

PROGETTO ESECUTIVO

CUP C31H20000060001

CIG 8934474130

RIF. PERIZIA

2879 FASE 2

TITOLO PROGETTO

Adeguamento alle norme in materia di sicurezza dei luoghi di lavoro, nonché la razionalizzazione dell'accessibilità dell'area portuale industriale di Genova Sestri Ponente

ELAB. N°	TITOLO ELABORATO	SCALA
0010	Idraulica e Marittima Studio degli effetti del deviatore sull'asta terminale del Torrente Cantarena in corrispondenza della banchina di allestimento	-

COD. PROG	AMBITO	OPERA	DISCIPLINA	FASE	ELAB.N°	REV.	NOME FILE
2879-F2	GE	D	I	PE	0010	C0	2879-F2-GE-D-I-PE-0010-C0.docx

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
C0	16/12/2022	Rimissione dell'elaborato 2789-F2-GE-D-I-PE-0010-C0	A. Gozzi	A. Marani	A. Scotti

UFFICIO DIREZIONE LAVORI RINA CONSULTING S.p.A.  Direttore Lavori: Ing. Alessandro Aliotta C. S. E.: Ing. Emilio Puppo	COORD. PROGETTUALE E SUPP. TECNICO-GESTIONALE RINA CONSULTING S.p.A. 
---	--

Impresa Appaltatrice: A.T.I.  Consorzio Stabile Grandi Lavori S.c.r.l. <small>Consorzio Stabile Grandi Lavori Scrl Piazza del Popolo 18 00187 Roma</small> Imprese consorziate esecutrici:  FINCOSIT <small>G.S. Edil Società Cooperativa</small>	 
--	--

Progettista Indicato: R.T.P.     

Responsabile dell'integrazione delle prestazioni specialistiche: Ing. Alberto Scotti	Progettazione specialistica: Ing. Antonio Gozzi
---	--

D.E.C.	VERIFICATORE	VALIDATO R.U.P.	IL RESP. DELL'ATTUAZIONE
Geom. Simone Bruzzese	R.T. Conteco Check S.r.l. RINA Check S.r.l.	Ing. Marco Vaccari	Dott. Umberto Benezzoli

PROGETTO ESECUTIVO

CUP C31H2000060001

CIG 8934474130

RIF. PERIZIA

2879 FASE 2

TITOLO PROGETTO

Adeguamento alle norme in materia di sicurezza dei luoghi di lavoro, nonché la razionalizzazione dell'accessibilità dell'area portuale industriale di Genova Sestri Ponente

ELAB. N°	TITOLO ELABORATO	SCALA
0010	Studio degli effetti del deviatore sull'asta terminale del Torrente Cantarena in corrispondenza della banchina di allestimento	-

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO
C0	06/05/2022	Emissione per approvazione	A. Gozzi

CODICE PROGETTO	CODICE ELABORATO	REVISIONE	NOME FILE
2879-F2	GE-D-I-PE-0010	C0	2879-F2-GE-D-I-PE-0010-C0.docx

<p>UFFICIO DIREZIONE LAVORI RINA CONSULTING S.p.A.</p>  <p>Direttore Lavori: Ing. Alessandro Aliotta C. S. E.: Ing. Emilio Puppo</p>	<p>COORD. PROGETTUALE E SUPP. TECNICO-GESTIONALE RINA CONSULTING S.p.A.</p> 
<p>Impresa Appaltatrice: A.T.I.</p>  <p>Consorzio Stabile Grandi Lavori S.c.r.l.</p> <p>Consorzio Stabile Grandi Lavori Scrl Piazza del Popolo 18 00187 Roma</p> <p>Imprese consorziate esecutrici:</p>  <p>FINCOSIT</p>  <p>G.S. Edil Società Cooperativa</p>	 
<p>Progettista Indicato: R.T.P.</p>     	
<p>Responsabile dell'integrazione delle prestazioni specialistiche: Ing. Alberto Scotti</p>	<p>Progettazione specialistica: Ing. Antonio Gozzi</p>

D.E.C.	VERIFICATORE	VALIDATO R.U.P.	IL RESP. DELL'ATTUAZIONE
Geom. Simone Bruzzese	R.T. Conteco Check S.r.l. RINA Check S.r.l.	Ing. Marco Vaccari	Dott. Umberto Benezzoli

INDICE

1	Premessa.....	4
2	La foce del t. Cantarena.....	6
3	La soluzione proposta.....	7
4	Il modello applicato.....	14
4.1	Il software utilizzato.....	14
4.2	La schematizzazione 2D.....	17
4.3	La schematizzazione accoppiata 2D – 3D.....	20
4.4	La batimetria.....	21
4.5	Le condizioni al contorno.....	23
4.6	La scabrezza del fondale.....	24
5	I risultati ottenuti – Modello 2D.....	25
5.1	Situazione attuale.....	25
5.2	Situazione di progetto originale.....	28
6	I risultati ottenuti - Modello accoppiato 2D – 3D.....	31
6.1	Modello accoppiato 2D – 3D –Q= 76 m3/s e livello del mare + 1m s.l.m.m.....	31
6.1.1	Configurazione futura senza deviatore.....	31
6.1.2	Configurazione futura con deviatore.....	36
6.1.3	Confronto dei livelli idrometrici senza e con deviatore.....	41
6.2	Modello accoppiato 2D – 3D –Q= 76 m3/s e livello del mare + 0 m s.l.m.m.....	42
7	Conclusioni.....	47

ATI:



**Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.**

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



**CONSORZIO
INTEGRA**



RTP:



SJS ENGINEERING
A DBA Group Company

INDICE FIGURE

Figura 2.1	Area di intervento nella configurazione attuale (tracciato attuale del rio Cantarena in viola	6
Figura 3-1	Area di intervento nella configurazione di progetto (nuovo tracciato rio Cantarena in azzurro).	7
Figura 3-2	Rappresentazione planimetrica della configurazione di progetto on la progressiva delle sezioni verticali. In viola t. Cantarena attuale, in verde torrente di progetto, in rosso deviatore.....	8
Figura 3-3	Sezione 2, 4 e 5 della situazione attuale (grigio) e di progetto (rosso) del rio Cantarena....	9
Figura 3-4	Sezione 10 e 12 della situazione attuale (grigio) e di progetto (rosso) del rio Cantarena..	10
Figura 3-5	Sezione 14 della situazione attuale (grigio) e di progetto (rosso) del rio Cantarena.....	11
Figura 3-6	Visualizzazione schematica e prospettica dell'intervento.....	13
Figura 3-7	Planimetria dell'intervento modificato: in rosso la parte di deviatore chiuso su tutta l'altezza, in blu la parte di deviatore chiuso fino ad una profondità di 2 m dal livello medio mare.....	13
Figura 4-1	Schematizzazione 2D – Griglia di calcolo.....	18
Figura 4-2	Schematizzazione 2D – Griglia di calcolo - dettaglio.....	19
Figura 4-3	Schematizzazione 2D – Griglia di calcolo – risoluzione spaziale.....	19
Figura 4-4:	Schematizzazione 2D – 3D accoppiata: in blu la griglia della schematizzazione 2D, in rosso la griglia della schematizzazione 3D.....	20
Figura 4-5	sezione trasversale della schematizzazione 3D (sezione A).....	21
Figura 4-6	Batimetria associata alle due griglie di calcolo (sia 2D che 2D-3D).....	22
Figura 4-7	Condizioni al contorno del modello di calcolo: in rosso la sezione con imposta la portata del t. Cantarena, in viola le sezioni con imposto il livello del mare.....	23
Figura 4-8	Andamento delle portate del t. Cantarena: in blu l'evento con TR = 200 anni, in arancio la portata massima transitabile nella configurazione attuale del rio.....	24
Figura 5-1	Portata massima defluibile nella situazione attuale (Q=20 m3/s): profilo longitudinale dei livelli idrometrici (profilo A).....	26
Figura 5-2	Distribuzione delle velocità con la portata massima di 20 m3/s.....	26
Figura 5-3	Confronto tra il profilo idrometrico con portata massima di 20 m3/s e quello ipotetico con portata massima di 76 m3/s (TR=200 anni).....	27
Figura 5-4	Distribuzione delle velocità con la portata massima di 76 m3/s.....	28
Figura 5-5	Campo delle velocità allo sbocco del t. Cantarena nella configurazione futura senza deviatore.....	29
Figura 5-6	Profili lungo l'asse del t. Cantarena nella configurazione futura.....	29
Figura 6-1	Andamento dei livelli senza deviatore.....	32
Figura 6-2	Distribuzione delle velocità nel layer superficiale senza deviatore.....	33
Figura 6-3	Distribuzione delle velocità nel layer a metà colonna d'acqua (layer 3) senza deviatore..	34
Figura 6-4	Profilo idrometrico e velocità in asse alla sezione di foce senza deviatore.....	34

ATI:



RTP:



Figura 6-5	Profilo idrometrico e velocità in asse longitudinale del futuro deviatore.....	35
Figura 6-6	Andamento dei livelli con il deviatore modificato	36
Figura 6-7	Distribuzione delle velocità nel layer superficiale con il deviatore modificato.....	37
Figura 6-8	Distribuzione delle velocità nel layer a metà colonna d'acqua (layer 3) nella configurazione con deviatore.	38
Figura 6-9	Configurazione futura con deviatore: Distribuzione verticale delle velocità in asse alla sezione di sbocco	39
Figura 6-10	Configurazione futura con deviatore: Distribuzione verticale delle velocità nella sezione a fondo aperto (B).....	40
Figura 6-11	Configurazione futura con deviatore: Distribuzione verticale delle velocità lungo il profilo longitudinale in asse al deviatore (sezione C).....	40
Figura 6-12	Confronto dei profili idrometrici in asse alla sezione di sbocco tra le configurazioni senza e con deviatore	42
Figura 6-13	Confronto dei profili idrometrici in asse alla sezione di sbocco tra le configurazioni senza e con deviatore	43
Figura 6-14	Configurazione futura senza deviatore: Distribuzione verticale delle velocità in asse alla sezione di sbocco.	44
Figura 6-15	Configurazione futura con deviatore: Distribuzione verticale delle velocità in asse alla sezione di sbocco	44
Figura 6-16	Configurazione futura con deviatore: Distribuzione verticale delle velocità nella sezione a fondo aperto (B).....	45
Figura 6-17	Configurazione futura con deviatore: Distribuzione verticale delle velocità lungo il profilo longitudinale in asse al deviatore (sezione C). Livello bacino portuale 0.00 m s.l.m.....	46

ATI:



RTP:



1 PREMESSA

In data 22 dicembre 2021, la Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale – VIA e VAS del Ministero della Transizione Ecologica ha messo il parere n. 202 in merito all'istruttoria VIA del Progetto "Adeguamento alle norme in materia di sicurezza dei luoghi di lavoro, nonché la realizzazione dell'accessibilità dell'area portuale industriale di Genova Sestri Ponente – P.2879 FASE 2 proposto dall'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure.

Con tale documento, la succitata Commissione esprimeva Parere positivo di compatibilità ambientale del Progetto, subordinato all'ottemperanza di alcune condizioni ambientali tra le quali, la condizione Ambientale n. 8 recita:

Macrofase: Ante operam

Fase: Progettazione esecutiva

Ambito di applicazione: Sistemazione idraulica sbocco a mare del T. Cantarena

Oggetto della prescrizione: *"Il Proponente dovrà esaminare e optare per una diversa scelta progettuale del nuovo tratto terminale del t. Cantarena che, in corrispondenza della radice dell'opera D (attuale sbocco a mare), prevede un tratto a gomito con cambio di direzione di 90° da Sud verso Est, circa 60 m a monte dello sbocco di progetto nel bacino portuale Scelta progettuale che non appare congeniale e che potrebbe determinare rigurgiti, in particolare nelle aree urbane a monte (fra la ferrovia e via Vado/via d'Andrade) in condizioni di rischio idraulico R4 molto elevato. Pertanto, gli interventi implementati dovranno essere soggetti alla preventiva approvazione dell'Autorità distrettuale di bacino".*

Termine avvio Verifica Ottemperanza: al termine della progettazione esecutiva, prima dell'avvio del cantiere

Ente vigilante: MiTE

Enti coinvolti: Autorità distrettuale di Bacino Appennino settentrionale

Nella sostanza, la parte terminale del rio Cantarena sarà soggetta ad un intervento di sistemazione, proposto dal Comune di Genova, "Progetto delle opere di adeguamento idraulico del tratto urbanizzato del rio Cantarena a Genova - Sestri Ponente" elaborato da Itec engineering S.r.l. – Stantec, 2021 e già approvato, che prevede, per il tratto a monte di Via Cerruti, l'approfondimento del fondo alveo mantenendo le attuali larghezze (imposte dalla presenza di edifici argine su entrambe le sponde), mentre per il tratto a valle è previsto il rifacimento dell'attuale tombinatura con un nuovo manufatto di dimensioni 9.0x3.5 m con pendenza 0.6% sino allo sbocco a mare in area Fincantieri, per una lunghezza complessiva di 360 m circa.

La quota di sbocco a mare sotto la banchina portuale è di -2.0 m s.l.m.m., con un abbassamento di circa 1.75 m rispetto al fondo attuale, posto a quota -0.23 m s.l.m.m.

L'ultimo tratto in area Fincantieri (L=170 m circa) verrà realizzato a fianco dell'attuale canalizzazione, per due motivi principali: non interferire con le strutture (in particolare i pilastri) del capannone esistente, e consentire la realizzazione del tratto "in bianco" e cioè in modo indipendente dalla portata di piena in arrivo da monte, che, durante la realizzazione, potrà continuare ad essere smaltita dall'attuale canalizzazione.

ATI:



Imprese Consorziate Esecutrici



RTP:



Tale progetto non viene messo in discussione, ma la Commissione richiede maggiori approfondimenti sugli effetti delle opere di deviazione del flusso in corrispondenza dell'Opera D sul regime idraulico della parte terminale del Rio Cantarena.

Si ricorda che la particolare configurazione del deviatore del flusso in uscita dal Cantarena è volta ad evitare che, in condizione di piena, il materiale trasportato dalla corrente vada a interferire con la palificata della banchina di allestimento in zona, dove sarebbe praticamente impossibile rimuoverli.

Tale deviatore era previsto costituito da una cortina continua in palancole ancorate al fondo ed all'impalcato della banchina che deviasse, appunto, il flusso parallelamente alla banchina esistente, rilasciandolo poi in un'area libera da strutture che ne potessero determinare una ostruzione, per quanto parziale.

La soluzione progettuale presentata, i cui effetti erano stati studiati da ITEC Engineering ed illustrati nel rapporto "Studio Idraulico degli effetti indotti dagli interventi relativi all'opera D (nuova banchina) sul regime idraulico del rio Cantarena in data 12 Novembre 2021, è quella a cui si riferisce la prescrizione della succitata condizione Ambientale n. 8, in ottemperanza alla quale è stata studiata una variante tesa alla minimizzazione del rischio di cui alla prescrizione stessa, pur consentendo di evitare, in ogni caso, l'interazione tra il flusso del torrente e la struttura sottostante la nuova banchina.

Nel presente rapporto si presenta la nuova soluzione progettuale adottata ed i risultati delle analisi modellistiche svolte al fine di verificare che la nuova soluzione non induca, sullo sbocco del t. Cantarena, effetti tali da costituire causa di potenziali rigurgiti idraulici nel tratto di valle del corso d'acqua, soprattutto nella nuova configurazione prevista dal progetto presentato dal Comune di Genova.

ATI:



Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO
INTEGRA



RTP:



EDBA Group Company

2 LA FOCE DEL T. CANTARENA

L'area oggetto di studio è il tratto terminale del rio Cantarena (in area Fincantieri) e lo specchio acqueo in ambito portuale antistante lo sbocco (Figura 2.1).

Nella situazione attuale la parte terminale del rio si sviluppa in un tratto tombato sottostante via Leoncavallo, a partire dall'intersezione tra la via Leoncavallo stessa e via Cerruti, sottopassa quindi la SS1, sottopassa ancora tutta l'area Fincantieri fino a sfociare nel bacino portuale illustrato in figura.

La sezione dell'area tombata è variabile, ma con una larghezza media di circa 7.00 m. Le sezioni trasversali della tombinatura attuale ed il loro andamento altimetrico sono riportate, in nero, da Figura 3 3 a Figura 3 5.

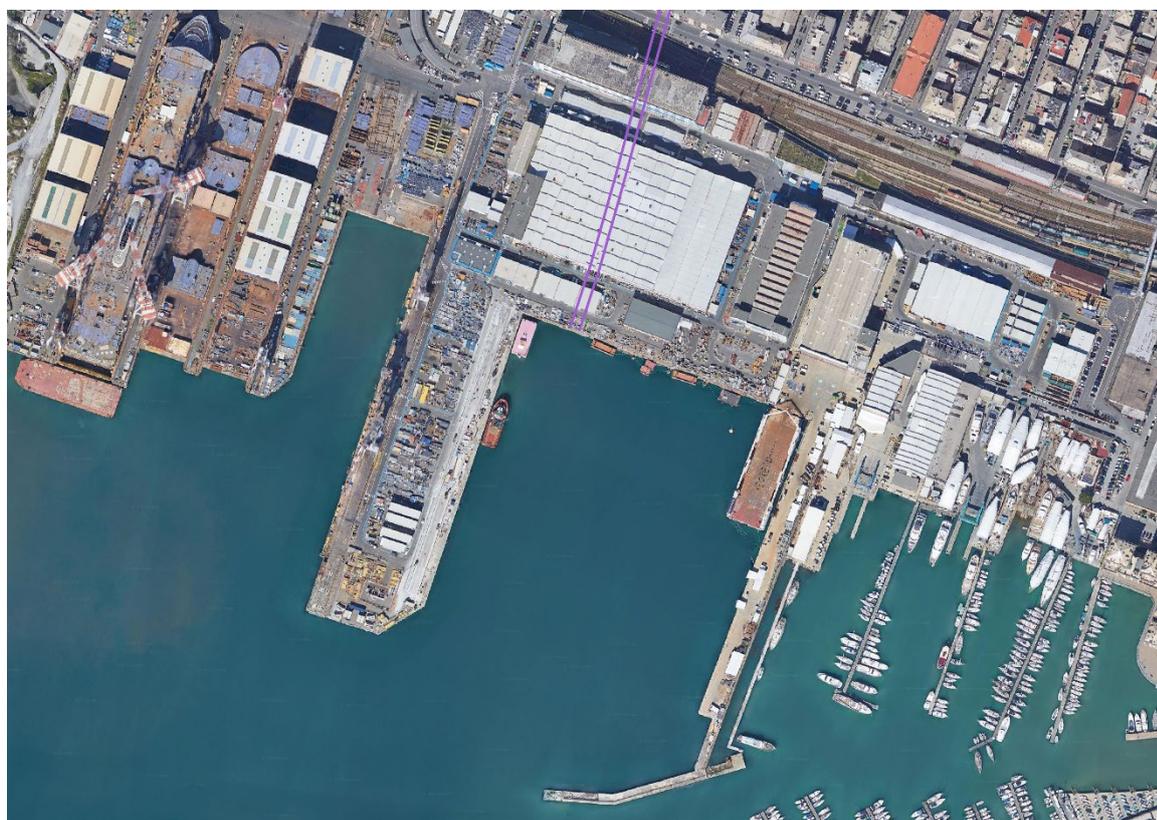


Figura 2.1 Area di intervento nella configurazione attuale (tracciato attuale del rio Cantarena in viola)

ATI:



**Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.**

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



**CONSORZIO
INTEGRA**



RTP:



3 LA SOLUZIONE PROPOSTA.

Ai fini della modellazione sono stati estrapolati i rilievi e la geometria del tratto terminale del rio Cantarena sia nella configurazione attuale che in quella relativa al progetto di sistemazione, e dello specchio acqueo portuale antistante lo sbocco nelle configurazioni di stato attuale (sbocco libero) e a seguito della realizzazione dei nuovi banchinamenti.

