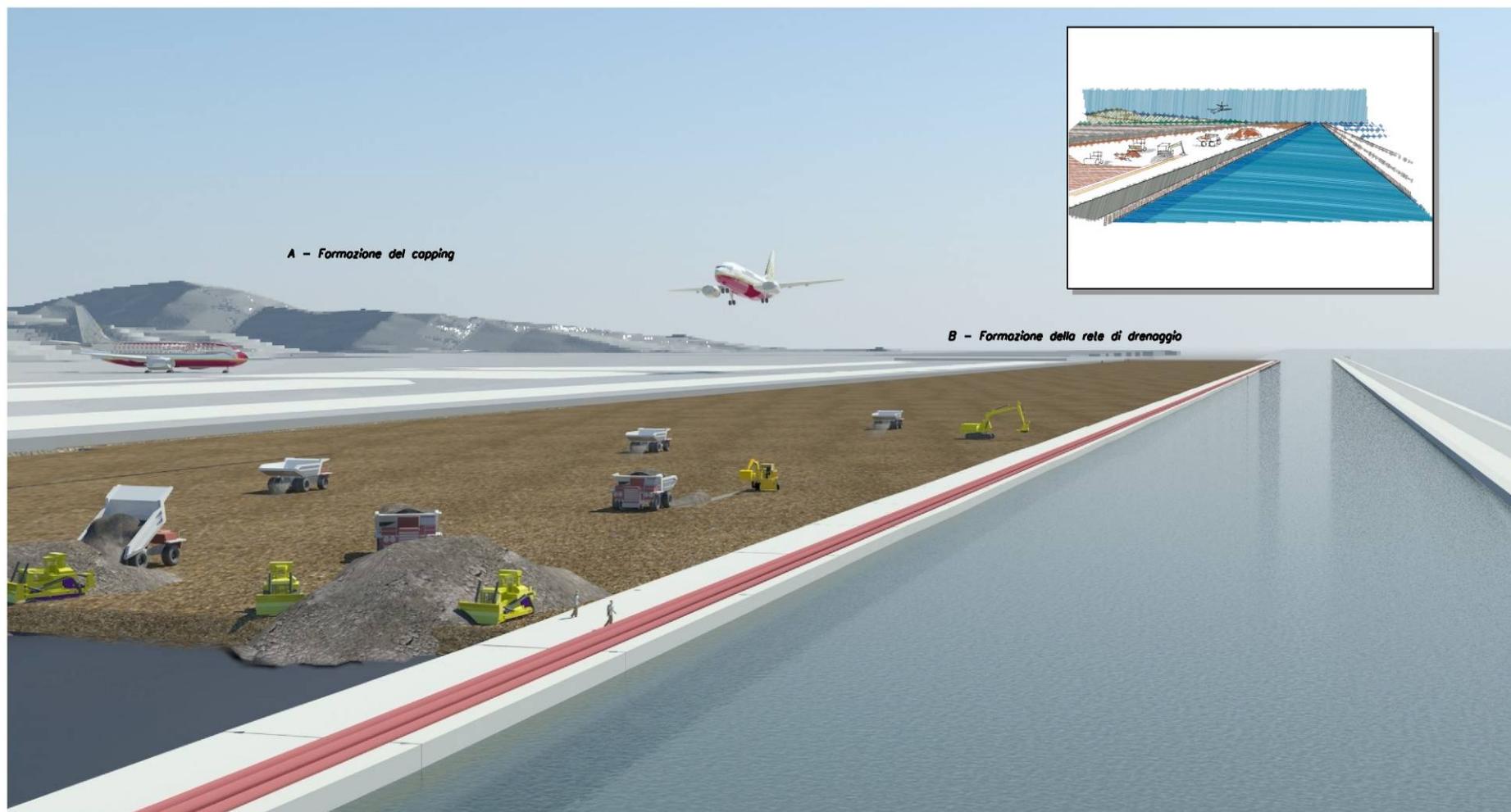


Figura 12.14 - Formazione del capping - Schema grafico

12.2 I rapporti con l'esercizio portuale e aeroportuale

La costruzione del deposito a mare richiede, come descritto al paragrafo precedente, la presenza nel canale di calma di mezzi marittimi diversi a seconda delle operazioni di cantiere previste.

Per quanto riguarda l'aeroporto, è stato previsto che i mezzi operativi rispettino i vincoli aeroportuali per quanto riguarda lo spazio aereo circostante l'aeroporto; in particolare non oltrepassano in altezza il limite costituito dalla superficie di transizione, situata a lato della pista, ove verrà realizzata la colmata.

Saranno inoltre rispettati gli spazi di sicurezza per il decollo ed atterraggio degli aerei, organizzando il cantiere in modo tale da eseguire di notte le lavorazioni che ricadono in detto spazio, e di giorno quelle che non interferiscono con i coni di sicurezza (Figura 12.15).

Una possibile interferenza riguarda invece la strumentazione di terra dell'aeroporto; nel corso dell'esecuzione dei sondaggi ante-operam è infatti emerso che la presenza di mezzi metallici nel canale di calma interferisce con la strumentazione di assistenza agli atterraggi (ILS)¹⁰ la cui antenna è situata a pochi metri dal margine fra aeroporto e canale.

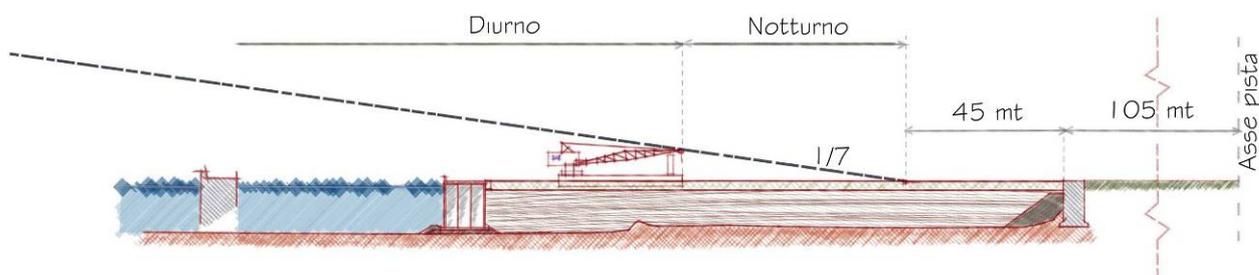


Figura 12.15 - Ipotesi di posizionamento dei cantieri diurni e notturni in funzione degli spazi aerei di sicurezza

Si tratta di una strumentazione molto delicata che, in caso di alterazione, richiede una specifica operazione di nuova taratura, prima di essere rimessa in funzione. Pertanto, prima dell'inizio della fase di costruzione, verranno effettuati incontri specifici con ENAC (Ente

¹⁰ ILS Instrument landing system: sistema di guida strumentale per l'atterraggio, guida gli aerei nella fase finale dell'avvicinamento verso la pista; è particolarmente utile in caso di bassa visibilità

Nazionale dell'Aviazione Civile), ente responsabile della strumentazione, al fine di ottenere indicazioni operative su come procedere.

Tra le possibili soluzioni vi è la schermatura parziale dell'antenna o lo spostamento della strumentazione a distanza adeguata dall'area di cantiere.

13 CONFORMITA' DELL'OPERA CON GLI STRUMENTI DI PROGRAMMAZIONE E PIANIFICAZIONE

Il Canale di Calma in cui verrà realizzato il deposito a mare, essendo un'area marina non rientra nella pianificazione ordinaria ed è soggetta solo al regolamento operativo emesso dall'Autorità portuale, come previsto dal Piano Regolatore Portuale.

Le aree limitrofe rientrano invece nelle zone disciplinate dal Piano Territoriale di Coordinamento per gli insediamenti produttivi per l'area centrale ligure (PTC IP ACL), approvato con D.C.R. n. 95 del 31 luglio 1992; e come tali sono classificate nel Piano Urbanistico Comunale del comune di Genova.

IL PTC IP ACL contiene indicazioni concernenti i Livelli di Area Geografica, Ambito Territoriale e Distretti relativamente al Sistema delle Infrastrutture di comunicazione, alle funzioni produttive ed alle principali criticità sul sistema ambientale.

La zona di progetto è inserita nel distretto 4 Ponente, che comprende sia l'area di intervento 10 (aeroporto) che l'area di intervento 15 (Polo siderurgico di Cornigliano), il distretto è considerato un distretto di trasformazione e le funzioni previste sono AE2 direzionalità/terziario avanzato e AE3 industria ad alta tecnologia.

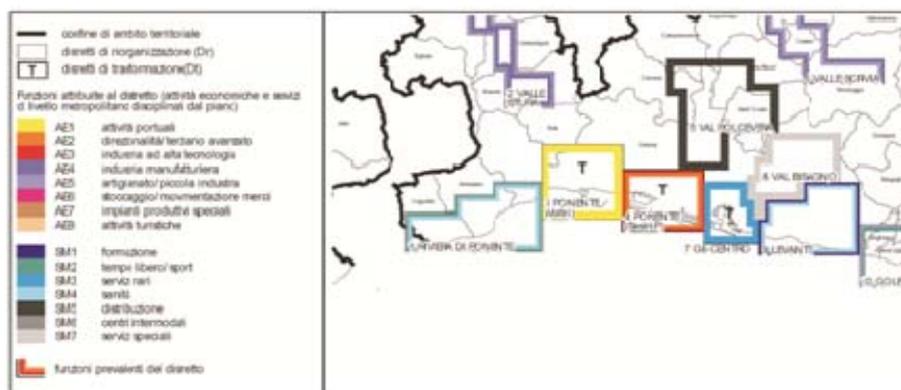


Figura 13.1 - PTC IP ACL – Tavola dei distretti di intervento - Stralcio

L'area è inoltre soggetta al Regolamento Aeroportuale emesso dall'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC) che prescrive i requisiti per la costruzione e l'esercizio degli aeroporti aperti al traffico aereo commerciale.

In particolare al cap.4 del suddetto strumento vengono riportate le caratteristiche piano – altimetriche delle aree di rispetto circostanti l'aeroporto, che debbono essere mantenute sgombre da ostacoli al fine di garantire la sicurezza delle operazioni di decollo ed atterraggio.

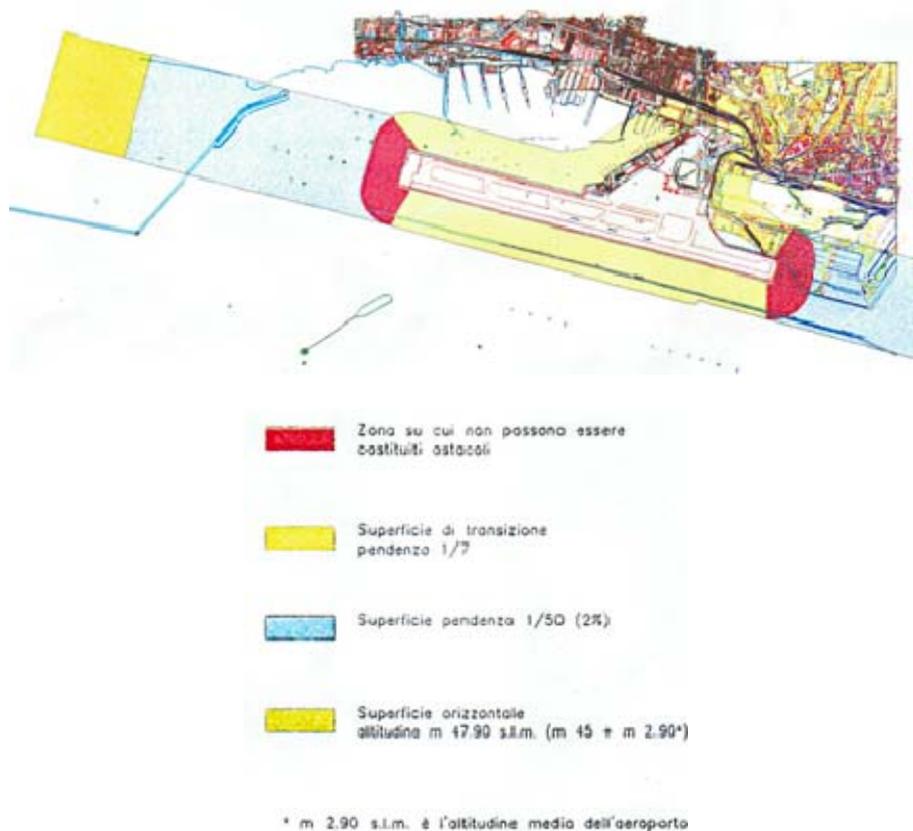


Figura 13.2 - Vincoli aeronautici: in giallo chiaro la superficie di transizione, in rosso la superficie al decollo

Come si può notare dalla Figura 13.2 l'area ricade per la maggior parte in "superficie di transizione" dove è permessa una pendenza verso l'alto e verso l'esterno pari a 1:7 (14,3%) e in minima parte in "Zona su cui non possono essere costituiti ostacoli" dove per l'appunto non sono stati realizzati impedimenti fissi e mobili durante la fase di decollo o atterraggio dei veivoli.