Il progetto originale di sistemazione del rio Cantarena, redatto per il Comune di Genova 1, prevede, per il tratto a valle di Via Cerruti, l'approfondimento del fondo alveo mantenendo le attuali larghezze (imposte dalla presenza di edifici argine su entrambe le sponde), mentre per il tratto a valle è previsto il rifacimento dell'attuale tombinatura con un nuovo manufatto di dimensioni 9.0x3.5 m con pendenza 0.6% sino allo sbocco a mare in area Fincantieri, per una lunghezza complessiva di 360 m circa. L'andamento planimetrico della nuova tombinatura è riportato schematicamente, in azzurro, in Figura 3-1.



Figura 3-1 Area di intervento nella configurazione di progetto (nuovo tracciato rio Cantarena in azzurro).

¹ Comune di Genova, "Progetto delle opere di adeguamento idraulico del tratto urbanizzato del rio Cantarena a Genova - Sestri Ponente" Itec engineering S.r.l. – Stantec, 2021 - Autorità di Sistema Portuale del mar Ligure Occidentale

ATI:



RTP:



La quota di sbocco a mare sotto la banchina portuale è di -2.0 m s.l.m., con un abbassamento di circa 1.75 m rispetto al fondo attuale (cfr Figura 3-3).

Nella Figura 3-2 è riportata la localizzazione planimetrica, con progressive di progetto, delle sezioni trasversali che illustrano sia la situazione attuale che quella di progetto e riportate da Figura 3-3 a Figura 3-5.

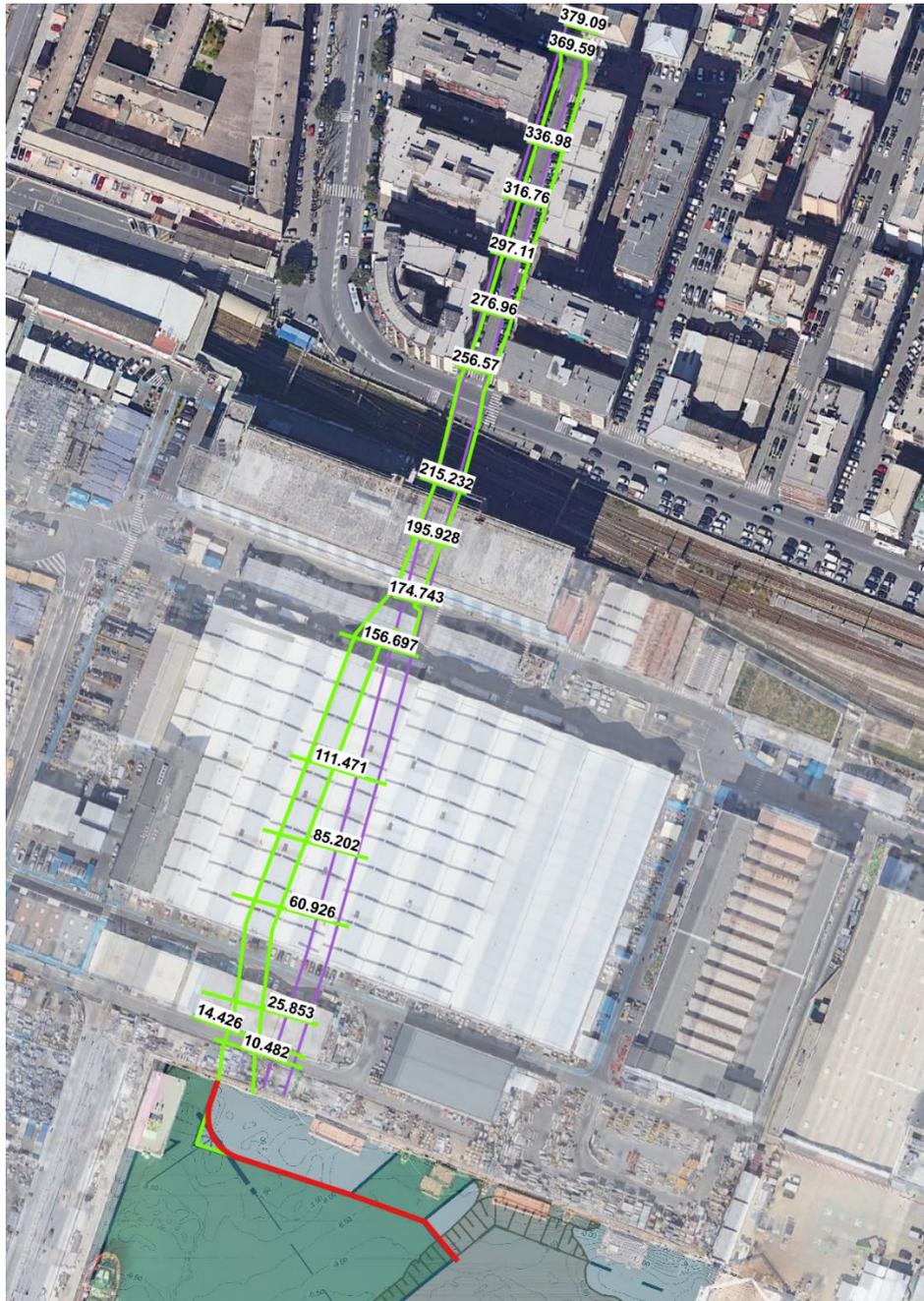


Figura 3-2 Rappresentazione planimetrica della configurazione di progetto on la progressiva delle sezioni verticali. In viola t. Cantarena attuale, in verde torrente di progetto, in rosso deviatore.

ATI:



Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



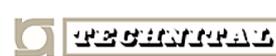
FINCOSIT



CONSORZIO
INTEGRA



RTP:



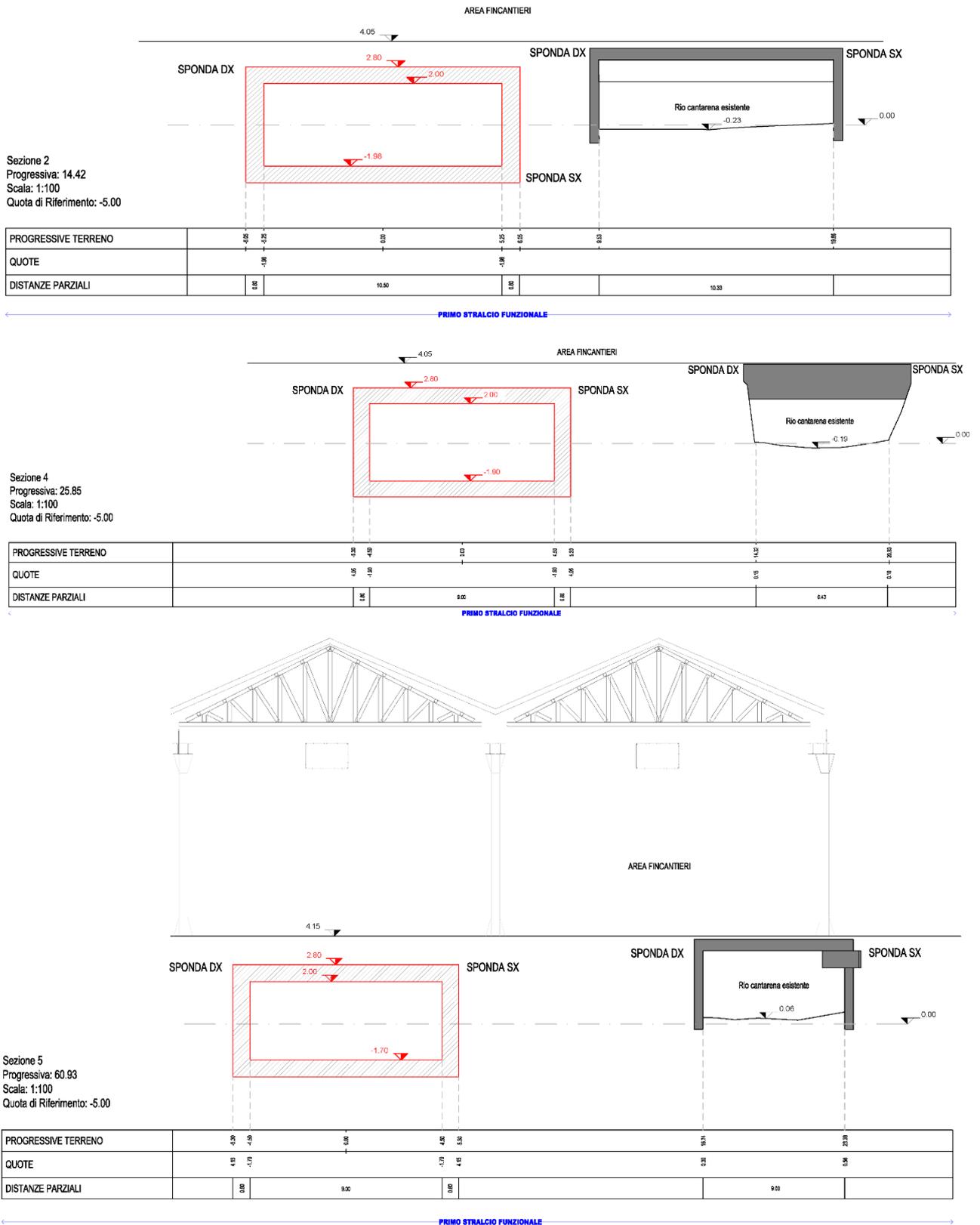


Figura 3-3 Sezione 2, 4 e 5 della situazione attuale (grigio) e di progetto (rosso) del rio Cantarena.

ATI:

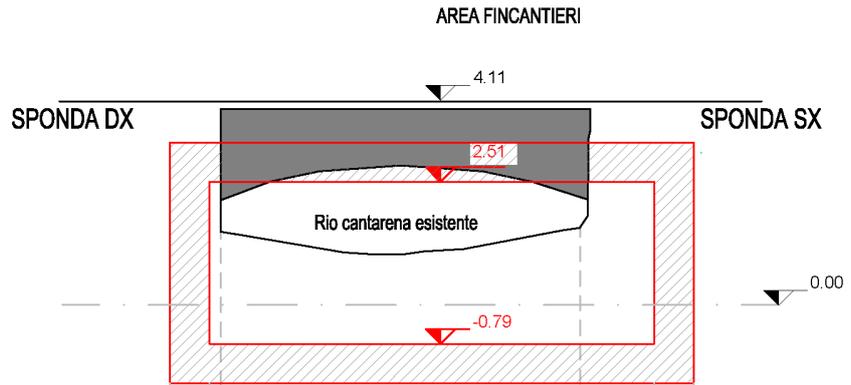


Imprese Consorziate Esecutrici



RTP:

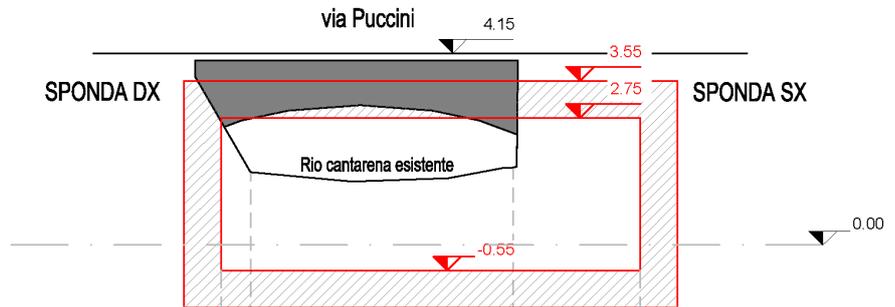




Sezione 10
 Progressiva: 215.73
 Scala: 1:100
 Quota di Riferimento: -5.00

PROGRESSIVE TERRENO		4.27	0.00	3.00	
QUOTE	4.11	0.79			4.11
DISTANZE PARZIALI	0.80		9.00		0.80

PRIMO STRALCIO FUNZIONALE



Sezione 12
 Progressiva: 256.57
 Scala: 1:100
 Quota di Riferimento: -5.00

PROGRESSIVE TERRENO		5.30	4.50	3.87	0.00	1.77	4.50	5.30
QUOTE	4.15	0.85	1.57			1.67	0.85	4.15
DISTANZE PARZIALI	0.80		9.00			0.80		

PRIMO STRALCIO FUNZIONALE

Figura 3-4 Sezione 10 e 12 della situazione attuale (grigio) e di progetto (rosso) del rio Cantarena.

ATI:



RTP:



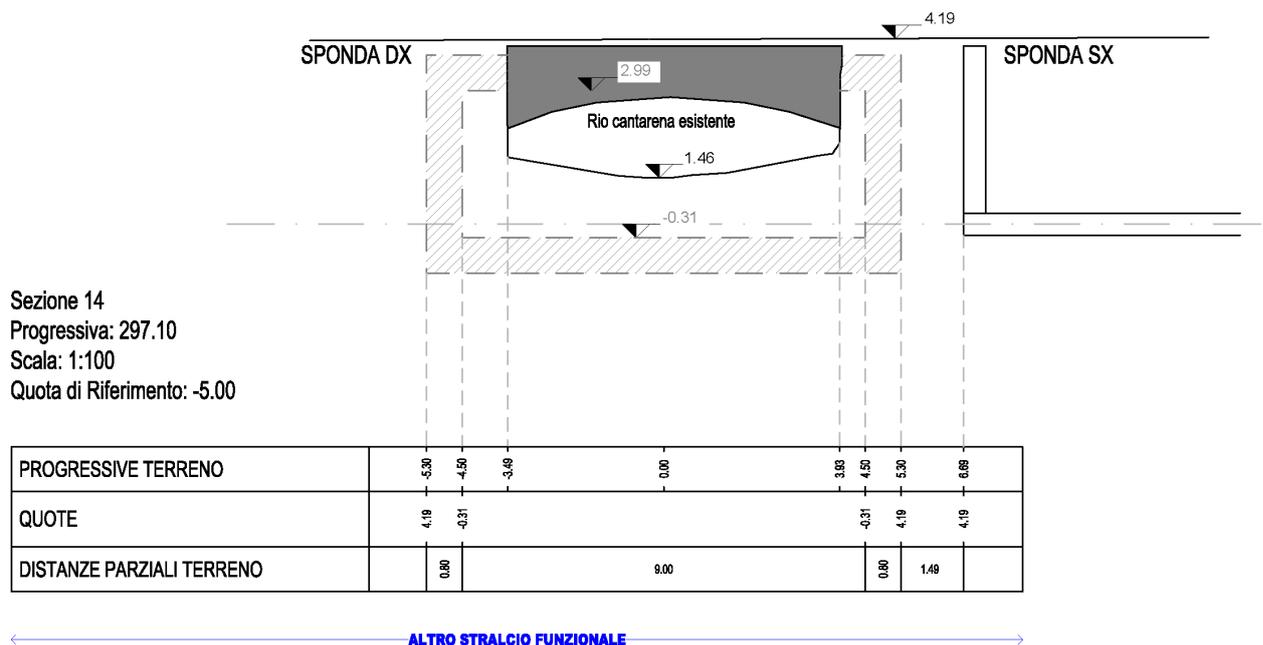


Figura 3-5 Sezione 14 della situazione attuale (grigio) e di progetto (rosso) del rio Cantarena.

L'ultimo tratto in area Fincantieri (L=170 m circa) si prevede che venga realizzato a fianco dell'attuale canalizzazione, per due motivi principali: non interferire con le strutture (in particolare i pilastri) del capannone esistente, e consentire la realizzazione del tratto "in bianco" e cioè in modo indipendente dalla portata di piena in arrivo da monte che, durante la costruzione, potrà continuare ad essere smaltita dall'attuale canalizzazione.

Oltre al progetto originale di sistemazione del torrente, a seguito della progettazione dell'opera D (nuova banchina), era stata considerata l'adozione di un "deviatore", rappresentato in rosso sempre nella Figura 3-1, che, data la copertura di un'area del bacino portuale con la conseguente realizzazione di una palificata di sostegno, provvedesse a modificare il deflusso dello sbocco del nuovo canale tombinato parallelamente alla banchina esistente e a recapitarlo nella parte di bacino portuale non coperta dalla nuova banchina.

Tale intervento era stato considerato necessario per evitare che il materiale solido trasportato dal torrente, specialmente nel corso di eventi di piena, potesse essere recapitato sotto la nuova banchina determinando, nel tempo, un accumulo che, data la posizione, non sarebbe stato possibile rimuovere costituendo un ostacolo al deflusso dette acque provenienti dal Cantarena.

Il deviatore era costituito, per tutta la sua lunghezza, da una struttura di contenimento su tutta l'altezza della colonna d'acqua che separava fisicamente la parte di bacino portuale coperta dalla nuova banchina dalla parte interessata dal deflusso del rio Cantarena.

ATI:



RTP:



In un apposito studio del novembre 2021², La Società Itec ha verificato, nell'ambito della "Conferenza dei servizi relativa al progetto di fattibilità tecnico economica per l'adeguamento alle norme in materia di sicurezza dei luoghi di lavoro, nonché la razionalizzazione della accessibilità dell'area portuale industriale di Genova Sestri Ponente- p.2879 fase 2"³, gli effetti indotti da questo deviatore sia sul deflusso delle acque del torrente che sul bacino portuale. Tale studio, sviluppato con l'ausilio di un modello idrodinamico bidimensionale, era principalmente volto alla verifica degli effetti indotti da eventi di piena con tempo di ritorno di 200 anni⁴.

A seguito della prescrizione di cui alla Condizione Ambientale n. 8 riportata in Premessa, è stato studiato un nuovo intervento che, ricercando un effetto simile a quello indotto dal "deviatore" originale, tendesse ad annullare ogni potenziale rigurgito nel canale tombinato del Cantarena.

Planimetricamente l'intervento è riportato sempre in Figura 3-6 ed è costituito da una prima struttura continua su tutta l'altezza della colonna d'acqua, volta a contenere la sedimentazione nella parte di banchina a cielo aperto, in rosso nella figura, e da una parte che si sviluppa nella sola parte superiore della colonna d'acqua, in azzurro nella figura, con un'immersione di circa 2 m dal livello medio del mare, in grado di accompagnare i possibili materiali flottanti verso il bacino aperto senza indurre una resistenza idraulica significativa sul deflusso delle acque.

Una descrizione dettagliata dell'intervento è riportata negli elaborati di progetto, mentre nella Figura 3-7 viene riportata una visualizzazione schematica e prospettica dell'intervento.

² Itec Engineering, "Studio idraulico degli effetti indotti dagli interventi relativi all'opera D (nuova banchina) sul regime idraulico del rio Cantarena", 12 Novembre 2021"

³ Risposta nota Prot. N. PG/2021/350665 del 02/11/2021 della Regione Liguria Settore Difesa del Suolo di Genova.

⁴ Regione Liguria, Autorità di Bacino Distrettuale Dell'Appennino Settentrionale "Piano di Bacino Stralcio per la Tutela dal Rischio Idrogeologico - Ambiti 12 e 13 Approvato con DCP n. 65 del 12/12/2002, ultima modifica DDG n. 4146 del 15/07/2019"

ATI:



RTP:



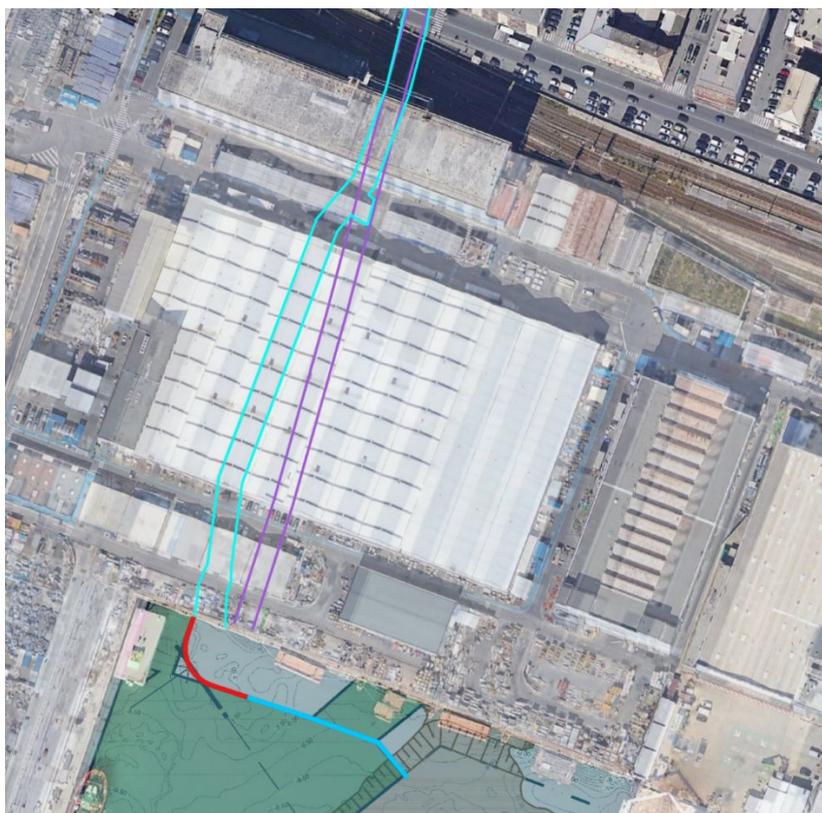


Figura 3-6 Planimetria dell'intervento modificato: in rosso la parte di deviatore chiuso su tutta l'altezza, in blu la parte di deviatore chiuso fino ad una profondità di 2 m dal livello medio mare.

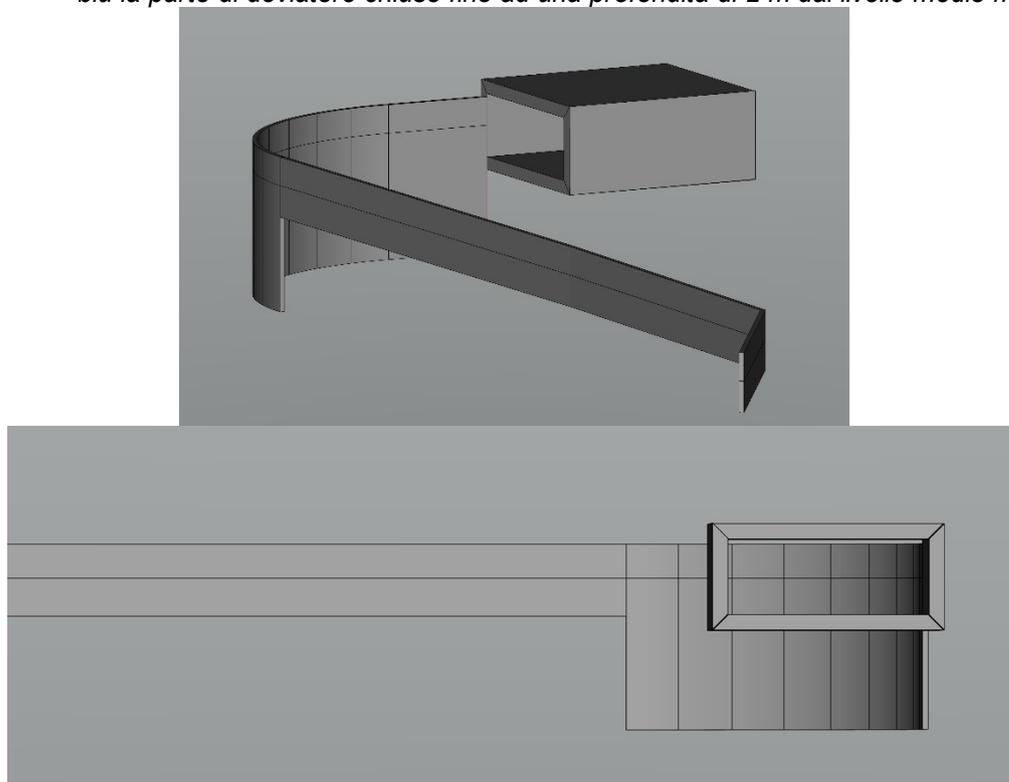


Figura 3-7 Visualizzazione schematica e prospettica dell'intervento.

ATI:



Consorzio Stabile Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO INTEGRA



RTP:



4 IL MODELLO APPLICATO

L'analisi degli effetti indotti dall'intervento sopra descritto deve riguardare, al fine di consentire una valutazione completa rispetto alla situazione attuale, quattro diversi scenari:

- La situazione attuale
- La situazione indotta dalla modifica al canale di scarico del t. Cantarena a valle della realizzazione del progetto previsto dal Comune di Genova, quindi senza l'opera di deviazione nel bacino portuale
- La situazione con il nuovo canale tombato ed il deviatore già analizzato
- La situazione con il nuovo canale tombato e la nuova opera di deviazione del flusso, oggetto del presente rapporto.

Una valutazione così estesa si rende necessaria in quanto gli studi effettuati in precedenza sono stati sviluppati con strumenti modellistici diversi e, quindi, i risultati ottenuti sono anche influenzati dalle schematizzazioni di calcolo adottate e dai metodi numerici di risoluzione delle equazioni idrodinamiche di base. Le piccole differenze dovute ai diversi sistemi di calcolo possono indurre a considerazioni non precise, specialmente quando le variazioni tra uno scenario e l'altro possono essere abbastanza piccole, ameno in termini assoluti.

Per tale motivo risulta rilevante riprodurre gli effetti di ogni singolo scenario con lo stesso strumento di calcolo in modo di avere la ragionevole certezza che le variazioni evidenziate siano effetto dello scenario in analisi e non di una diversa schematizzazione.

Nei seguenti paragrafi viene descritto il modello impiegato, schematizzazione adottate ed i principali parametri considerati.

4.1 Il software utilizzato.

Il modello utilizzato nell'ambito di questo studio è la suite Delft3D, il sviluppata dalla fondazione Deltares di Delft (Olanda) che comprende un gruppo di codici di calcolo per la modellazione matematica e lo studio della idrodinamica, morfologia, della qualità delle acque e dell'ecologia di ambienti costieri, lacustri o fluviali. Il modulo idrodinamico FLOW simula gli effetti idrodinamici indotti da flussi e fenomeni di trasporto dovuti a moti gravitazionali, dal regime delle maree o da particolari situazioni meteorologiche. La simulazione avviene in regime di moto vario e possono essere utilizzate sia schematizzazioni bidimensionali che tridimensionali, comprendendo anche gli effetti delle differenze di densità dovute a temperature non uniformi o alla distribuzione di salinità o alla presenza di sedimenti. Per una descrizione completa del modello si rimanda alla documentazione di Deltares⁵. Di seguito vengono riportati i principi di base sui quali è stato sviluppato.

⁵ https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-FLOW_User_Manual.pdf

ATI:



Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO
INTEGRA



RTP:



Le equazioni del moto, risolte con uno schema numerico incondizionatamente implicito, vengono applicate lungo una griglia curvilinea che permette, per questa sua caratteristica, di seguire bene le variazioni altimetriche/batimetriche del fondale adottando elementi di dimensioni ridotte nelle zone di maggiore interesse, ed elementi di maggiori dimensioni nelle aree in cui non esistano apprezzabili variazioni geometriche.

Lo scopo principale è quindi quello di ricostruire prevalentemente l'andamento dei livelli idrometrici e dei campi di moto in quei sistemi per i quali la dimensione orizzontale e la scala dei tempi sono significativamente maggiori rispetto alle dimensioni verticali.

Il modello matematico FLOW risolve le equazioni di moto vario in due (valori mediati sulla verticale) o in tre dimensioni, considerando un sistema costituito dalle equazioni orizzontali del moto, l'equazione di continuità e le equazioni di trasporto.

Queste equazioni possono essere riferite ad un sistema di coordinate ortogonali curvilinee o ad un sistema di riferimento sferico globale. Le maglie rettangolari sono considerate come una forma semplificata di un sistema a maglie curvilinee.

In un sistema a maglia curvilinea la superficie libera e la batimetria sono riferite ad un piano orizzontale di riferimento, mentre utilizzando il sistema di riferimento sferico il piano di riferimento segue la curvatura terrestre.

Il modello è in grado di risolvere schematizzazioni sia bidimensionali che tridimensionali e di descrivere i fenomeni di turbolenza indotti da manufatti lungo il percorso della corrente.

Le equazioni fondamentali che governano il modello idrodinamico vengono di seguito riportate.

L'equazione della continuità (mediata sulla profondità) in coordinate curvilinee ortogonali lungo il piano orizzontale è la seguente:

$$\frac{\partial(\zeta)}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \left\{ \frac{\partial[\sqrt{G_{\eta\eta}}(d+\zeta)u]}{\partial\xi} + \frac{\partial[\sqrt{G_{\xi\xi}}(d+\zeta)v]}{\partial\eta} \right\} = Q$$

con Q = quantità sorgente per unità di superficie dovuta a scarichi o prelievi d'acqua, precipitazione e evaporazione.

Le equazioni della quantità di moto nelle direzioni ξ e η sono le seguenti:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial u}{\partial\xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial\eta} + \frac{\omega}{d+\zeta} \frac{\partial u}{\partial\sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial\sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial\eta} + \\ - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial\sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial\xi} - fv = - \frac{1}{\rho\sqrt{G_{\xi\xi}}} P_\xi + F_\xi + \frac{1}{(d+\zeta)^2} \frac{\partial}{\partial\sigma} \left(v \frac{\partial u}{\partial\sigma} \right) + M_\xi \end{aligned}$$

ATI:



Imprese Consorziate Esecutrici



RTP:



$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial v}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} +$$

$$- \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} - fu = - \frac{1}{\rho \sqrt{G_{\eta\eta}}} P_{\eta} + F_{\eta} + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(v \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right) + M_{\eta}$$

Per una maggiore comprensione dell'equazione precedente si riporta la spiegazione dei principali simboli in essa contenuti:

ξ, η coordinate curvilinee orizzontali [m]

ζ livello del pelo libero sopra il piano di riferimento [m]

$d =$ profondità [m]

σ coordinate verticali scalate valutate come funzione della profondità e del livello del pelo libero ($d\zeta$)

$u, v =$ componenti orizzontali della velocità [m/s]

ω componente nel sistema \square delle velocità nella direzione σ [m/s]

$\sqrt{G_{\xi\xi}} \sqrt{G_{\eta\eta}}$ coefficienti per trasformare coordinate curvilinee in coordinate rettangolari [m]

$P_{\xi}, P_{\eta} =$ gradiente pressione orizzontale nelle direzioni ξ e η ;

$F_{\xi}, F_{\eta} =$ corrispondono alle "tensioni tangenziali" di Reynolds;

L'effetto della variazione di densità è considerato solo nel termine del gradiente di pressione orizzontale, P_{ξ} e P_{η} (approssimazione di Boussinesq).

La profondità è assunta essere molto minore della scala delle lunghezze orizzontale e quindi si può ritenere valida l'approssimazione che usualmente si utilizza per "acque basse" per la quale l'equazione della quantità di moto verticale si riduce alla relazione della pressione idrostatica:

$$\frac{\partial P}{\partial \sigma} = -g\rho H$$

In questo modo si assume che le accelerazioni verticali siano piccole paragonate all'accelerazione di gravità e possano quindi non essere prese in considerazione.

Per le simulazioni eseguite nel presente studio sono state fatte alcune assunzioni e semplificazioni di seguito brevemente riportate:

- L'effetto della curvatura terrestre non è stato considerato e il parametro di Coriolis è stato assunto uniforme;
- Considerando la scala delle analisi effettuate, non è stata presa in considerazione la scabrezza laterale lungo i contorni chiusi per la simulazione degli sforzi tangenziali (free slip);
- Il flusso attraverso contorni chiusi o attraverso il fondo è pari a zero;
- La procedura di allagamento ed emersione comporta un movimento discontinuo del contorno bagnato. Una cella interna a zone che possono essere considerate emerse, viene considerata secca quando i quattro vertici della cella lungo i lati della cella sono considerati secchi o quando

ATI:



Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO
INTEGRA



RTP:



la profondità al centro della cella diventa negativa (volume negativo). Un vertice viene considerato “secco” quando la profondità dell’acqua diviene inferiore alla metà di un valore di soglia pari a 0.1 m. Se il punto viene considerato “secco”, la velocità in quel punto viene assunta uguale a zero. Il punto viene riconsiderato bagnato quando la profondità d’acqua nel punto ritorna superiore al valore di soglia definito.

Il modello sopra descritto può essere utilizzato sia con una schematizzazione 2D, considerando quindi i parametri idrodinamici mediati sulla colonna d’acqua, sia con una schematizzazione 3D, discretizzando la colonna d’acqua in un numero finito di Layers (strati) per ognuno dei quali vengono risolte le equazioni del moto tenendo anche conto delle interazioni tra un layer e l’altro.

In particolare, la schematizzazione verticale che viene comunemente utilizzata per studi di questo tipo è quella σ layers, cioè strati continui definiti ognuno da uno spessore pari ad una percentuale fissa della profondità totale che si determina in un determinato istante.

Inoltre, una ulteriore caratteristica del software utilizza consente l'accoppiamento dinamico di domini 2D, dove non è necessario studiare la distribuzione verticale dei parametri idrodinamici, con domini 3D in cui, invece, l'analisi viene svolta considerando anche le variazioni sulla profondità.

Considerate le caratteristiche delle analisi svolte nel corso di studi precedenti, si è ritenuto, nel presente studio, di procedere per successive approssimazioni, considerando gli scenari oggetto di studio, quando possibile, secondo una schematizzazione 2D come, ad esempio, nella situazione attuale, nella situazione con il canale di sbocco modificato secondo il progetto del Comune di Genova e per il primo intervento con deviatore, mentre si è optato per una schematizzazione congiunta 2D – 3D per analizzare il nuovo intervento con deviatore immerso solo fino ad una profondità inferiore alla colonna d’acqua. Naturalmente, al fine di poter effettuare un confronto omogeneo, alcuni degli scenari analizzati con la schematizzazione 2D sono stati valutati anche con la schematizzazione combinata 2D-3D.

4.2 La schematizzazione 2D.

Per la schematizzazione 2D del sistema oggetto di studio è stata impostata una griglia curvilinea che comprendesse tutto il tratto tombinato del t. Cantarena ed il bacino portuale potenzialmente interessato dagli effetti indotti dal suo scarico.

In Figura 4-1 è riportata una immagine della griglia di calcolo in cui appare evidente una maggiore risoluzione spaziale in corrispondenza del corso d’acqua e della sua immissione nel bacino e nella zona di bacino prospiciente l’attuale banchina. Nelle rimanenti aree del bacino si è adottata una maglia di calcolo a più bassa risoluzione. Nella Figura 4-2 è riportato un dettaglio della schematizzazione.

Nella Figura 4-3 è invece indicata la risoluzione spaziale della griglia di calcolo, intendendo con tale termine la dimensione della diagonale maggiore della singola cella di calcolo che discretizza il dominio. La griglia,

ATI:



RTP:



a risoluzione variabile, presenta celle con risoluzione variabile da 0.7 (in blu) a circa 4 m (in rosso scuro), con le celle a più alta risoluzione nel canale di scarico del t. Cantarena e nella zona del "deviatore".

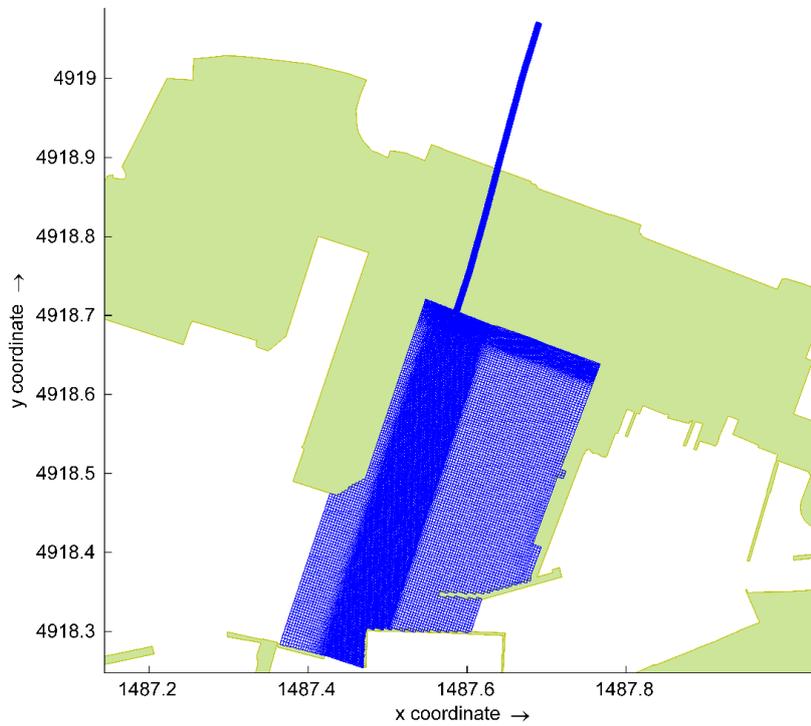


Figura 4-1 Schematizzazione 2D – Griglia di calcolo.

ATI:



**Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.**

Imprese Consorziate Esecutrici



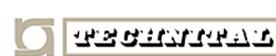
FINCOSIT



**CONSORZIO
INTEGRA**



RTP:



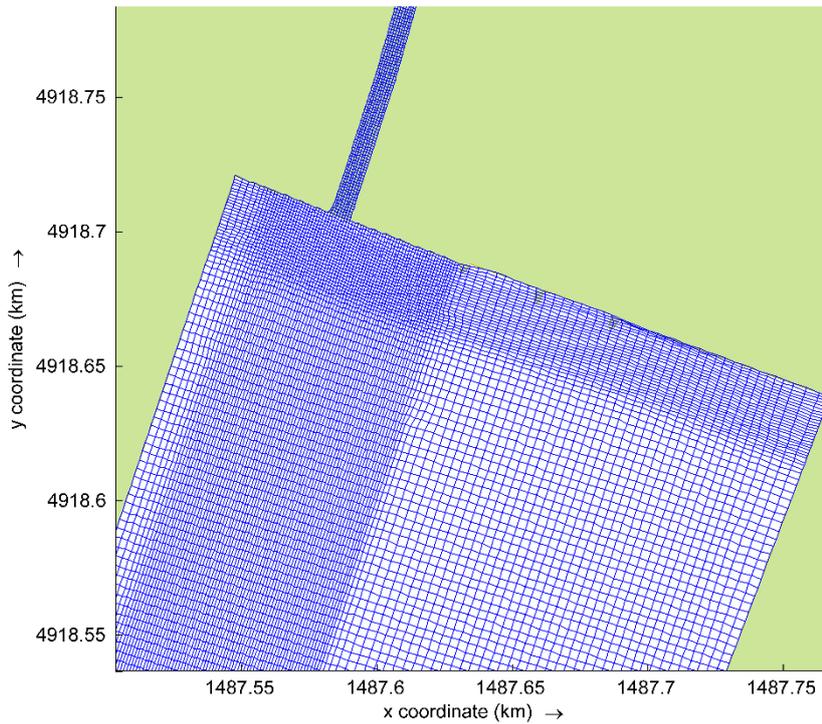


Figura 4-2 Schematizzazione 2D – Griglia di calcolo - dettaglio.