Tra le varie disposizioni l'Autorità Portuale di Genova con il documento "Regolamento di sicurezza e dei servizi marittimi del Porto di Genova" (ed. 2006) all'art. 53 dispone anche che:

"Alle navi ed ai galleggianti in genere è interdetta la navigazione lungo il canale compreso fra la banchina sud dell'aeroporto e la diga foranea dello stesso. E' fatta eccezione per le unità dei vari servizi portuali dirette o provenienti dagli scali di Sestri Ponente, di Multedo e Voltri, a

condizione che non superino l'altezza massima di ingombro, alberatura compresa, di dieci metri dal galleggiamento e che procedano con rotta radente la diga foranea, a velocità moderata e comunque non superiore alle sei miglia orarie. Le unità fornite di alberatura, per transitare in detto canale nelle ore notturne, dovranno tenere in testa all'albero più alto un fanale a luce rossa, visibile dall'alto e da tutti i punti dell'orizzonte. Le unità, giunte all'altezza della testata di ponente del terrapieno dell'aeroporto, dovranno passare ad ovest della boa numero 33, situata a circa 250 metri dalla predetta testata. Le navi ed i galleggianti che ormeggiano agli accosti dei ponti Libia, Canepa e Ronco non dovranno, in nessun caso, superare le altezze massime di ingombro, alberatura compresa (dal livello medio del mare), di seguito specificate:

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

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

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

Infine il progetto non interferisce con eventuali vincoli di tutela ambientale e paesaggistica nonostante la loro vicinanza. E' il caso del Santuario dei Cetacei, costituito dalle zone marittime situate nelle acque interne e nei mari territoriali della Repubblica francese, Repubblica italiana e del Principato di Monaco, nonché dalle zone di alto mare adiacenti (si veda Figura 13.3. In questo tratto di mare vi è tra le più alte concentrazioni di cetacei tra tutti i mari italiani, rappresentando perciò l'area faunisticamente più ricca dell'intero Mediterraneo.

Conseguentemente in questo tratto di mare sono adottate delle misure di protezione che prevedono sinteticamente:

- la proibizione del dumping e dello scarico di rifiuti e di altre sostanze che verosimilmente possono direttamente o indirettamente danneggiare l'integrità dell'area specialmente protetta; divieti di caccia e pesca con metodi che coinvolgono i mammiferi marini (rete derivante);
- la regolamentazione dell'esplorazione e della modifica del fondo marino;
- il passaggio di navi ed ogni sosta o ancoraggio.

Nelle varie disposizioni di legge non è citato alcun limite interno (verso la costa) del santuario che teoricamente interessa tutto lo specchio acqueo; nella pratica però tali disposizioni non sono mai state utilizzate per regolare lo sviluppo e le attività delle aree portuali già in essere e conseguentemente non si ritiene che la creazione della nuova colmata all'interno dell'area portuale di Genova comporti una violazione delle norme sopraccitate .

Conseguentemente è facile intuire che tali indicazioni sono state pensate nel caso di operazioni in mare aperto dove è possibile per l'appunto l'interferenza con i mammiferi marini e non sembrano applicabili al caso in esame che riguarda operazioni situate all'interno dell'area portuale.



Figura 13.3 - Santuario dei cetacei:riferimento cartografico (Fonte: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del mare)

Per quanto concerne invece i vincoli paesaggistici si cita il Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico dove vengono evidenziati i cosiddetti “manufatti emergenti puntuali” e “Sistemi di manufatti emergenti” da considerare come elementi vincolanti in quanto veri e propri segni percepibili del sistema insediativo – storico del paesaggio.

I Manufatti emergenti puntuali in particolare sono inseriti nelle tavole cartografiche relative all'Assetto Insediativo e riportati successivamente in apposite schede allegate al piano stesso, dove sono catalogati per Comune e Tipologia sulla base delle definizioni contenute negli studi propedeutici al piano stesso.

I manufatti emergenti sono stati distinti in "reali" e "virtuali", denominando con tale ultimo termine quelli di cui non sono evidenti né la consistenza, e quindi la leggibilità, né lo specifico elemento che costituisce il valore da tutelare.

Come si vedrà nelle figure qui di seguito tutti questi elementi sono lontani dall'area di intervento e quindi la loro percezione e fruibilità rimane inalterata. Tra quelli più vicini da ricordare:

- 810 – Villa Asplonati Marsello (ME) – Tav. 16 Assetto Insediativo
- 811 – Santuario ed Oratorio di Coronata (ME) – Tav. 16 Assetto Insediativo
- 812 – Palazzo Durazzo – Bombrini (ME) – Tav. 16 Assetto Insediativo
- 814 – Abazia di Cornigliano (ME) – Tav. 16 Assetto Insediativo

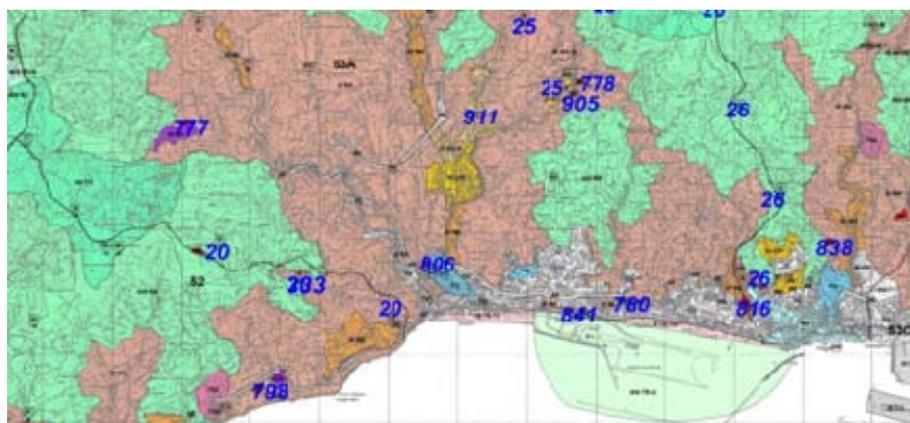


Figura 13.4 - P.T.C.P. – Assetto Insediativo – Particolare Tavola 15 con evidenziati i manufatti emergenti

GENOVA	777	ME	F	CIMA CASTELLO	Morfologia di insediamento militare medievale
	787	ME	F	MONTE PENNONE	Morfologia e tracce archeologiche di insediamento arroccato preromano
	798	ME	I	VESIMA	Resti di ospitale medievale sull'antico tracciato dell'Aurelia
	806	ME	S	SANTUARIO DI NOSTRA SIGNORA DELLE GRAZIE	Con chiesa tardomedievale
	816	ME	F	TORRE CAMBIASO	Morfologia e tracce archeologiche di insediamento arroccato preromano
	827	ME	F	MONTE PENNELLO	Resti di fortificazione moderna, nei pressi caselle e neviere
	838	ME	F	CASTELLO	Morfologia di insediamento militare medievale
	840	ME	F	CASTELLARO	Morfologia e scavi archeologia di insediamento arroccato della Seconda Età del Ferro
	841	ME	V	VILLA DORIA	Villa Doria e altra villa seicentesca, a levante del casello autostradale
	905	ME	S	ACQUASANTA	Santuario del XVII sec.
	778				
	906	ME	I	CANNELLONA	Tipica stazione stradale lungo la medievale mulattiera di crinale che univa l'approdo di Voltri alla Valle Stura
	780	ME	S	SAN PIETRO DI PRA'	Chiesa medievale