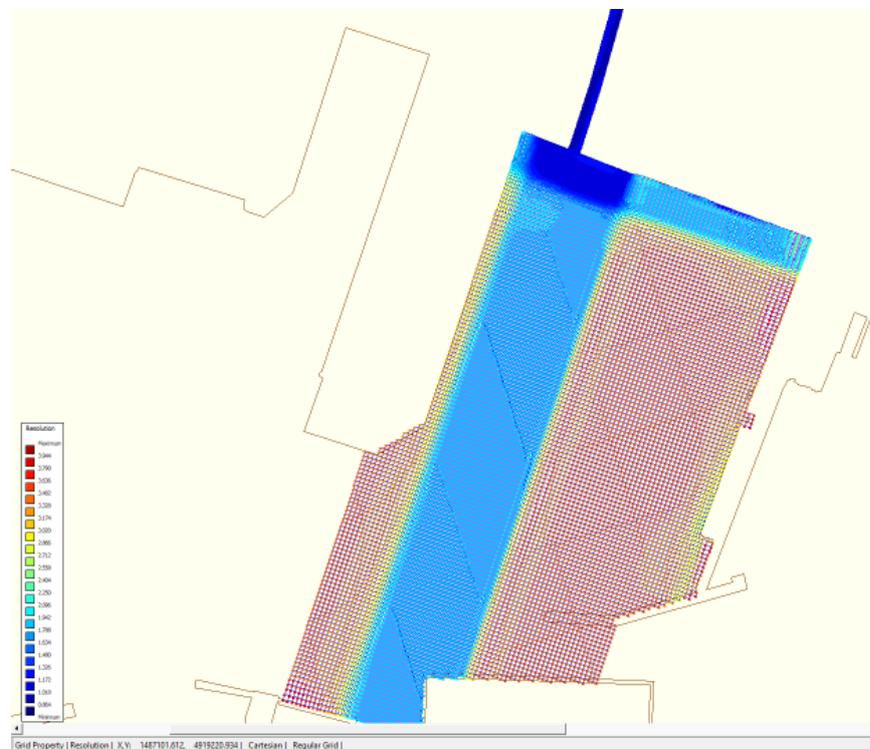


Figura 4-3 Schematizzazione 2D – Griglia di calcolo – risoluzione spaziale.

ATI:



Consorzio Stabile Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO INTEGRA



RTP:



4.3 La schematizzazione accoppiata 2D – 3D.

Per avere una rappresentazione più realistica dei fenomeni che si inducono in prossimità dello sbocco del t. Cantarena, è stata anche sviluppata una schematizzazione accoppiata 2D e 3D, con la parte bidimensionale limitata alla parte a monte di monte del t. Cantarena ed al bacino portuale lontano dallo sbocco del torrente stesso, mentre per la parte potenzialmente interessata a moti anche verticali indotti dallo sbocco del torrente nel bacino portuale è stata adottata una schematizzazione 3D con risoluzione spaziale planimetrica analoga a quella della schematizzazione 2D sopra descritta e con una risoluzione verticale costituita da 5 σ -layers costituenti 5 strati continui distribuiti, partendo dal pelo libero, al 15%, 15%, 20%, 25% ed ancora 25% della colonna d'acqua. In questo modo si è voluto studiare con una risoluzione leggermente maggiore i fenomeni che si manifestano nella parte superiore della colonna d'acqua, mentre nella parte più profonda si è optato per una risoluzione leggermente inferiore anche al fine di ottimizzare i tempi di calcolo. Nella Figura 4-4 viene riportata la rappresentazione planimetrica del dominio di calcolo del modello accoppiato 2D – 3D (in blu la parte 2D, in rosso quella 3D), mentre nella Figura 4-5 viene riportata la schematizzazione verticale in σ -layers in corrispondenza dello sbocco del torrente lungo il profilo indicato nel riquadro di legenda.

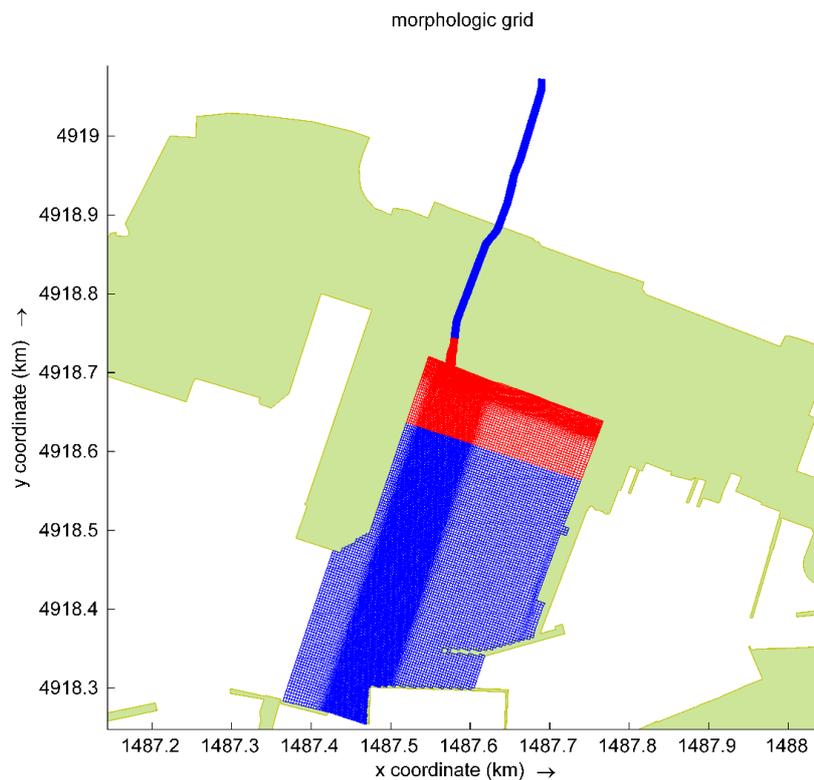


Figura 4-4: Schematizzazione 2D – 3D accoppiata: in blu la griglia della schematizzazione 2D, in rosso la griglia della schematizzazione 3D

ATI:



Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO
INTEGRA



RTP:



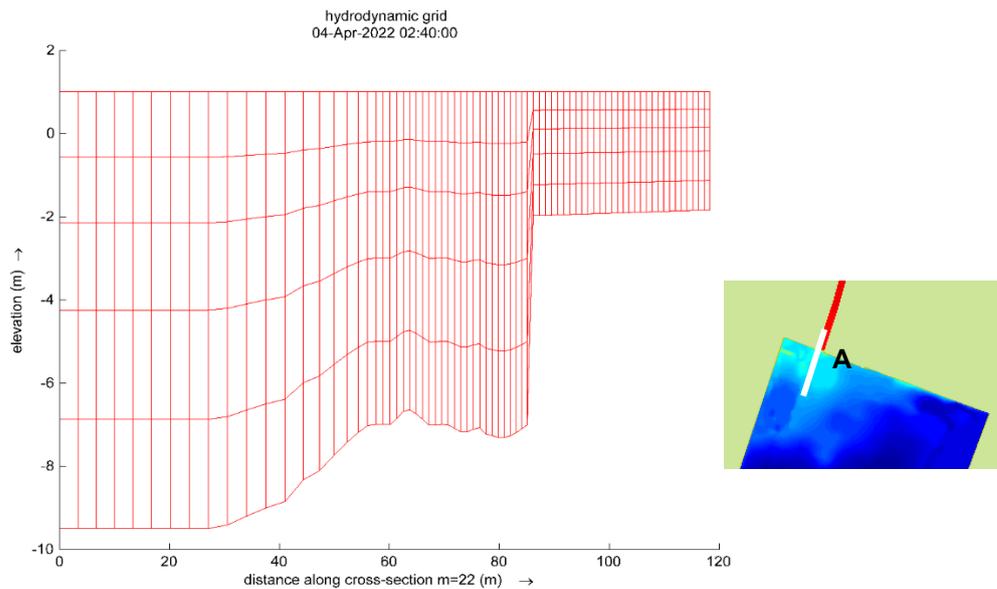


Figura 4-5 sezione trasversale della schematizzazione 3D (sezione A).

L'accoppiamento delle schematizzazioni 2D e 3D avviene in modo dinamico, nel corso della simulazione, adottando una tipologia di analisi caratteristica del modello adottato e denominata "domain decomposition" che consente, in una singola simulazione, di utilizzare domini di calcolo associati a zone diverse con caratteristiche diverse come, in questo caso, domini 2D associati a domini 3D.

4.4 La batimetria.

Uno dei parametri fondamentali per la rappresentazione del dominio di calcolo del modello è la batimetria di fondo.

Nella Figura 4-6 viene riportata quella applicata al modello, derivata dai rilievi del bacino portuale e dai profili longitudinali del t. Cantarena, sia nella sua configurazione attuale che in quella di progetto.

ATI:



RTP:



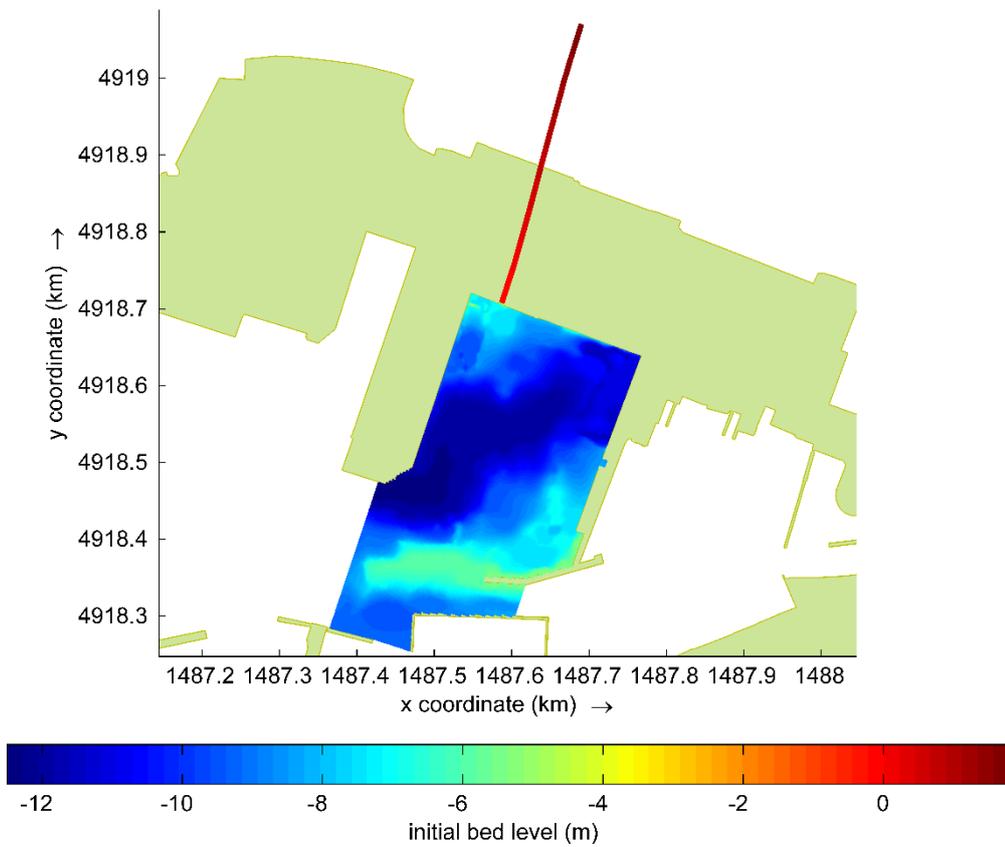


Figura 4-6 Batimetria associata alle due griglie di calcolo (sia 2D che 2D-3D).

ATI:



**Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.**

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



**CONSORZIO
INTEGRA**



RTP:



4.5 Le condizioni al contorno

Al modello idrodinamico, nella parte di schematizzazione al confine del dominio di calcolo, devono essere assegnate le cosiddette “condizioni al contorno” che rendono il modello un sistema determinato.

Le zone del dominio di calcolo per le quali è necessario definire le condizioni al contorno sono quelle illustrate nella Figura 4-7 nella quale si nota che, nella parte di bacino portuale, siano tre le sezioni alle quali è necessario applicare queste condizioni, alle quali è necessario aggiungere anche la sezione dimonte del rio Cantarena.

>Per rendere il sistema determinato, alla sezione di monte del rio Cantarena sono stati associati dei valori di portata, mentre a quelle del bacino portuale delle condizioni di livello.

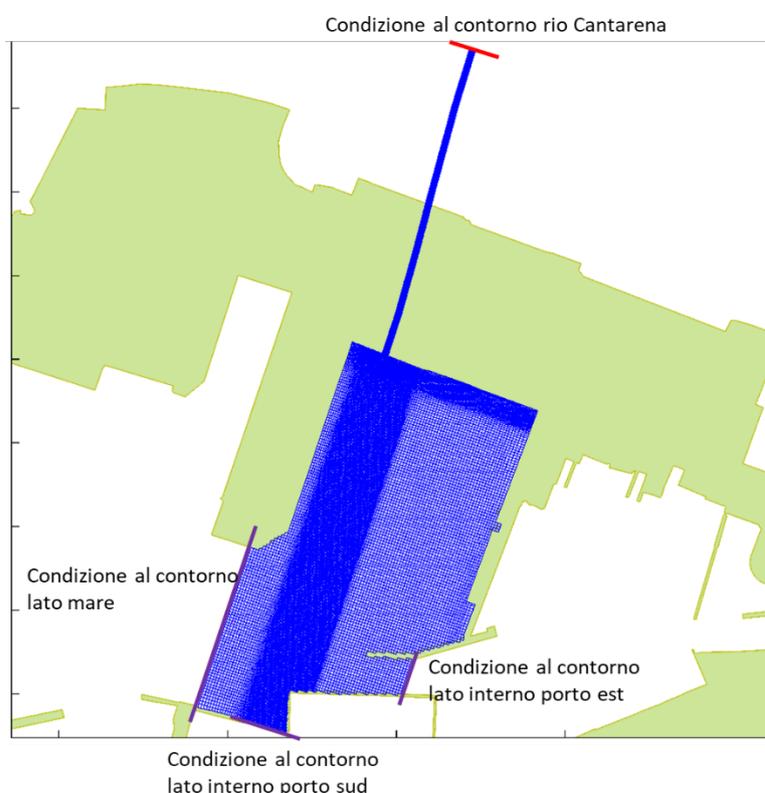


Figura 4-7 Condizioni al contorno del modello di calcolo: in rosso la sezione con imposta la portata del torrente Cantarena, in viola le sezioni con imposto il livello del mare.

In analogia a quanto già fatto in studi precedenti (c.f.r. nota 2) alle sezioni di boundary del bacino portuale è stato imposto un livello del mare costante e pari a 1 m s.l.m.m, rappresentativo di condizioni di livello imposto dal mare particolarmente gravose, mentre alla sezione di monte del rio Cantarena è stata imposto un idrogramma delle portate come indicato in Figura 4-8.

In particolare, nella figura viene indicato in arancio un possibile idrogramma di piena con portata massima compatibile con la capacità di portata della configurazione attuale del tratto tombinato ($20 \text{ m}^3/\text{s}$), mentre in

ATI:



Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO
INTEGRA



RTP:



blu è riportato un idrogramma di piena che risponde a quanto previsto dall'Autorità di Bacino per un evento con Tempo di Ritorno di 200 anni (76 m³/s, c.f.r. studio già riportato nota 2).

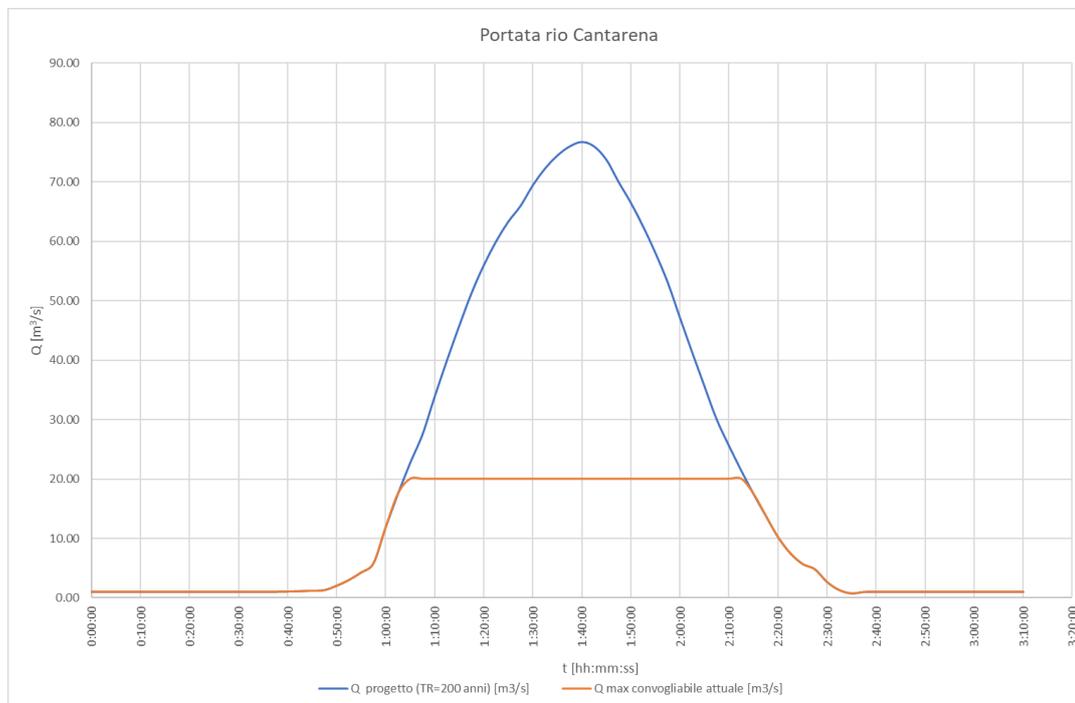


Figura 4-8 Andamento delle portate del t. Cantarena: in blu l'evento con TR = 200 anni, in arancio la portata massima transitabile nella configurazione attuale del rio.

4.6 La scabrezza del fondale.

Un ulteriore parametro necessario per la definizione del dominio di calcolo è la scabrezza del fondale. Non disponendo di informazioni di dettaglio, si è assunta una scabrezza del fondale costante in tutta l'area e paria, secondo la formulazione di Manning, a 0.033 s/m^{1/3}.

ATI:



RTP:



5 | RISULTATI OTTENUTI – MODELLO 2D

Con in modello bidimensionale sono stati analizzati i seguenti scenari:

- **Situazione attuale:** Configurazione attuale con portata massima nel rio Cantarena di 20 m³/s
- **Situazione di progetto senza “deviatore”:** progetto del Comune di Genova nella configurazione originale e portata massima di 76 m³/s

Nel seguito sono riportati i risultati principali di queste simulazioni.

Con il modello bidimensionale non era possibile simulare, ottenendo dei risultati realistici, la configurazione con il “deviatore” proposto nel presente studio in quanto le caratteristiche del moto, nella parte con sezione parzialmente chiusa, risulta fortemente tridimensionale.

5.1 Situazione attuale

Come accennato in precedenza, nella situazione attuale la portata che è stato stimato possa essere convogliabile è di circa 20 m³/s.