Tabella 13-1 - P.T.C.P. - Tavola 15 - Elenco dei Manufatti Emergenti

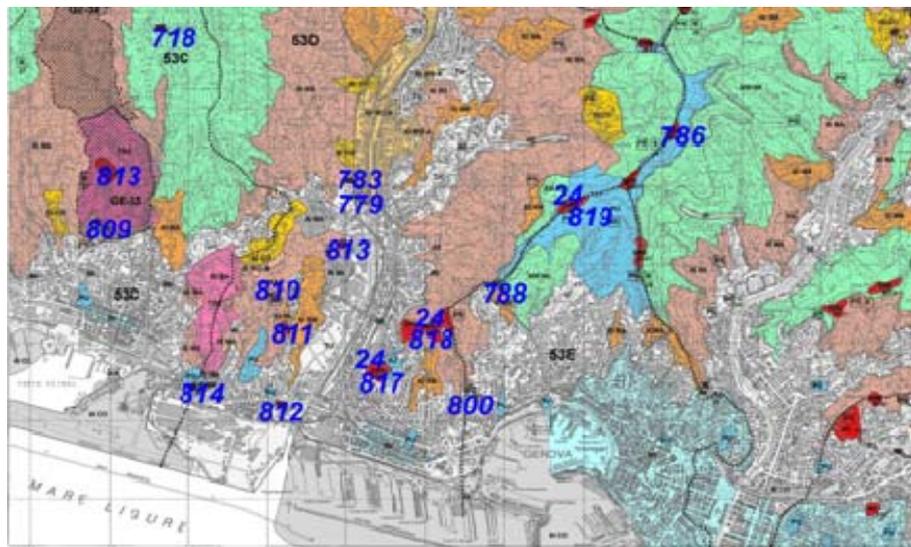


Figura 13.5 - P.T.C.P. - Assetto Insediativo - Particolare Tavola 16 con evidenziati i manufatti emergenti

GENOVA				
779	ME	A	FEGINO	Tracce archeologiche di fabbriche di ceramica di Età Romana
781	ME	S	CASSINELLE	Chiesa medievale sulla mulattiera da Sestri Ponente per incisa e le Capanne di Marcarolo o il valico della Bocchetta
782	ME	E	PRIA-SCUGENTE	Miniere preindustriali di rame
783	ME	R	COMMENDA DI FEGINO	Insegiamento medievale
784	ME	F	CASTELLARO DI CREMENO	Insegiamento arroccato preromano ed altomedievale a tutela della strada proveniente da Genova per Granarolo e Begato e diretta a Tortona, per Morego-Bocchetta o passo della Vittoria
785	ME	R	CAMPORA DI GEMINIANO	Insegiamento di Età Romana, Repubblicana ed altomedievale sulla strada Genova-Tortona
786	SME	F	FORTE PUIN	Tracce archeologiche e morfologia di insegiamento arroccato preromano
788	ME	I	GRANAROLO	Antico valico sulla strada che da Genova portava in Polcevera per Begato, Geminiano, Cremeno, in direzione della Padania
789	ME	I	STAGLIENO	Resti dell'acquedotto romano
790	ME	R	PIINO SOTTANO	Insegiamento lardoanico su ripiano di mezzacosta
791	ME	I	LEAMARA	Insegiamento stradale medievale sulla via da Genova a Piacenza per Boveri, sulla sponda sinistra del Bisagno
792	ME	S	MADONNA DEL MONTE	Santuario con convento del XVII sec. con parco di macchia mediterranea
793	SME	F	PIANDERLINO	Resti di insegiamento arroccato preromano
794	ME	R	PIANDERLINO	Resti di insegiamento rurale di Età Romana sulla strada da Genova, per Boveri, a Piacenza
795	ME	F	CASTELLARO DI SANTEUSEBIO	Morfologia di insegiamento arroccato preromano
796	ME	F	CASTELLUZZO DI MOLASSANA	Castello altomedievale del Vescovo a controllo della Curia di Molassana e della strada da Genova a Piacenza per San Siro di Struppa, nella sponda destra del Bisagno
797	ME	F	CASTELLARO DI MOLASSANA	Insegiamento arroccato preromano
799	ME	I	LENCISA	Valico della mulattiera medievale di crinale che univa la costa all'alta valle del Verde
1104	ME	F	MONTI BASTIA	Morfologia tipica di insegiamento militare tardomedievale
1103	ME	I	TORRAZZA	Valico tra la Val Bisagno e la Val Polcevera all'incrocio con la strada di crinale da Genova per il passo Orero
1102	ME	R	CIAN DELLE CROSE	Tracce archeologiche di insegiamento tardo antico
800	ME		VILLA TOMATI	
809	ME	A	FORNACI	Grandi fornaci da calce del sec. XVIII
810	ME	V	VILLA ASPIONATI-MARSELLO	Villa Asplonati-Marsello a Coronata
811	ME	S	SANTUARIO	Santuario e oratorio di Coronata
812	ME		PALAZZO DURAZZO-BOMBRINI	Palazzo Durazzo Bombrini a Comigliano
813	ME	S	MADONNA DEL GAZZO	Santuario d'Età Moderna, in posizione dominante
814	ME	S	ABAZIA DI CORNIGLIANO	Abazia di Cornigliano
815	ME	S	CONVENTO	Boschetto di Comigliano, convento
817	SME	F	FORTE BELVEDERE	Forte Belvedere
818	SME	F	FORTE CROCETTA	Forte Crocetta
819	SME	F	FORTE BEGATO	Forte Begato
820	SME	F	FORTE SPERONE - FORTE TENAGLIA	Forte Sperone - Forte Tenaglia
821	SME	F	CASTELLACCIO	Torre della Specola
822	ME	F	TORRE DI S. BERNARDINO	Torre di S. Bernardino
823	SME	F	FORTE FRATELLO MINORE	Forte Fratello Minore
824	ME	V	VILLA CAMBIASO	Villa Cambiaso a Maneseno
825	ME		VILLA NEGRONE-DURAZZO	Villa Negrone-Durazzo a Pino Sottano
826	SME	R	INSEGIAMENTO	Insegiamento protostorico di altura
828	SME	F	FORTE RATTI	Forte Ratti
829	SME	F	FORTE RICHELIEU	Forte Richelieu
830	SME	F	TORRE QUEZZI	Torre Quezzi
831	SME	F	FORTE QUEZZI	Forte Quezzi
832	SME	F	FORTE DI S. TECLA	Forte di S. Tecla
833	ME		VILLA BOCCANEGRA	Villa Boccanegra restaurata nel 1600
834	ME		VILLA	Villa con cappella del quattrocento
835	ME	F	FORTE S. MARTINO	Forte S. Martino

Tabella 13-2 - P.T.C.P. - Tavola 16 - Elenco dei Manufatti Emergenti

Sinteticamente si può concludere quanto segue:

Provvedimento	Tipo di vincolo	Giudizio di conformità
<i>Piano Urbanistico Comunale</i>	Destinazione d'uso del territorio	La realizzazione del deposito a mare non pregiudica gli utilizzi attuali e previsti delle aree retrostanti (aeroporto) e Cornigliano. E' necessario predisporre una variante che recepisca la presenza della nuova area imbonita.
<i>Piano di Coordinamento Territoriale per gli Insegiamenti Produttivi dell'area Centrale Ligure</i>	Destinazione d'uso del territorio	La realizzazione del deposito a mare non pregiudica gli utilizzi attuali e previsti delle aree retrostanti (aeroporto) e Cornigliano. E' necessario predisporre una variante che recepisca la presenza della nuova area imbonita.
<i>Piano di Coordinamento Territoriale Paesistico</i>	Tutela dei caratteri morfologici – vegetazionali ed insediativi del territorio	La realizzazione del deposito a mare non pregiudica gli utilizzi attuali e previsti delle aree retrostanti (aeroporto) e Cornigliano. E' necessario predisporre una variante che

		<p>recepisca la presenza della nuova area imbonita.</p> <p>Tutti i manufatti emergenti sono esterni all'area di intervento e sufficientemente lontani per subire interferenze visive.</p>
<i>Piano Regolatore Portuale</i>	Destinazione d'uso del territorio	<p>Per quanto attiene alle aree retrostanti, la presenza del deposito non pregiudica né gli usi attuali né le future destinazioni d'uso. Per quanto attiene al Canale di Calma, il deposito non modifica gli usi attuali. Si segnala altresì che il PRP non prevede alcuna modifica della geometria del Canale di Calma, per la quale dovrebbe essere predisposta apposita variante da parte dell'Autorità portuale, firmataria del protocollo di intesa del 05.02.2007</p>
<i>L. 426/88 Istituzione del santuario dei cetacei</i>	Tutela dei mammiferi marini	<p>Si ritiene che l'opera non interferisca in alcun modo con le attività di tutela dei mammiferi marini in base ai seguenti motivi:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. la colmata viene realizzata in ambito portuale, ove normalmente questi animali non sono presenti. 2. la qualità delle acque marine non viene modificata. Le acque situate all'interno della colmata vengono scaricate in solo a valle di un trattamento che assicura il rispetto dei limiti di legge. Lo scarico è situato all'interno del Canale di Calma e non influenza le aree esterne all'area portuale.
<i>L.58/1963</i>	Sicurezza delle attività di decollo ed atterraggio	<p>Durante la realizzazione dell'opera non sono presenti equipaggiamenti o macchinari di altezza tale da forare le superfici di rispetto. La quota finale della colmata è a livello della attuale superficie.</p> <p>Si segnala altresì che la realizzazione della colmata consente di ampliare la striscia di sicurezza della pista (runway strip) che attualmente è inferiore (105 m) rispetto alle prescrizioni ENAC, le quali richiedono una ampiezza di 150 m, per aeroporti di 3 e 4 categoria cui appartiene quello di Genova.</p>

Tabella 13-3 - Quadro di sintesi dei rapporti di conformità del progetto

Concludendo il progetto risulta compatibile con gli intenti degli strumenti di programmazione; questi però necessitano di un'adeguata variante per recepire la nuova area imbonita, in particolar modo il Piano Regolatore Portuale.

14 IMPATTO OPERA - PAESAGGIO

Il deposito a mare antistante la piattaforma aeroportuale avrà una lunghezza ,sul lato mare, di circa 3493 m e una larghezza di circa 165 m comportando una riduzione del Canale di Calma a 75 m.

La stessa piattaforma aeroportuale esistente su cui si innesta il deposito a mare verso il Canale di Calma detta la forma morfologica logica, quasi ovvia, dell'intervento stesso, che si sviluppa linearmente seguendo l'andamento delle banchine esistenti, come se fosse la loro continuità .

Le modificazioni della struttura del paesaggio sono perciò riconoscibili visivamente principalmente sul Canale di Calma che viene così riconfigurato. L'intervento, pur presentando una porzione della superficie centrale occupata da un rilevato con quote di sommità comprese tra 4,25 m e 4,31 m (l.m.m.) e la restante superficie complanare a quella esistente della piattaforma aeroportuale, si presenta visivamente poco impattante e non comporta alcuna alterazione sulla normale fruibilità del canale stesso, unico elemento seriamente interferito dall'opera. Infatti il rilevato centrale presenta, per tutto il suo sviluppo, un'altezza mediamente inferiore a quella del muro paraonde dell'esistente Diga Foranea.

La piattaforma aeroportuale, invece, con il suo allargamento permetterà l'adeguamento della stazione aeroportuale alle normative vigenti e la ripresa del prato anche sulla parte nuova comporta una continuità visiva tra le due parti, riducendo così qualitativamente l'impatto della nuova opera.

La modificazione del paesaggio direttamente ed indirettamente generata dalla realizzazione dell'opera assume dimensioni significative in relazione alle caratteristiche geografiche e morfologiche del paesaggio stesso, alla sensibilità paesaggistica, ovvero alla qualità del paesaggio, del sito coinvolto ed alle caratteristiche progettuali della nuova opera.

Trattandosi di valutazioni queste che afferiscono quasi totalmente al campo della percezione soggettiva, le tecniche formalmente precise per la valutazione degli impatti visivi sono estremamente limitate.

Una distinzione proposta da alcuni autori tra le tipologie di impatto visivo fa riferimento a:

- ostruzione visuale
- Intrusione visuale.

La prima individua la possibile significativa occupazione del campo visuale da parte delle opere progettate, presentandosi quindi come un indicatore della copertura dell'angolo visivo che consente perciò di valutare la dimensione dei nuovi manufatti in rapporto alla loro distanza dall'osservatore e le dimensioni di ciò che effettivamente viene schermato dall'ingombro dell'opera.