Considerando il dominio di calcolo bidimensionale, è stata effettuata una simulazione imponendo tale portata nella sezione di monte del rio Cantarena e, in situazione di portata massima, il profilo idrometrico lungo il tratto tombato e nel bacino portuale risulta quello riportato in Figura 5-1 dal quale si può rilevare che, all'interno del tratto tombato, il deflusso avviene sostanzialmente a moto permanente, mentre lo sbocco, il cui livello nel bacino portuale è più alto di quello a moto uniforme del torrente, presenta un risalto di collegamento che consente il recupero dell'energia cinetica tra il canale ed il bacino.

Nella Figura 5-2 è riportata la distribuzione planimetrica del campo delle velocità in cui si nota che le velocità all'interno del canale sono comprese tra i 2.5 ed i 3.0 m/s, andando a diminuire bruscamente quando il flusso va ad interessare il bacino portuale.

Su questa configurazione è stato effettuato un secondo test, del tutto ipotetico, ma che consente di individuare il funzionamento dello sbocco del canale tombato con un profilo altimetrico del fondo simile all'attuale.

ATI:



RTP:



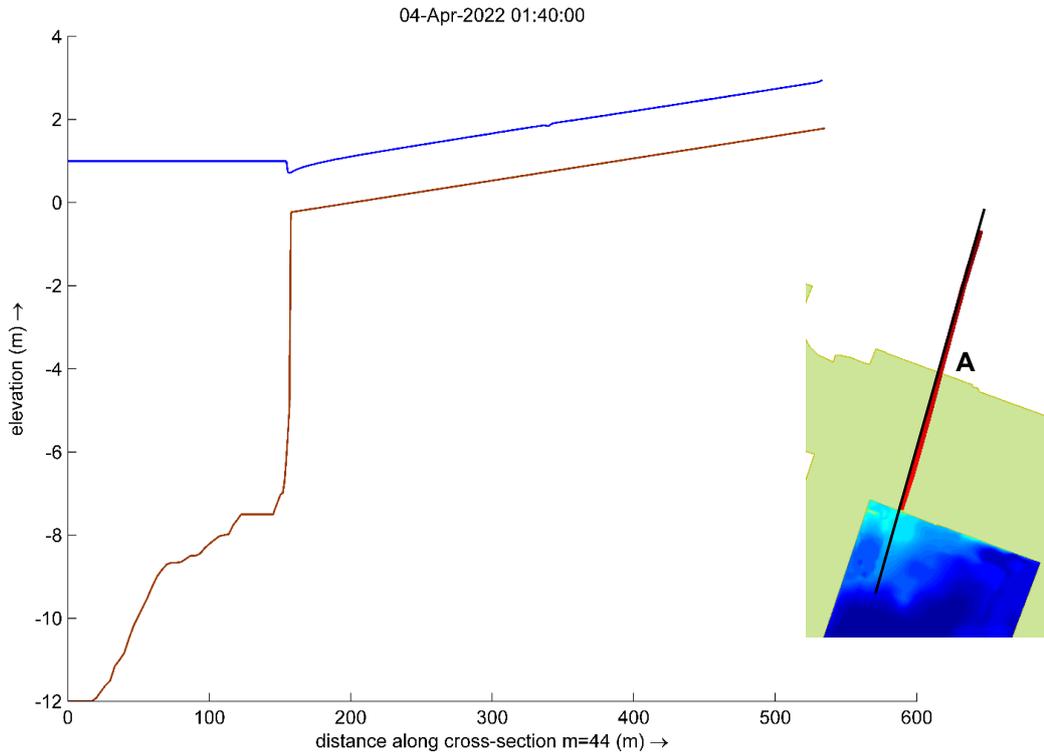


Figura 5-1 Portata massima defluibile nella situazione attuale ($Q=20 \text{ m}^3/\text{s}$): profilo longitudinale dei livelli idrometrici (profilo A).

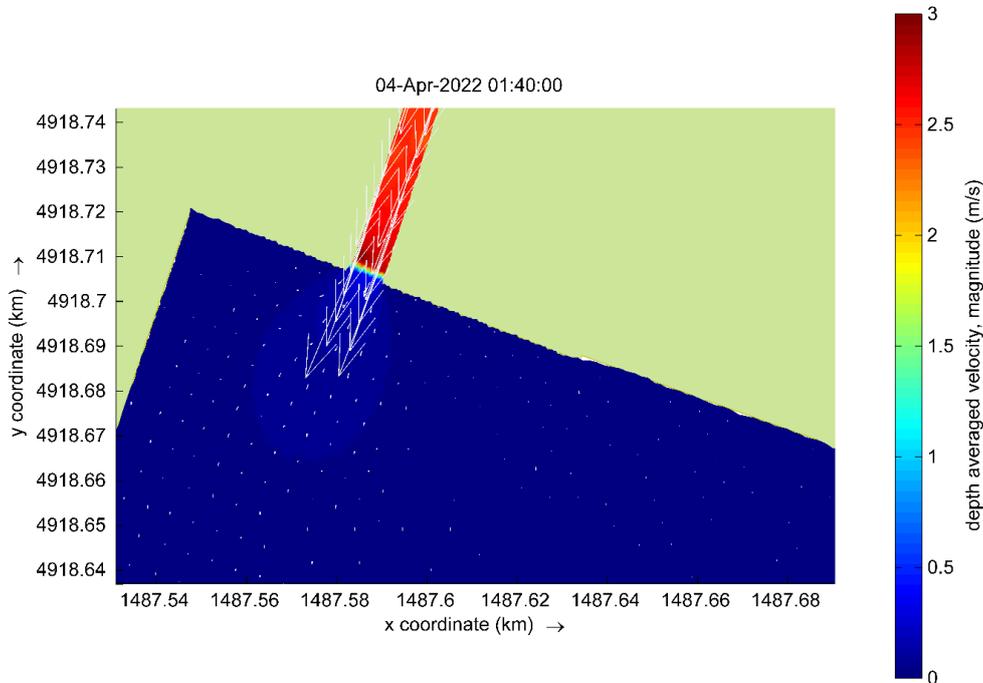


Figura 5-2 Distribuzione delle velocità con la portata massima di $20 \text{ m}^3/\text{s}$

ATI:



Consorzio Stabile Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO INTEGRA



RTP:



E' stato ipotizzato infatti che, tenendo una geometria del fondo pari all'attuale in termini di larghezza e pendenza, il tratto del canale tombato fosse invece costituito da una sezione rettangolare di altezza tale da contenere tutto il flusso e che in esso sulla stata convogliata la portata massima di $76 \text{ m}^3/\text{s}$, pari alla portata con tempo di ritorno di 200 anni.

Considerando lo stesso profilo valutato per il caso precedente, l'andamento idrometrico nelle due condizioni son o messi a confronto in Figura 5-3 nella quale è possibile osservare che, mentre con la portata di $20 \text{ m}^3/\text{s}$ il profilo nel canale di scarico veniva sostanzialmente rigurgitato, con la portata duecentennale il profilo nel canale "ipotetico" si mantiene a quote ben superiori rispetto alla quota del bacino portuale alla quale si raccorda passando, necessariamente, attraverso una sezione critica e, quindi, con un risalto che riporta la corrente da veloce (supercritica) a lenta (sub-critica).

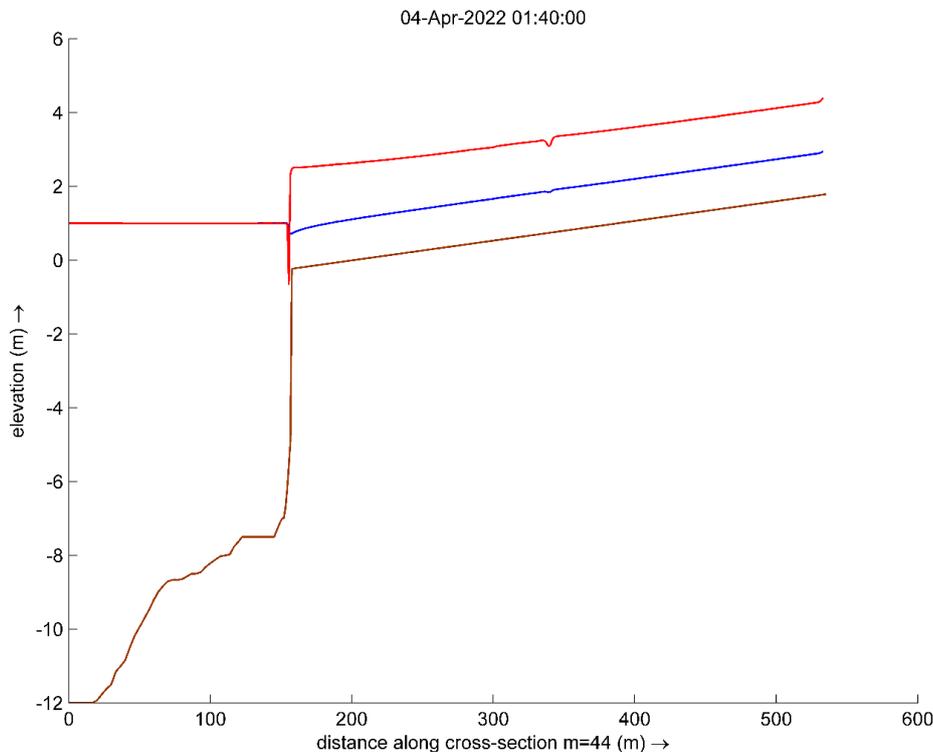


Figura 5-3 Confronto tra il profilo idrometrico con portata massima di $20 \text{ m}^3/\text{s}$ e quello ipotetico con portata massima di $76 \text{ m}^3/\text{s}$ ($TR=200$ anni)

Nel secondo ipotetico caso esaminato le velocità nel canale rimangono simili a quelle della situazione con portata di $20 \text{ m}^3/\text{s}$ (la pendenza nei due casi rimane la medesima), si ha un'importante accelerazione nella sezione di sbocco, per poi assumere valori molto bassi nel bacino portuale molto influenzati dalla schematizzazione bidimensionale dove i parametri, mediati sulla profondità presentano valori medi realistici, ma puntuali eccessivamente sottostimati.

ATI:



RTP:



Da questi risultati, quindi, si nota che il modello bidimensionale fornisce risultati significativi in termini di livelli idrometrici e di velocità medie che, quest'ultime, non sono rappresentative della situazione nel bacino portuale.

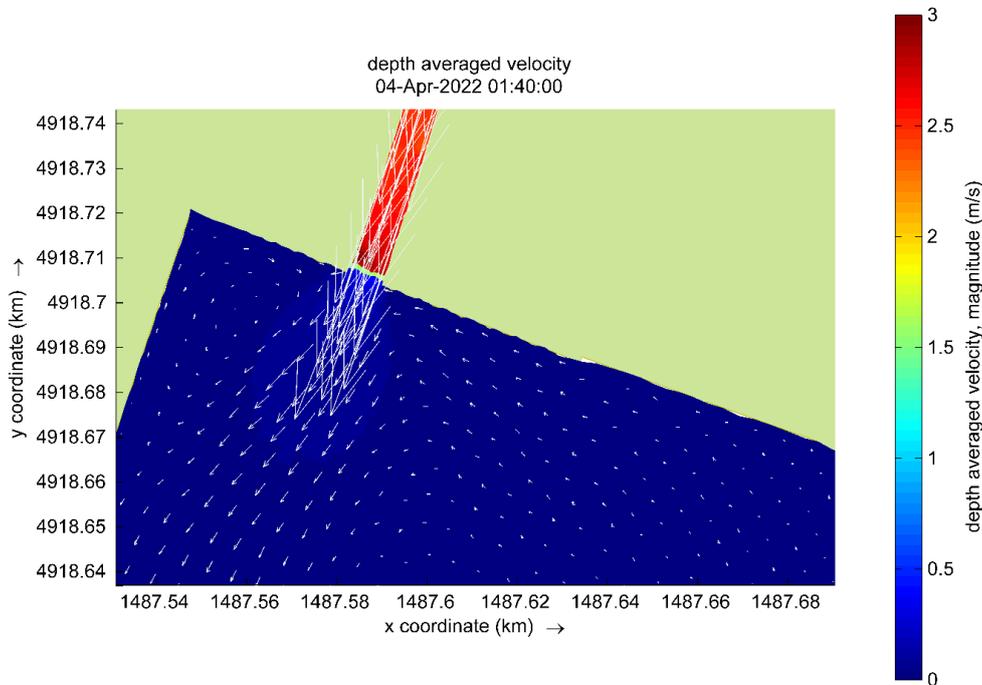


Figura 5-4 Distribuzione delle velocità con la portata massima di 76 m³/s

5.2 Situazione di progetto originale

A completamento delle analisi con il modello bidimensionale, si è valutato il comportamento del sistema nella configurazione prevista dal progetto di tombatura del torrente Cantarena, senza gli interventi di cui al presente studio che possono essere analizzati, in modo compiuto, solo con un modello 3D nella zona del deviatore. Nello scenario futuro è stato analizzato il solo caso con portata massima di 76 m³/s.

I campi di velocità che risultano nella situazione futuro sono riportati in Figura 5-5 nella quale si può notare che, a fronte di una velocità abbastanza elevata nel tratto tombato, anche superiore a 3 m/s, si verifica un brusco rallentamento in corrispondenza dello sbocco del canale nel bacino portuale, fenomeno che si verifica anche nello scenario con deviatore originale, riportato in Figura 5-5. Inoltre il plume delle velocità nel bacino portuale, immediatamente a valle dello sbocco, risulta molto più evidente rispetto a quanto visto nella configurazione "ipotetica" precedente, a parità di portata.

ATI:



RTP:



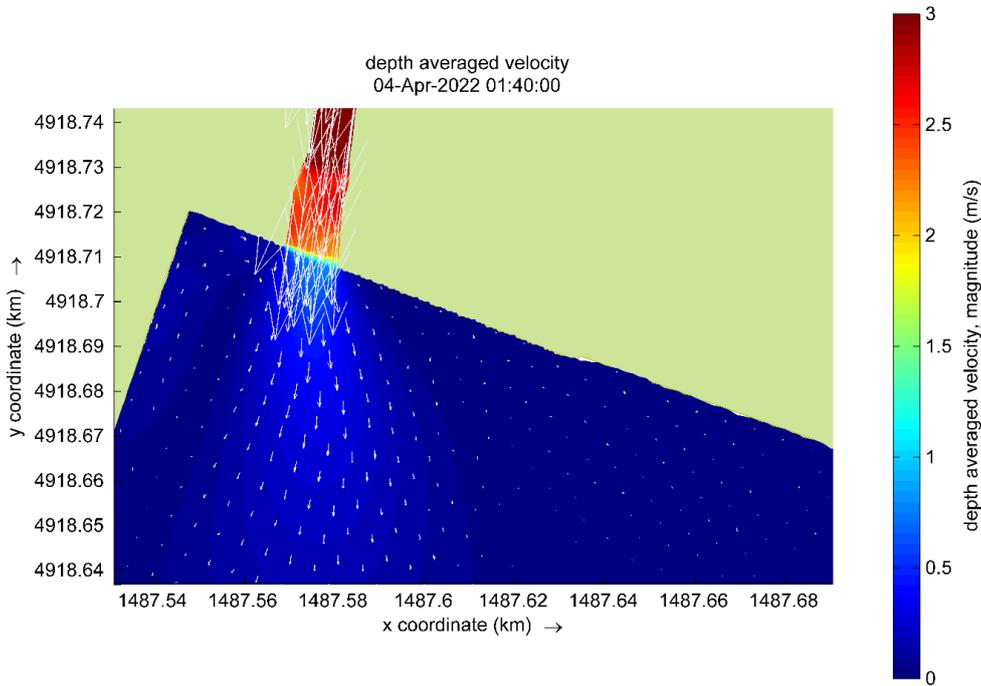


Figura 5-5 Campo delle velocità allo sbocco del t. Cantarena nella configurazione futura senza deviatore

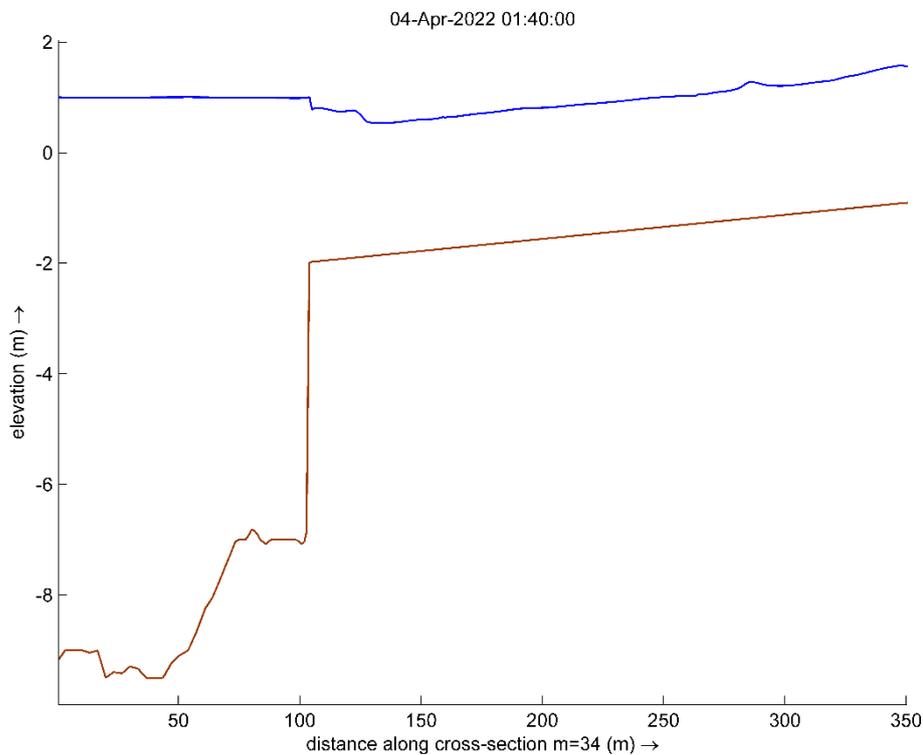


Figura 5-6 Profili lungo l'asse del t. Cantarena nella configurazione futura.

ATI:



RTP:



Questo fenomeno è facilmente spiegabile considerando il profilo idrometrico riportato in Figura 5-6 dove, in blu, è riportato il profilo del livello idrico nella configurazione qui considerata.

Si può notare chiaramente che la quota del fondo del canale tombato, che nella situazione di progetto viene significativamente abbassato, determina una situazione idrodinamicamente simile a quella della situazione attuale con la portata massima convogliabile ($20 \text{ m}^3/\text{s}$), con pelo libero nel canale più basso del pelo libero del corpo recettore, con un raccordo tra le due situazioni che consente la dissipazione dell'energia cinetica che il flusso assume nel canale tombato.

Dato il tirante idrico significativo all'interno del canale, tale raccordo si sviluppa soprattutto nella sua parte terminale e non, come nel caso della situazione attuale con portata più bassa, in prossimità del solo canale di sbocco.

ATI:



**Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.**

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



**CONSORZIO
INTEGRA**



RTP:



6 I RISULTATI OTTENUTI - MODELLO ACCOPPIATO 2D – 3D.

Il deviatore che viene proposto in questo studio è, come descritto nel dettaglio negli elaborati di progetto, costituito, in una prima parte, da un setto continuo che devia il flusso immediatamente a valle dello sbocco, per poi diventare una “veletta”, setto verticale tra la quota +1.80 m s.l.m.m. e -2.0 m s.l.m.m., che intende indirizzare il flusso nella parte più superficiale della colonna d’acqua.

Il fatto che questa struttura interessi solo una parte della colonna d’acqua, al fine di verificarne in modo realistico l’effetto sul flusso idrodinamico proveniente dal Cantarena, necessita, almeno in quella zona del dominio di calcolo, di una schematizzazione tridimensionale.

Per questa analisi, quindi, è stata utilizzata la schematizzazione combinata 2D-3D descritta nel precedente paragrafo 4.3.

Con tale schematizzazione sono stati studiati 2 scenari in 2 diverse condizioni idrodinamiche:

- Scenario con configurazione futura, senza deviatore, portata massima di 76 m³/s e livello del mare a +1m s.l.m.m.
- Scenario con configurazione futura, con deviatore, portata massima di 76 m³/s e livello del mare a +1m s.l.m.m.
- Scenario con configurazione futura, senza deviatore, portata massima di 76 m³/s e livello del mare a 0m s.l.m.m.
- Scenario con configurazione futura, con deviatore, portata massima di 76 m³/s e livello del mare a 0m s.l.m.m.

6.1 Modello accoppiato 2D – 3D –Q= 76 m³/s e livello del mare + 1m s.l.m.m.

Le condizioni adottate per l’analisi di questi scenari corrispondono a quelle già adottate negli studi svolti in precedenza²

Con queste condizioni al contorno sono stati analizzati con il modello accoppiato 2D-3D sia la configurazione senza che quella con il deviatore. Nei seguenti paragrafi i principali risultati ottenuti

6.1.1 Configurazione futura senza deviatore.

Per la configurazione senza deviatore, con mare posto alla quota massima di 1 m s.l.m.m. ed una portata convogliata dal Cantarena di 76 m³/s, I livelli che si instaurano nella parte terminale del canale tombato e nel bacino portuale ad esso prospiciente sono quelli riportati nella Figura 6-1. Risultati riportati riguardano il solo dominio 3D, di interesse per la sezione di sbocco.

Come si può notare, i livelli del tratto di monte si posizionano, in tutta la sezione trasversale, su quote pari a circa 0.7 m s.l.m.m. che vanno poi a raccordarsi alla quota +1 m s.l.m.m. del bacino portuale, presentando

ATI:



Imprese Consorziate Esecutrici



RTP:



una discontinuità, in abbassamento, dove il fondo si approfondisce dalla quota di circa -2.00 m s.l.m.m. del fondo del canale alla quota di circa -7.50 m s.l.m.m. del porto.

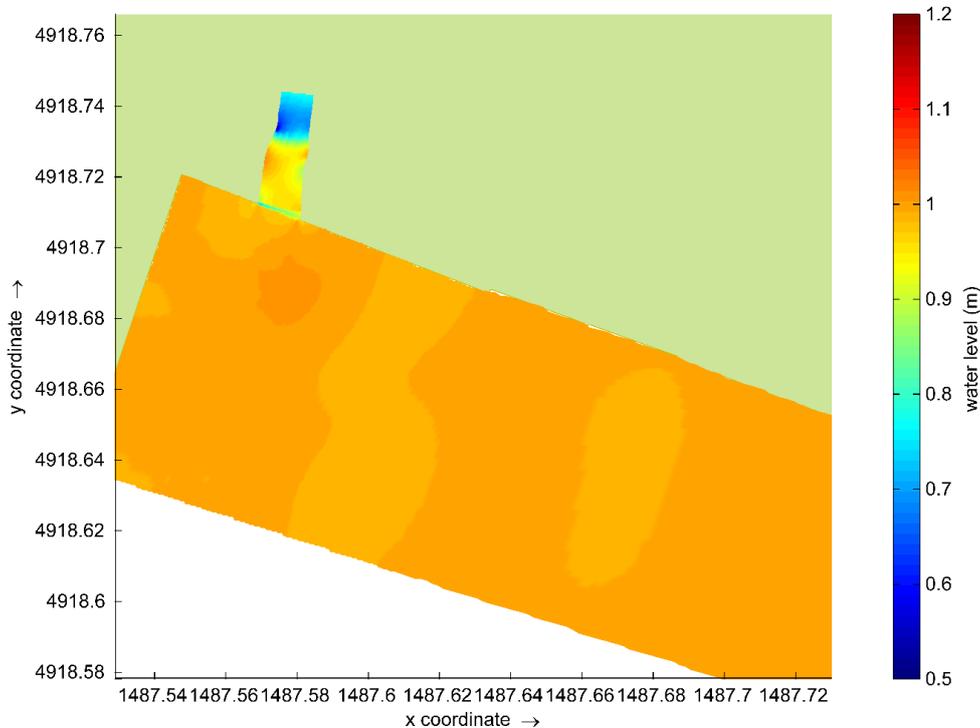


Figura 6-1 Andamento dei livelli senza deviatore

Le velocità hanno, naturalmente un comportamento opposto, essendo più elevate nel canale significativamente più basse nel bacino portuale.

Grazie alla schematizzazione 3D, è possibile analizzare la variazione del “plume” di velocità non solo a livello planimetrico, ma anche sulla profondità.

In particolare, nella Figura 6-2 è riportato il campo delle velocità nello strato superficiale in cui si nota una riduzione significativa della stessa passando dal canale al bacino portuale. Le velocità nel bacino portuale sono significativamente più elevate rispetto a quelle ottenute nella simulazione 2D (c.f.r. Figura 5-4 tenendo anche conto dei diversi limiti della scala grafica) ed anche da un punto di vista planimetrico il “plume” risulta più concentrato e si propaga per un tratto più lungo, sempre rispetto a quello stimato con il modello 2D.

Risulta anche interessante osservare quale sia il plume di velocità a circa metà colonna d’acqua (layer 3 della schematizzazione) riportato in Figura 6-3 in cui si vede un andamento planimetrico simile a quello del layer superficiale, ma con gradienti, tra l’asse del plume e le zone contermini, significativamente inferiori.

Al fine di fornire un’indicazione complessiva dell’andamento delle velocità sulla verticale, viene riportato in Figura 6-4 il profilo verticale delle velocità calcolato in una sezione in asse alla parte terminale del tratto tombinato e prolungata verso il bacino portuale. Da questa figura è possibile notare come il flusso nel

ATI:



Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO
INTEGRA



RTP:



bacino portuale, sia maggiormente convogliato negli strati superficiali, mentre quelli più profondi, specialmente nella parte immediatamente a valle dello sbocco, non contribuiscono, se non in modo estremamente limitato, al moto.

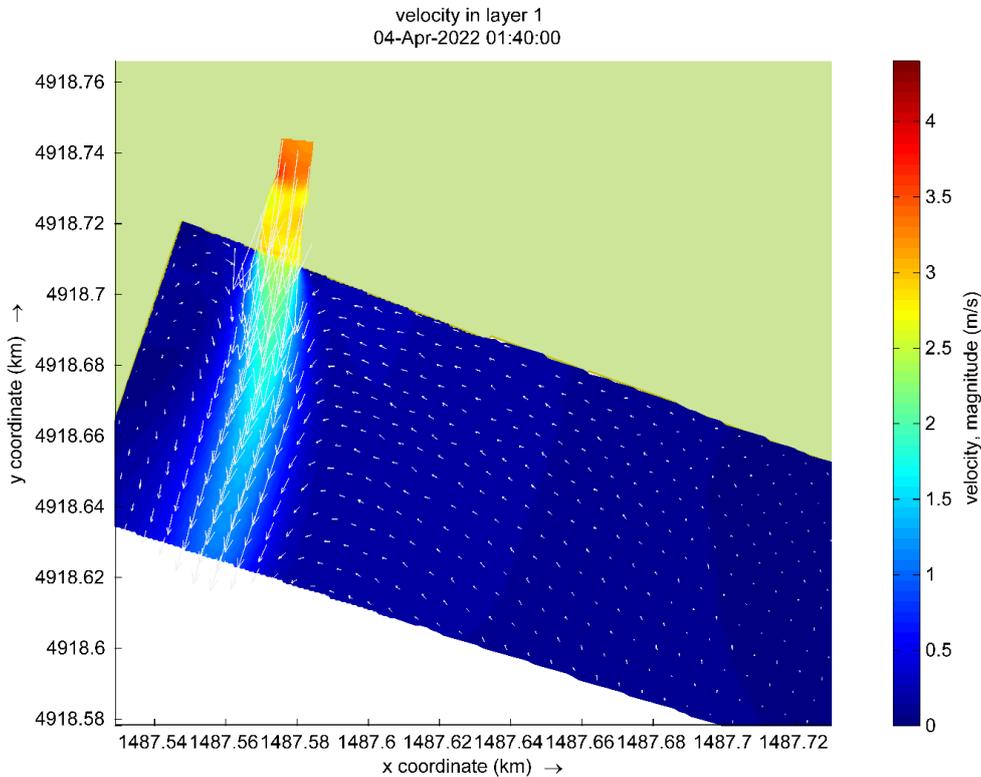


Figura 6-2 Distribuzione delle velocità nel layer superficiale senza deviatore.

ATI:



Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO
INTEGRA



RTP:



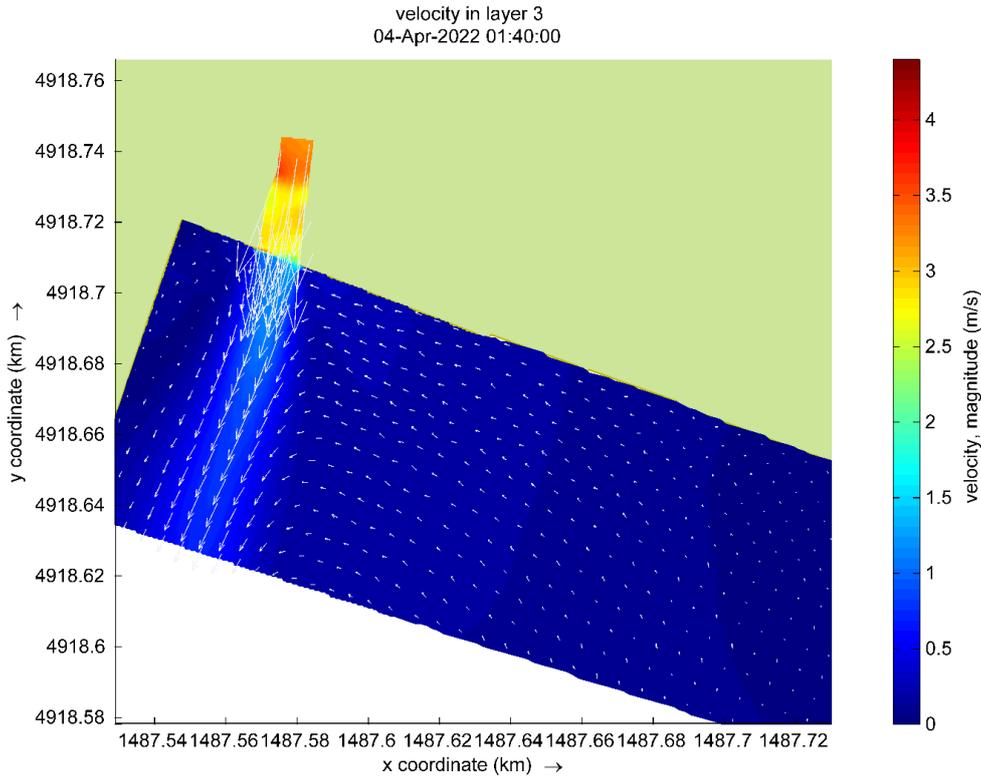


Figura 6-3 Distribuzione delle velocità nel layer a metà colonna d'acqua (layer 3) senza deviatore.

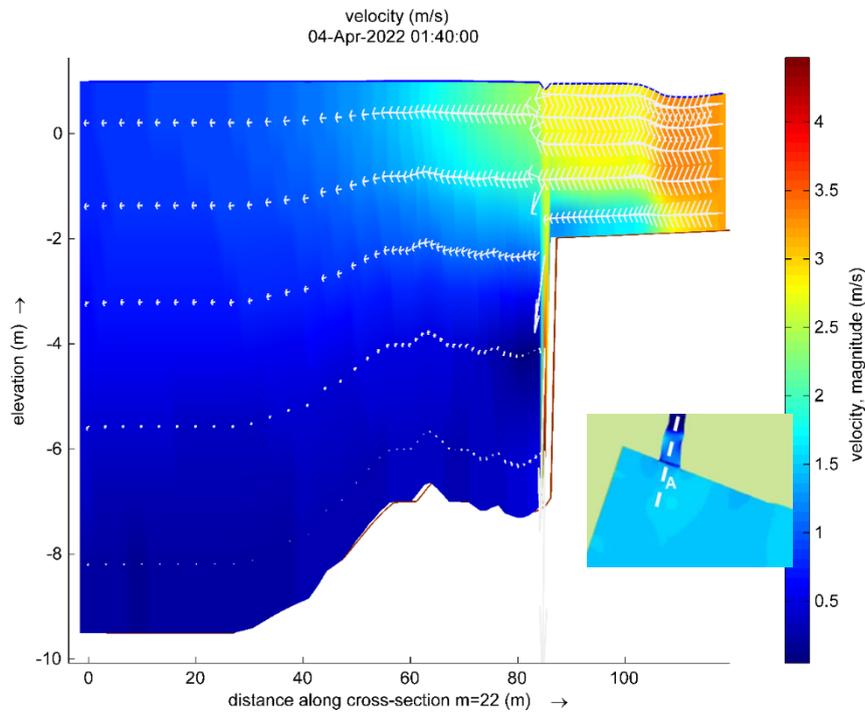


Figura 6-4 Profilo idrometrico e velocità in asse alla sezione di foce senza deviatore.

ATI:



Consorzio Stabile Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO INTEGRA



RTP:



Un'ulteriore osservazione di un certo interesse è relativo alla distribuzione verticale delle velocità nel tratto terminale del canale tombato in cui, a causa del collegamento necessario tra il livello di moto sostanzialmente uniforme che si crea nel canale tombato ed il livello di valle, la velocità tende mediamente a diminuire (è evidente il passaggio dal colore arancio al giallo e quindi a verde, ma si produce una velocità maggiore nella parte alta della lama d'acqua, mentre nella parte più a contatto con il fondo le velocità sono mediamente più basse (nel tempo). Anche questo fenomeno, strettamente connesso alla schematizzazione tridimensionale e dovuto alla circolazione verticale che si genera al passaggio dalla sezione ristretta a quella allargata, contribuisce a creare, negli strati superficiali, velocità più elevate.

Nella Figura 6-5 viene anche riportato il profilo verticale delle velocità lungo l'asse del futuro canale del deviatore (profilo C). Lungo quest'asse, di scarso interesse per la descrizione della situazione attuale, ma che servirà di riferimento per i risultati ottenuti con il deviatore, si nota, nella parte più elevata della colonna d'acqua, la concentrazione delle velocità in corrispondenza dello sbocco del Cantarena che, sviluppandosi nel verso perpendicolare al piano della figura, tende a richiamare, anche se con velocità molto contenute, un flusso d'acqua dalle regioni più periferiche, originando il classico vortice degli efflussi in bacino calmo.

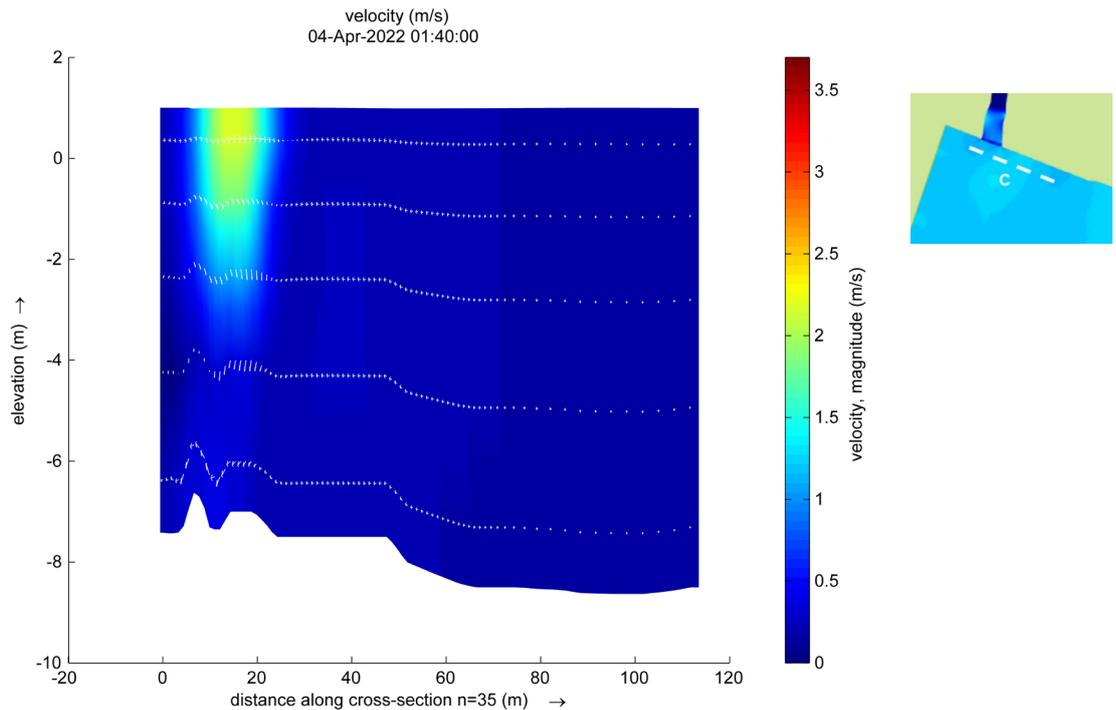


Figura 6-5 Profilo idrometrico e velocità in asse longitudinale del futuro deviatore.

ATI:



RTP:



6.1.2 Configurazione futura con deviatore.

Nella griglia di calcolo utilizzata per le analisi sopra riportate è stata inserita la schematizzazione del deviatore conforme alla configurazione di progetto.

Come già accennato, il deviatore presenta un primo tratto continuo su tutta la colonna d'acqua al fine di evitare che sia il materiale flottante che gli eventuali sedimenti possano andare sotto l'impalcato della nuova opera portuale, immediatamente seguito, a valle della curva, da una veletta verticale tra la quota +1.80 m s.l.m. e -2.0 m s.l.m. che si protrae fino allo sbocco nel bacino portuale

Nella Figura 6-6 viene riportato l'andamento dei livelli in presenza del deviatore nella quale si può notare che, ad un andamento dei livelli sostanzialmente identico a quello del caso precedente per il tratto nel canale tombato, allo sbocco nel bacino portuale si ha dapprima un leggero abbassamento del livello per avere poi un leggero innalzamento contro la parete che delimita la curva.