L'intrusione visiva, individuata anche nel già citato DPCM del 12 Dicembre 2005, è, invece, un indicatore di tipo qualitativo, che consente di valutare se la forma, il materiale ed il colore dell'opera sono in armonia con il contesto esistente e quindi compatibili con gli elementi più sensibili del paesaggio e non in contrasto od estranei ai suoi caratteri peculiari compositivi. L'analisi e la valutazione del livello di intrusione visuale dell'opera dovranno dunque far riferimento ad una più estesa analisi paesaggistica del territorio interessato dall'opera, che ne evidenzia le potenzialità e le particolarità, quali emergenze storico - archeologiche, monumenti naturali, aree naturali,..., individuando e descrivendo inoltre i probabili effetti dell'introduzione della nuova opera.

Allo scopo di simulare perciò l'intrusione del nuovo manufatto nel paesaggio preesistente si possono utilizzare diverse tecniche, tra le quali citiamo i fotorendering e i modelli in scala, come quelle più utilizzate.

Si dovranno inoltre analizzare il campo di visibilità dell'opera da punti panoramici o percorsi frequenti e la capacità di assorbimento visuale dell'opera, ossia la sua non intrusione in ambiti di visuale privilegiati.

Il paesaggio aeroportuale ed industriale di Cornigliano è caratterizzato da una disordinata volumetria di elementi in buona parte in cattivo stato di conservazione e privi di una uniformità stilistica e tipologica a cui fa il verso la rigida, piatta ed ordinata piattaforma aeroportuale dove sono chiaramente identificabili e facilmente percepibili la pista e i confini in acqua, andando a dominare così la scena visiva o, usando le parole contenute nell'Allegato del DPCM del 12 Dicembre 2005, "l'assetto percettivo, scenico o panoramico".



Figura 14.1 - Vista di Cornigliano – La piattaforma aeroportuale risulta un elemento facilmente percepibile rispetto alle disordinate volumetrie che la circondano a terra

Per simulare gli effetti e gli impatti del futuro deposito a mare sul contesto visivo sono stati perciò individuati i punti di vista considerati appunto di maggiore valore paesaggistico e cioè quei punti che hanno una certa frequentazione e da cui sarà possibile vedere l'opera in esame.



Figura 14.2 - Vista con l'individuazione dei bacini visivi

E' da evidenziare che l'area di intervento risulta impercettibile all'occhio del comune osservatore che si trova a percorrere le principali vie di Cornigliano dove il denso tessuto urbano, caratterizzato da un'edilizia popolare degli anni '50 e '60 a cui fanno il verso gli alti capannoni delle centrali siderurgiche, rappresenta un vero e proprio ostacolo visivo.



Figura 14.3 e Figura 14.4 - I palazzi e le fabbriche impediscono la visuale della nuova opera

Bisogna perciò iniziare a risalire i versanti fortemente acclivi dell'entroterra per avere una parziale influenza visuale dell'opera, intravedendola sempre però da un punto di osservazione così lontano e soprattutto da un'altezza dell'osservatore tale da distorcere la stessa angolazione visiva rendendo così quasi impercettibile la nuova configurazione del canale di calma con il suo relativo restringimento.



Figura 14.5 - Vista da viale Villa Gavotti - La lontananza dell'osservatore farà intravedere difficilmente l'intervento

La diversa conformazione della piattaforma aeroportuale si scorderà meglio dalla vetta di Pegli dove, grazie alla particolare angolazione visiva, l'occhio coglierà pienamente gli elementi del paesaggio proporzionandoli tra di loro, cosicché all'abituale osservatore balzerà subito l'allargamento dell'aeroporto e il restringimento della sezione del Canale di Calma.



Figura 14.6 - Vista dalla vetta del Pegli - La particolare angolazione permetterà all'osservatore di cogliere pienamente l'intervento

L'osservatore privilegiato sarà colui invece che attraverserà il Canale di Calma o si troverà a percorrere la strada di servizio della piattaforma aeroportuale dove la stretta vicinanza all'opera consentirà un'immediata cognizione dell'intervento in toto, non solo dal punto di vista qualitativo ma anche dal punto di vista tecnico - funzionale.

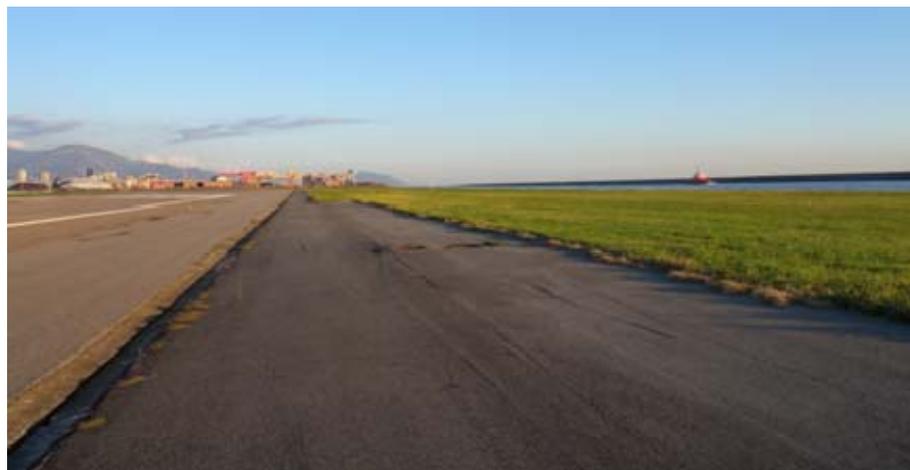


Figura 14.7 - Vista dalla piattaforma aeroportuale - La particolare vicinanza all'opera permetterà di coglierla in toto.

Infine l'osservatore che atterrerà sulla piattaforma aeroportuale, qualora guardasse il paesaggio a terra e in condizioni di buon tempo atmosferico, potrà cogliere pienamente il nuovo intervento.

Dal punto di vista della "intrusione visiva" si può perciò osservare che l'intervento è ben inserito nel contesto paesaggistico, in armonia e compatibilità con quanto esistente. La linearità del futuro riempimento richiama infatti quella dell'esistenti banchine limitrofe e la scelta di continuità dell'esistente dal punto di vista qualitativo (scelta del materiale di realizzazione e colorimetria dell'opera) non fa altro che aumentare l'assorbimento visivo dell'opera stessa.

Dal punto di vista altimetrico, invece, la necessità di portare le quote finali di progetto ad un'altezza relativa di circa 2.50 mt rispetto alle limitrofe esistenti comporta la formazione di un rilevato che però risulta armoniosamente inserito nel contesto grazie alla continuità materica e colorimetrica derivante dal manto erboso di rivestimento del rilevato stesso.