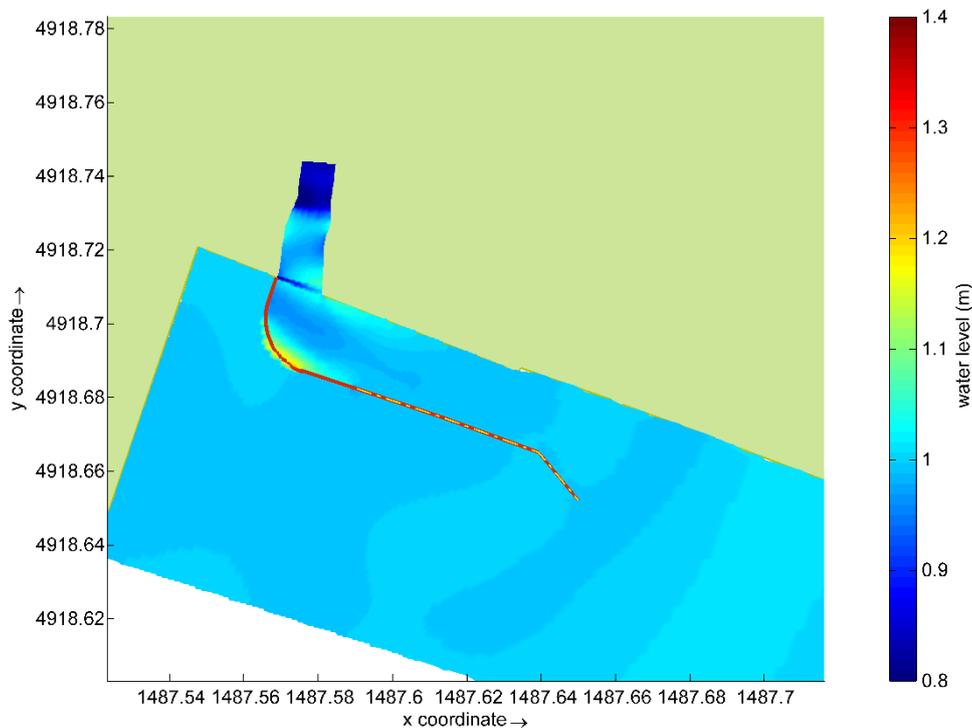


Figura 6-6 Andamento dei livelli con il deviatore modificato

Per una migliore comprensione è interessante confrontare questa figura con la Figura 6-1 tenendo conto che la scala cromatica è necessariamente differente dovendo, in questo caso, comprendere livelli che, nel caso senza deviatore, non si verificavano.

ATI:



RTP:



In Figura 6-2, invece, è riportato il campo di velocità che si verifica nello strato superficiale che, per la sua estensione lungo la verticale, risulta sempre separare il flusso che si verifica nel deviatore dal bacino portuale.

In questo caso risulta evidente come il plume di velocità venga deviato dalla presenza della nuova struttura, mantenendo, in superficie, velocità elevate che possono anche superare i 2 m/s. Una volta che il flusso è stato incanalato lungo il deviatore, la velocità tende a diminuire fino allo sbocco nel bacino portuale.

Una tendenza analoga si manifesta anche nello strato a metà colonna d'acqua, anche se con velocità più basse, almeno nella prima parte dove si risente della presenza del deviatore sull'intera altezza (Figura 6-3).

Dal punto in cui il setto continuo è sostituito dalla veletta e, quindi, il flusso può espandersi, è evidente la riduzione della velocità e l'espansione del plume di velocità.

Questi risultati sono confermati nelle sezioni verticali riportate in Figura 6-9 e in Figura 6-10 dove, nella prima, viene riportato un profilo verticale delle velocità in corrispondenza dell'asse del canale tombato, mentre nella seconda in corrispondenza di un tratto interessato dalla veletta.

Come si può notare, nella zona in cui è presente il tratto continuo del deviatore, l'andamento delle velocità è fortemente verticale, con una direzione discendente lungo la parete del deviatore e ascendente, anche se meno pronunciato, lungo quella della banchina.

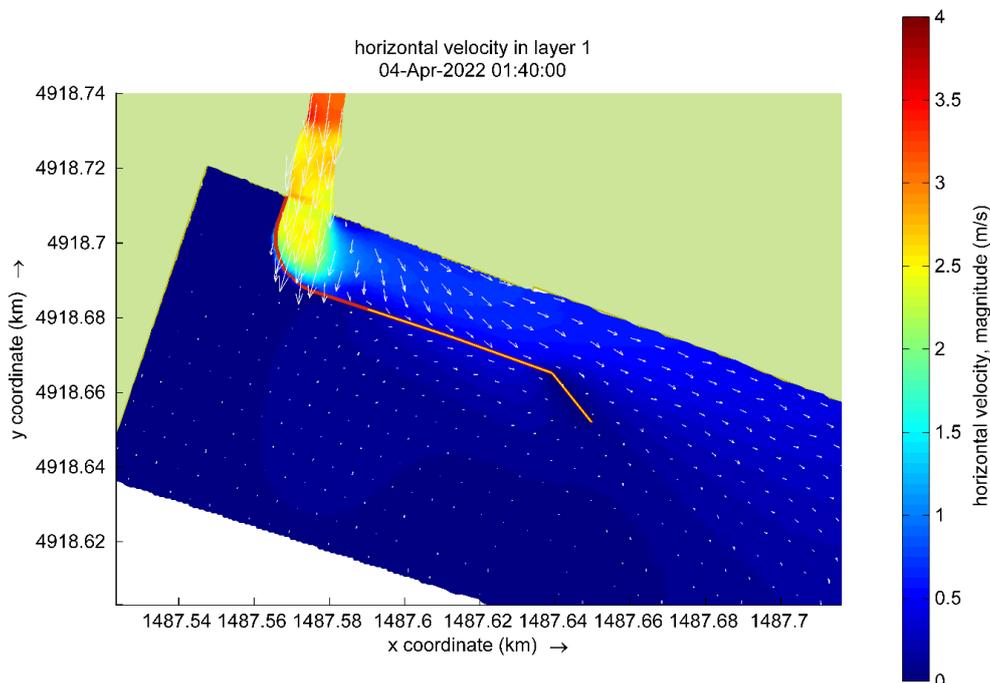


Figura 6-7 Distribuzione delle velocità nel layer superficiale con il deviatore modificato.

ATI:



Consorzio Stabile Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



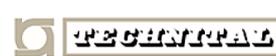
FINCOSIT



CONSORZIO INTEGRA



RTP:



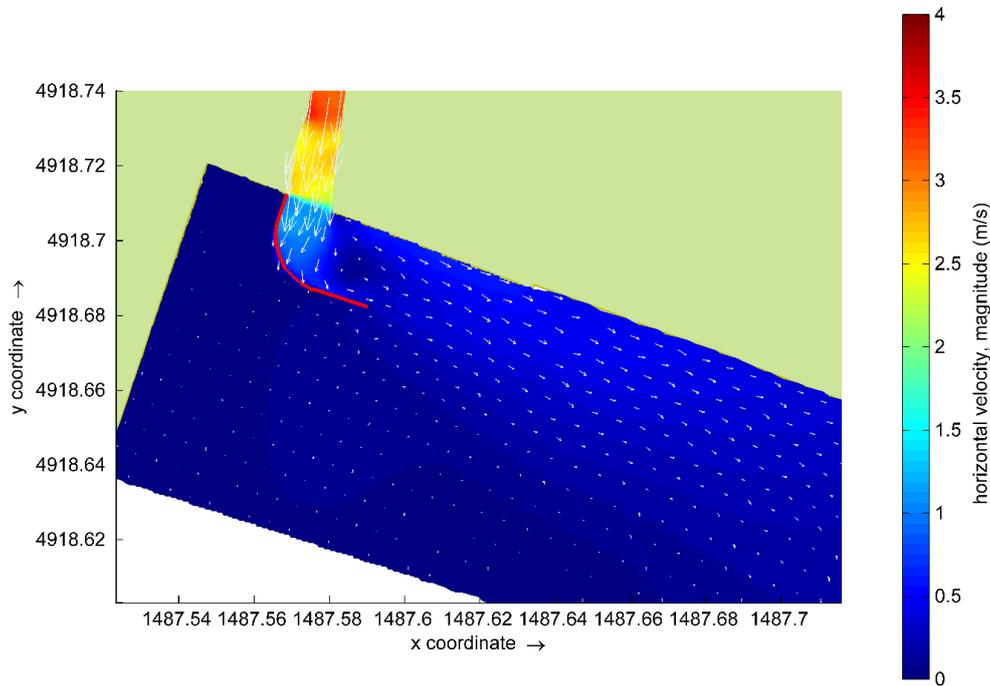


Figura 6-8 Distribuzione delle velocità nel layer a metà colonna d'acqua (layer 3) nella configurazione con deviatore.

Si nota anche, a metà colonna, d'acqua, un'evidente diminuzione delle velocità lontano dal deviatore, mentre sul fondo si nota un incremento di tale parametro. Come si può notare dalla lunghezza delle frecce che indicano il vettore velocità nella componente nel piano della, l'incremento di velocità sul fondo non è dovuto a componenti verticali o trasversali, quanto a velocità lungo l'asse del deviatore, quindi ortogonali al piano della figura (vettori di lunghezza molto contenuta).

ATI:



Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO
INTEGRA



RTP:



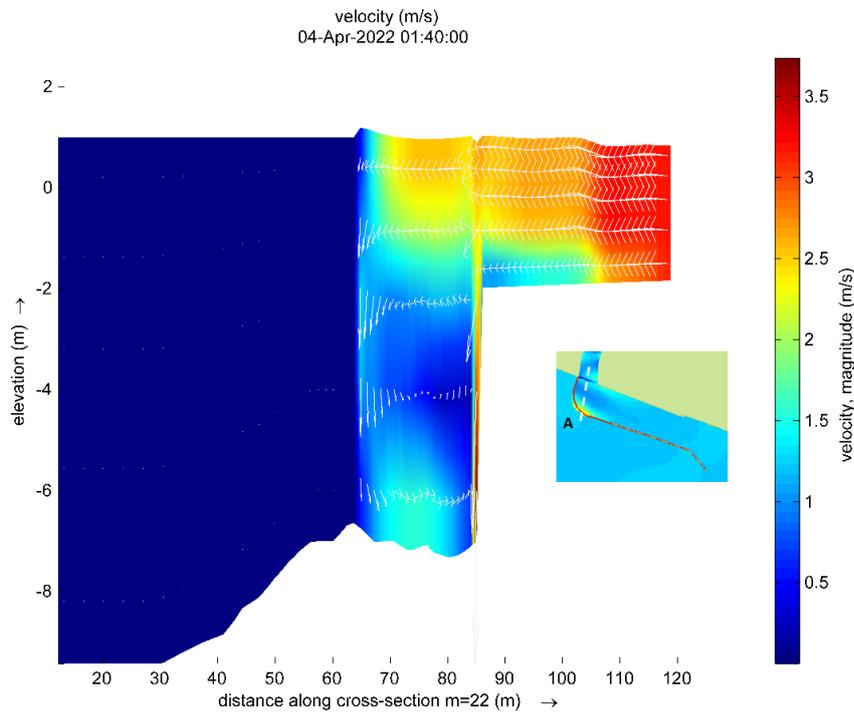


Figura 6-9 Configurazione futura con deviatore: Distribuzione verticale delle velocità in asse alla sezione di sbocco

Anche in questo caso, come in quello precedente senza deviatore, è da notare la distribuzione non uniforme della velocità in corrispondenza della sezione di sbocco del canale nel porto, con velocità inferiori lungo il fondo del canale stesso.

Una situazione alquanto diversa si verifica invece se si considera una sezione trasversale al deviatore riportata nella già accennata Figura 6-10 nella quale i colori che identificano l'intensità della corrente non è direttamente confrontabile con la figura precedente, sempre per la necessità di utilizzare una scala cromatica con limiti differenziati per mettere in evidenza i gradienti locali.

In questo caso si vede che le velocità maggiori si riscontrano contro la parete della banchina (il noto effetto parete) e che le velocità sono evidentemente confinate nella parte dove è presente la veletta, mentre si nota una maggiore distribuzione orizzontale nella parte non confinata della colonna d'acqua. Sempre nella parte più superficiale si evidenziano ancora velocità sostenute, fino a circa 0.6 – 0,7 m/s che vanno via via diminuendo all'aumentare della profondità.

ATI:



Consorzio Stabile Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO INTEGRA



RTP:



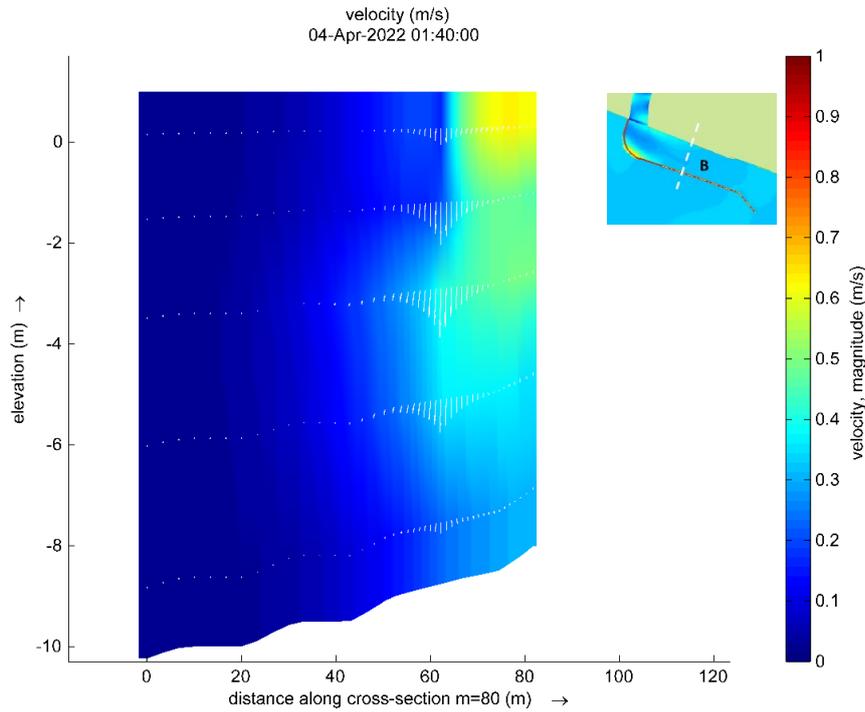


Figura 6-10 Configurazione futura con deviatore: Distribuzione verticale delle velocità nella sezione a fondo aperto (B).

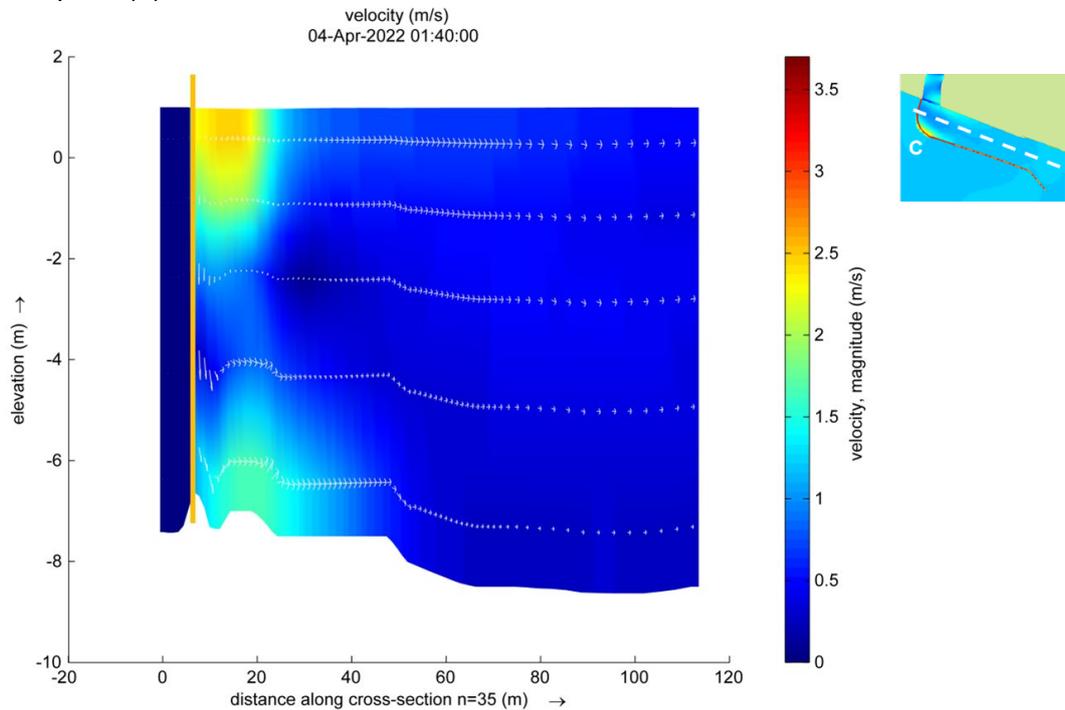


Figura 6-11 Configurazione futura con deviatore: Distribuzione verticale delle velocità lungo il profilo longitudinale in asse al deviatore (sezione C)

ATI:



**Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.**

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



**CONSORZIO
INTEGRA**



RTP:



E' da notare come, anche negli strati superficiali dove è presente la veletta, ma nella parte esterna rispetto al canale del deviatore, la velocità non sia nulla, ma risenta dell'effetto di trascinamento degli strati inferiori. Nella Figura 6-11 viene anche riportato il profilo verticale delle velocità lungo l'asse del canale del deviatore che porta al bacino portuale aperto (profilo C) in cui si notano le concentrazioni di velocità nella parte più superficiale ed in quella profonda della colonna d'acqua e come queste concentrazioni di velocità vadano attenuandosi in prossimità della sezione in cui si passa dal setto continuo della colonna d'acqua al tratto con la veletta

6.1.3 Confronto dei livelli idrometrici senza e con deviatore.

Risulta a questo punto di particolare interesse confrontare l'andamento dei profili idrometrici nel caso della configurazione dello sbocco senza deviatore e di quello con deviatore e come l'inserimento di questo nuovo elemento modifichi il livello idrometrico all'interno del canale tombato.

Nella Figura 6-12 viene riportato tale confronto per un profilo longitudinale posto in asse al canale tombato e che si estende, partendo dalla sezione di sbocco, sia verso valle (bacino portuale), sia verso monte (la nuova opera di regimazione del t. Cantarena).

In prima istanza si può notare che all'interno del canale non si riscontrano differenze apprezzabili, a conferma che il deflusso all'interno dello stesso si sviluppa secondo le medesime caratteristiche. Si nota qualche lieve differenza in prossimità della parete del deviatore dove, a causa del cambiamento della direzione della velocità, con un'intensità ancora elevata, si manifesta un leggero rialzo.

All'esterno del deviatore non si riscontrano differenze apprezzabili.

ATI:



Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO
INTEGRA



RTP:



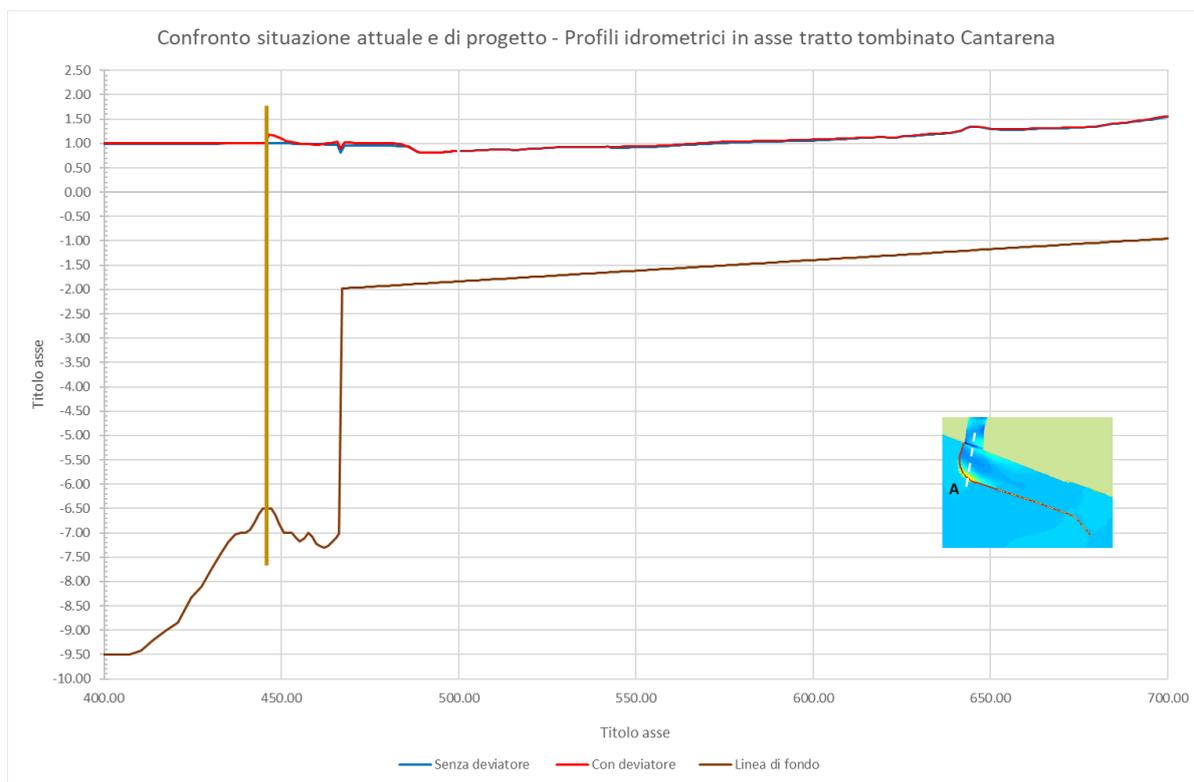


Figura 6-12 Confronto dei profili idrometrici in asse alla sezione di sbocco tra le configurazioni senza e con deviatore

6.2 Modello accoppiato 2D – 3D –Q= 76 m³/s e livello del mare + 0 m s.l.m.m.

Analogamente a quanto già descritto nel paragrafo precedente in merito agli scenari con la configurazione futura del canale tombato del rio Cantarena, senza e con deviatore, e con livello del mare a +1.0 m s.l.m.m, si è anche voluto verificare l'andamento dei profili liquidi in una situazione molto più ricorrente, sempre con portata dal Cantarena pari a quella massima con tempo di ritorno di 200 anni (76 m³/s), ma no il livello del bacino portuale pari a quello medio del mare (0.00 m s.l.m.m.). E' noto infatti che la marea a Genova ha un'oscillazione, usualmente, di poche decine di centimetri e che livelli come quelli considerati nel precedente capitolo possono verificarsi solo a fronte di eventi meteorologici estremamente gravosi.

Eseguendo le simulazioni con il modello combinato 2D-3D impostato come descritto in precedenza, si è verificato l'andamento del profilo liquido nel tratto tombato ed immediatamente a valle del suo sbocco, sempre nella configurazione senza e con deviatore.

Il risultato è riportato nella Figura 6-13 dove, analogamente al profilo di Figura 6-12, viene riportato in rosso il profilo liquido nella configurazione con il deviatore ed in blu il profilo nella configurazione futura del Cantarena ma senza deviatore.

ATI:



RTP:



Il risultato risulta sostanzialmente analogo a quello ottenuto nel caso precedente, con profili liquidi nel tratto tombinato assolutamente comparabili in termini di livelli, mentre a valle dello sbocco, anche in questo caso, si nota un lieve rialzo del livello contro la parete del deviatore dovuto alla riduzione di energia cinetica.

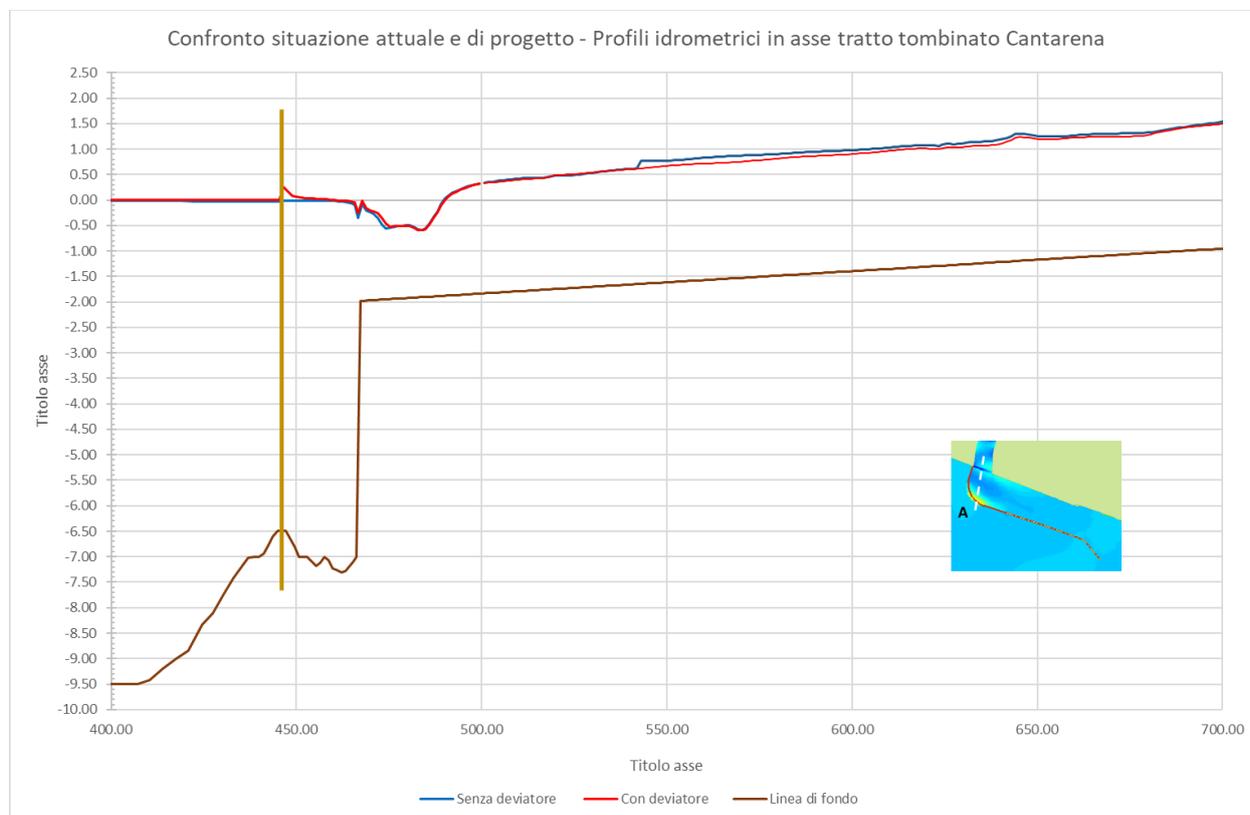


Figura 6-13 Confronto dei profili idrometrici in asse alla sezione di sbocco tra le configurazioni senza e con deviatore

Risultano interessanti osservare i risultati delle distribuzioni dei campi di velocità lungo la verticale sia nella sezione di sbocco senza e con deviatore, rispettivamente Figura 6-14 e Figura 6-15, sia nella sezione trasversale, sempre lungo il deviatore, dove la veletta prende il posto del setto continuo di Figura 6-16.

Com'era atteso, le velocità nella parte terminale del tratto tombato, con il livello del mare a 0.00 m s.l.m.m., tendono ad aumentare rispetto al caso con il livello del mare innalzato (da notare il limite della scala cromatica delle velocità più alto rispetto a quello di Figura 6-4), con un risalto all'interno del canale tombato che collega il regolare deflusso nel tratto di monte al nuovo livello del mare. E' da notare che, in questa condizione, il moto nel canale tombato si sviluppa in corrente lenta, passando in critica in prossimità della progressiva 110 e, dopo un breve tratto in rapida, formare un risalto per riconnettersi al livello del bacino portuale.

Anche in presenza del deviatore accade sostanzialmente lo stesso fenomeno anche se, nella zona del risalto idraulico, con velocità leggermente inferiori.

ATI:



RTP:



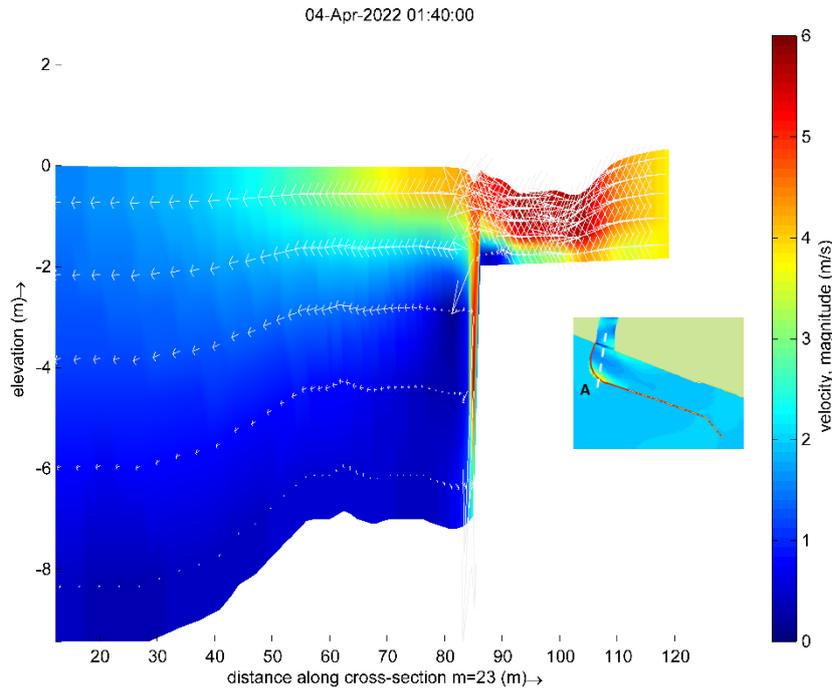


Figura 6-14 Configurazione futura senza deviatore: Distribuzione verticale delle velocità in asse alla sezione di sbocco.

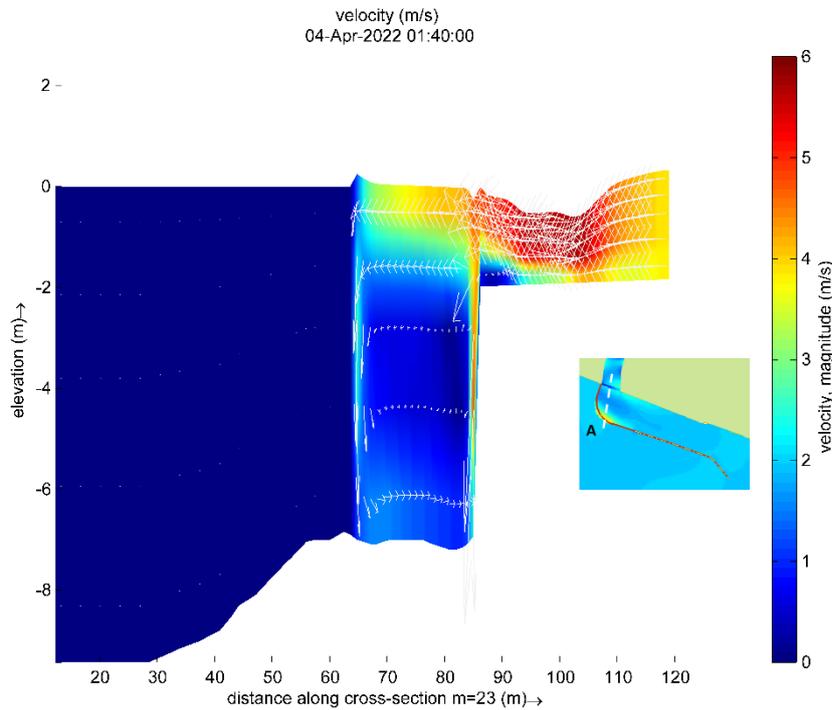


Figura 6-15 Configurazione futura con deviatore: Distribuzione verticale delle velocità in asse alla sezione di sbocco

ATI:



Consorzio Stabile Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO INTEGRA



RTP:



A valle dello sbocco si riscontrano situazioni sostanzialmente analoghe a quelle già descritte per il caso precedente.

Anche nella sezione con la veletta l'andamento delle velocità ha un comportamento analogo a quello visto nel caso precedente, ricordando che in questa figura la scala cromatica ha un valore massimo minore rispetto alle due precedenti al fine di mettere in evidenza i gradienti di velocità che, in questa sezione, sono ovviamente molto inferiori a quelli che si verificano in asse allo scarico.

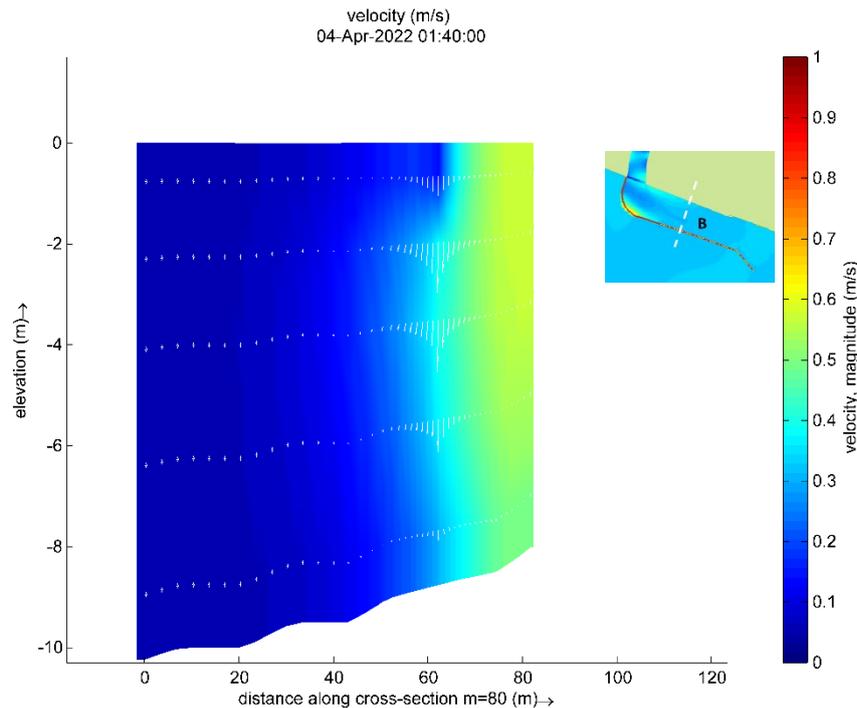


Figura 6-16 Configurazione futura con deviatore: Distribuzione verticale delle velocità nella sezione a fondo aperto (B).

Per completezza dell'informazione si riporta in Figura 6-17, come già fatto per i casi precedenti, anche il profilo longitudinale delle velocità lungo l'asse del canale di scarico del deviatore in cui si notano le concentrazioni di velocità nella parte più superficiale ed in quella profonda della colonna d'acqua, analogamente a quanto visto nel caso precedente, ma con valori di velocità, soprattutto negli strati superficiali, più elevati a causa della maggiore velocità con cui il flusso arriva alla zona iniziale del deviatore.

ATI:



RTP:



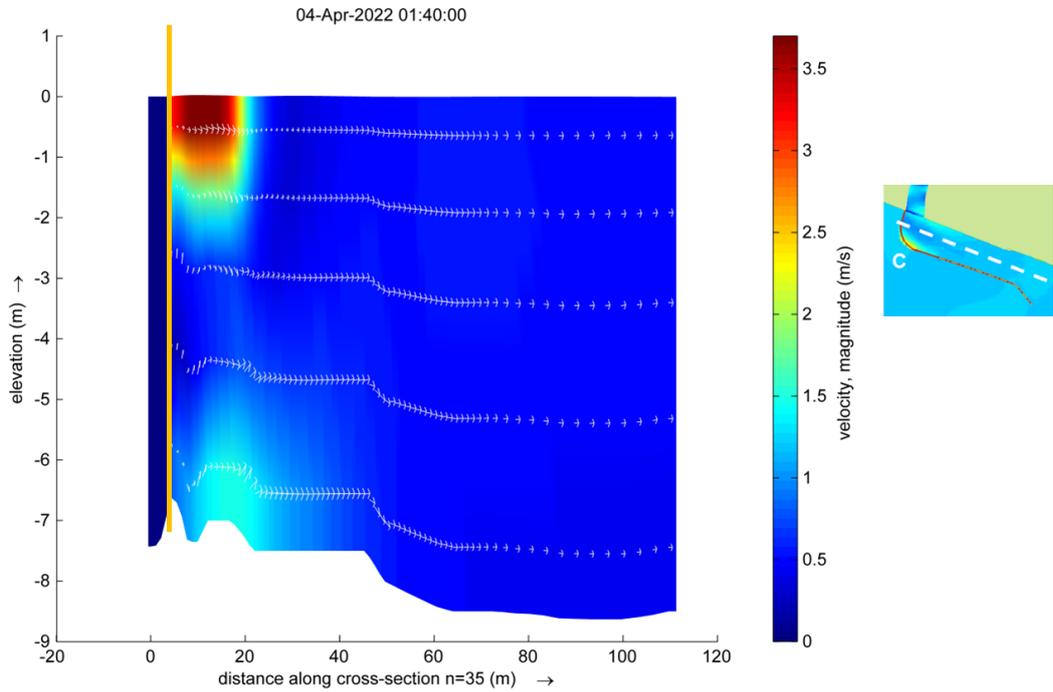


Figura 6-17 Configurazione futura con deviatore: Distribuzione verticale delle velocità lungo il profilo longitudinale in asse al deviatore (sezione C). Livello bacino portuale 0.00 m s.l.m.m.

ATI:



**Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.**

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



**CONSORZIO
INTEGRA**



RTP:



7 CONCLUSIONI

Al fine di studiare gli effetti indotti dalla presenza di un deviatore di corrente sul deflusso delle portate massime all'interno del nuovo canale tombato che andrà a sostituire l'attuale nel tratto che sottopassa l'area Finsider, sono stati predisposti due modelli idrodinamici: uno con una schematizzazione puramente dimensionale, di riferimento per la situazione senza interventi, ed un altro con schematizzazione 2D e 3D dinamicamente connessi, in grado di evidenziare anche le componenti verticali dei flussi, soprattutto nella zona dove il canale tombato del Cantarena sbocca nel bacino portuale.

Sono state analizzate due condizioni idrodinamiche di riferimento: la prima considerando un livello del mare posto a +1 m s.l.m.m., caratteristico di un evento eccezionale di sovrizzo del mare, considerato anche per essere confrontabili con gli studi precedenti, ed un idrogramma di piena, convogliato dal Cantarena, considerato caratteristico per un evento con tempo di ritorno di 200 anni (portata al colmo pari a 76 m³/s).

La seconda condizione prevedeva lo stesso idrogramma di piena utilizzato nella precedente, ma con un livello del mare più basso, posto al suo livello medio (0.00 m s.l.m.m.).

Con la **configurazione del deviatore considerata nei precedenti studi**, come indicato dagli autori, era stato verificato che *“omissis ... il profilo all'interno della tombinatura presenti una lieve variazione tra le due configurazioni (inferiore a 0.2 m) nei primi 50 m circa, mentre in tutto il tratto a monte rimane sostanzialmente invariato.”*²

Le analisi effettuate, i cui risultati sono stati estesamente esposti nel presente rapporto, indicano che la presenza del **deviatore nella configurazione qui considerata (primo tratto in curva continuo su tutta la profondità e, poi, una veletta che indirizza il moto tra la quota +1.8 e -2.0 m s.l.m.m.)** non ha un effetto rilevante sul deflusso nel canale tombato.

ATI:



Consorzio Stabile
Grandi Lavori S.c.r.l.

Imprese Consorziate Esecutrici



FINCOSIT



CONSORZIO
INTEGRA



RTP:



SJS ENGINEERING
A DBA Group Company