Dal punto di vista della "ostruzione visiva" si può osservare invece che la preclusione visiva indotta dall'ingombro dell'opera è estremamente limitata, soprattutto in virtù della scelta tipologica dell'intervento, che si presenta a tipologia in linea riprendendo gli stilemi architettonici già esistenti.

Di fatto, dunque, la visibilità non subisce consistenti modificazioni e l'opera si presenta come un elemento che non è in grado di alterare la percezione scenica e di insieme della zona. Inoltre la sua dimensione limitata in altezza non fa altro che diminuire l'impatto dell'opera stessa soprattutto dai punti di vista più lontani che però risultano anche gli unici maggiormente fruibili dal comune visitatore.



Figura 14.8 e Figura 14.9 - Vista della piattaforma aeroportuale - Confronto ante operam - post operam



Figura 14.10 e Figura 14.11 - Vista dalla piattaforma aeroportuale - Confronto ante operam - post operam

Il futuro riempimento a mare, pur presentando dimensioni importanti, risulta essere un'opera a basso impatto visivo grazie a scelte progettuali congruenti con l'esistente. La sua natura tipologica, infatti, risulta fondamentale all'aeroporto permettendone l'adeguamento alle vigenti

normative e le misure di mitigazioni adottate, quali l'utilizzo di materiali ben inseriti nel contesto, la ripresa del prato esistente anche sulla parte nuova, la tipologia a linea tipica delle banchine limitrofe e la scelta adottare modeste altezze del rilevato, rendono il progetto visivamente poco impattante e nel complesso le attuali caratteristiche sceniche del paesaggio non subiscono alterazioni.

15 ESPROPRI ED OCCUPAZIONI TEMPORANEE

Ai fini della corretta redazione degli elaborati relativi ai piani particellari di esproprio si è provveduto a richiedere presso l'Agenzia del Territorio di Genova i fogli catastali (vedasi Figura 15.1) necessari per la corretta individuazione dei proprietari interferiti dall'opera progettuale precedentemente descritta.



Figura 15.1 - Foto aerea con individuazione dei fogli catastali interessati dall'opera

Successivamente con l'ausilio della Carta Tecnica Regionale e di foto aeree si è provveduto a sovrapporre e rototraslare i fogli catastali in modo da farli coincidere con lo stato attuale per procedere alla corretta catalogazione delle particelle interferite dal progetto.

Durante la fase di analisi patrimoniale delle aree interferite dall'opera sia in termini di esproprio che di occupazione temporale si è evidenziata una certa difficoltà nel rilevare catastalmente i proprietari. Questo è dovuto essenzialmente ad una serie di modifiche avvenute a partire dall'ottobre 2005, quando con l'atto Modificato all'Accordo di Programma del 1999 è stato definito il quadro complessivo dell'area, con una superficie di circa 1.525.000 mq., già occupata dall'impresa siderurgica *ILVA spa*, parte a titolo di concessione demaniale e parte in proprietà.

Con Legge Regionale n.22 del 13/06/2002 si promuove la costituzione della *Società per Cornigliano Spa*, partecipata per il 45% da Regione Liguria, per il 22,5% ciascuno da Provincia e Comune di Genova e per il 10% da Sviluppo Italia Spa, società interamente partecipata dal Ministero del Tesoro, che è divenuta proprietaria di una buona parte della suddetta area e, più precisamente, di 1.316.000 mq, dei quali 1.231.000 ex demaniali (sdemanzializzati nel 2004, trasferiti dapprima al patrimonio disponibile dello Stato, successivamente alla Regione Liguria ed, infine, conferite in conto capitale alla Società per Cornigliano).

ILVA spa ha acquistato 85.000 metri quadri.

Altri circa 154.000 mq sono rimasti *demaniali*, precisamente, 76.000 mq. per il demanio marittimo (area banchina, con una concessione rinnovata ad ILVA spa) e 78.000 mq. per il demanio aeronautico (utilizzate dall'Aeroporto di Genova).

Del 1.316.000 mq della *Società per Cornigliano*, su un'area di 1.050.000 mq è stato costituito un diritto di superficie in favore di ILVA con una durata di 60 anni, mentre i restanti 266.000 mq saranno dapprima oggetto di un intervento di demolizione e smantellamento degli impianti presenti e di una bonifica ambientale. Successivamente:

- 144.000 mq verranno messi a disposizione dell'autorità Portuale per essere destinati a funzioni logistico – portuali, come il distripark;
- 60.000 mq verranno utilizzati per la realizzazione della strada di scorrimento;
- 62.000 mq saranno destinati a funzioni urbane

Nella Figura 15.2 si riporta l'assetto distributivo dell'area con l'individuazione patrimoniale mentre in Figura 15.3 vi è una suddivisione più dettagliata.

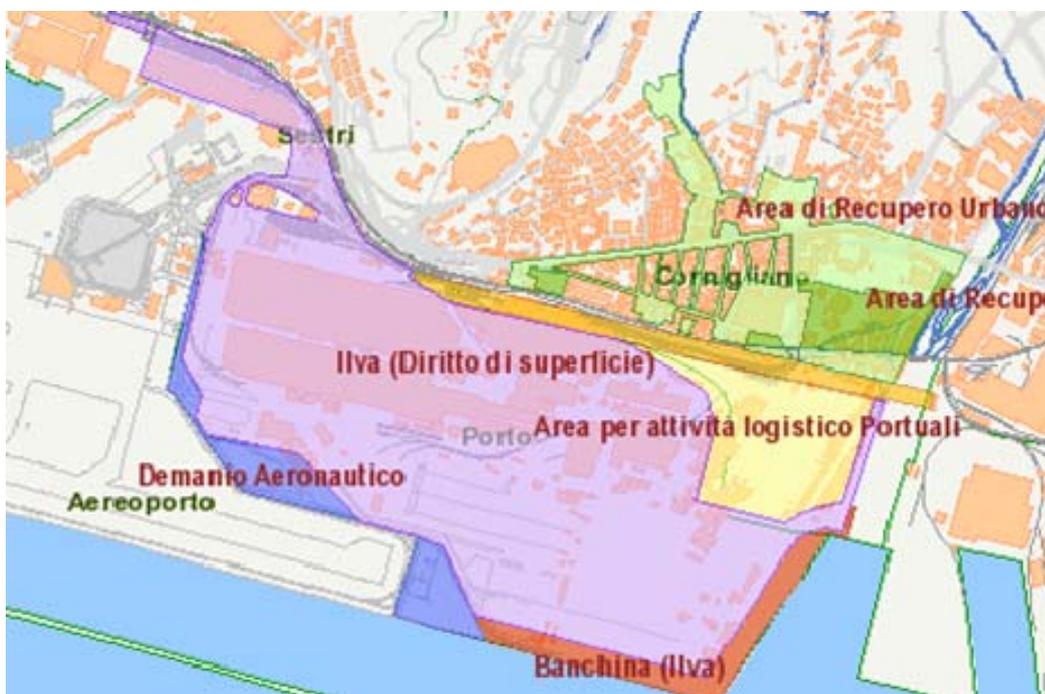


Figura 15.2 - Distribuzione futura dell'area interessata dall'Accordo di Programma del 1999

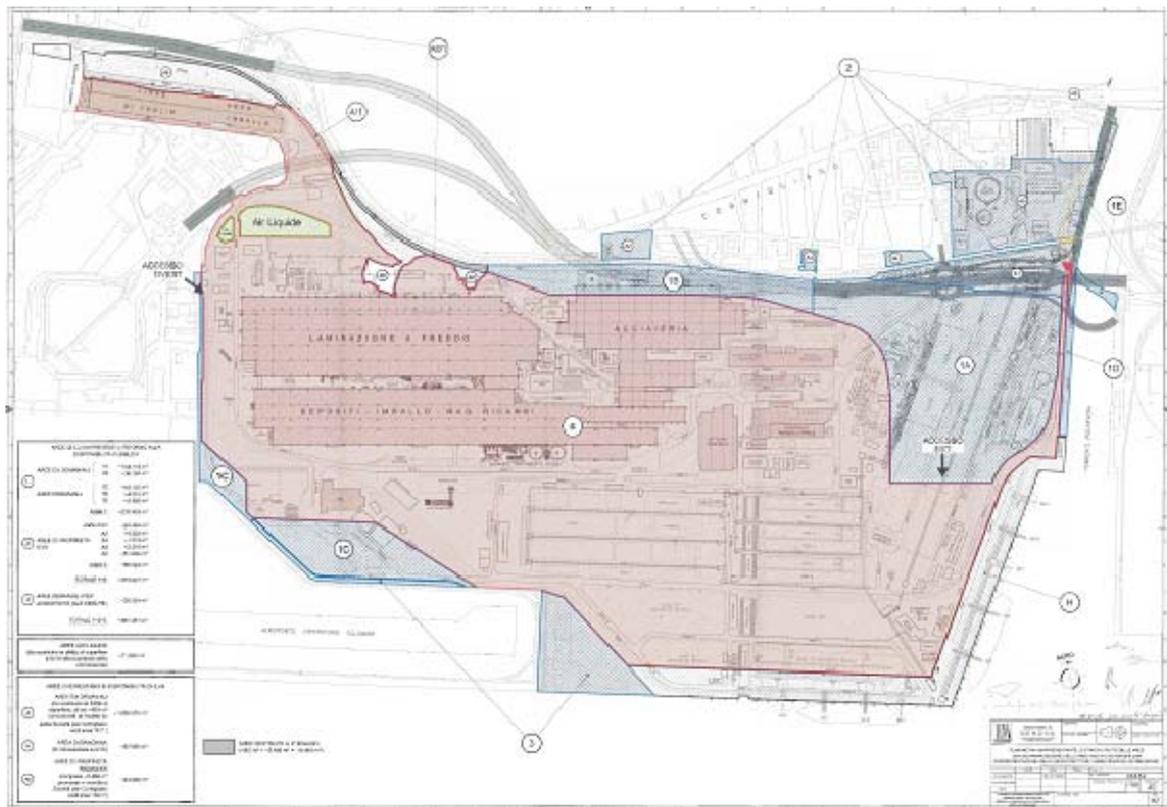


Figura 15.3 - Suddivisione dettagliata dei futuri spazi

La realizzazione del futuro deposito a mare comporterà necessariamente:

- la formazione di un nuovo terreno in corrispondenza del canal di calma;
- la formazione di occupazione temporanea ai fini della corretta realizzazione dell'opera;

Ai fini della corretta redazione degli elaborati si terrà conto della normativa di riferimento costituita da:

- D.P.R. 8 Giugno 2001, n. 327;
- D. Lgs. 27 dicembre 2002, n.302;

- D. Lgs. 27 dicembre 2004, n. 330;
- Legge Finanziaria 24 Dicembre 2007, n.244;
- Costante giurisprudenza della Suprema Corte di Cassazione.

In particolare per quanto riguarda la formazione del nuovo terreno derivante dall'allargamento della piattaforma aeroportuale, visti anche gli articoli 945 e 1145 del Codice Civile, considerata non solo la futura destinazione d'uso ma anche l'attuale situazione patrimoniale della suddetta piattaforma, si ipotizza ragionevolmente che la proprietà di questo nuovo spazio possa ricadere al Demanio Pubblico dello Stato – Ramo Aeronautica con concessione all'Aeroporto di Genova.

Per quanto concerne l'occupazione temporanea derivante dalla cantierizzazione necessaria alla corretta realizzazione dell'opera si è provveduto ad occupare lungo tutto il perimetro della piattaforma aeroportuale e su una parte della banchina in concessione ad Ilva spa una fascia costante di 3,00 metri di larghezza soggetta però a maggiorare in corrispondenza della risoluzione delle interferenze relative al Rio Secco ed al Rio Roncallo.

Un'ulteriore occupazione temporanea sarà destinata alla fascia dove corre lo "slurrydotto", ossia le tubazioni destinate al trasporto in forma di fanghi (slurry) dello smarino potenzialmente amiantifero proveniente dallo scavo delle gallerie in sponda destra del torrente Polcevera. Queste tubazioni, partendo dalla piattaforma logistica individuate per la gestione del materiale in prossimità della sponda destra Polcevera, attraverseranno l'area ex Ilva, attualmente di proprietà della Società per Cornigliano spa, fino a raggiungere le vasche di contenimento del suddetto materiale.

Infine anche per la piattaforma logistica destinata alla gestione del materiale si prevederà un'occupazione temporanea.

E' da evidenziare che gran parte delle aree oggetto di occupazione temporanea ricadono in proprietà della Società per Cornigliano spa (vedasi Figura 15.3) che sta provvedendo alla trasformazione dell'area sulla base dell'Accordo di Programma del 1999 e sua successiva modifica. Tali aree saranno date poi in concessione ad Ilva spa.

Provvisoriamente si è perciò provveduto a stimare economicamente le suddette aree attraverso un criterio sintetico comparativo con realtà progettuali simili, tenendo conto però della necessaria verifica dell'effettiva entità del ristoro in quanto la Società per Cornigliano spa è costituita per la maggior parte da enti pubblici che hanno già sottoscritto accordi di programma e protocolli di intesa.

Qualora la Società per Cornigliano spa formalizzasse la concessione dell'area ad Ilva spa, i due enti attraverso una specifica convenzione si dovranno impegnare a garantire la continuità di esercizio dello slurrydotto.