



TITOLO-TITLE:

LINGUE DISPONIBILI - AVAILABLE LANGUAGE: IT

CONCESSIONE "TRAVALE"

POSTAZIONE GEOTERMICA "RADICONDOLI 36"

Progetto Definitivo delle Opere Civili

LINEE FLUIDI: RELAZIONE SULL'ATTRAVERSAMENTO DI ACQUE PUBBLICHE

File: R36018_RacqP

00	18/09/2023	Prima Emissione	E.Riva ISMES		AMB F. Cappelli EGP	B. Saighetti EGP
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED by	COLLABORATORS	VERIFIED by	VALIDATED by
PROJECT / PLANT		GRE CODE				
		GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY
		GRE	EEC	R	2	8
					I	T
					G	1
					3	4
					0	7
					0	0
					0	0
					5	0
					0	0
CLASSIFICATION		PUBLIC <input type="checkbox"/>	CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/>		UTILIZATION SCOPE	
		COMPANY <input checked="" type="checkbox"/>	RESTRICTED <input type="checkbox"/>		Basic Design, Detailed Design, Issue for Construction, etc.	
This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.						

RAPPORTO

CONFIDENTIAL

APPROVATO

C3300552

Cliente Enel Green Power Italia s.r.l..

Oggetto Concessione "Travale"
Postazione geotermica "Radicondoli 36"
Progetto definitivo delle Opere Civili
Linee Fluidi: Relazione sull'attraversamento di acque pubbliche

Ordine Contratto Aperto n° JA10125351
Attivazione n° 3500444421 del 03/05/2023

Note Rev. 0 – WBS A1300004499 – Lettera di accompagnamento Prot. C3300422

Progettista civile: Ing. Francesco Carnevale Direttore Tecnico ISMES

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta di ISMES.

N. pagine 31 **N. pagine fuori testo** 0

Data 18/09/2023

Elaborato Belotti Marco (ISMES SCS), Zuccalà David (ISMES SCS), Riva Efrem (ISMES SCS)
C3300552 114942 AUT C3300552 3770 AUT C3300552 2604800 AUT

Verificato Pellegrini Rita (ISMES SCS), Bonalumi Pamela (ISMES TCD)
C3300552 119018 VER C3300552 3340407 VER

Approvato Carnevale Francesco (ISMES IAD)
C3300552 3194063 APP

Indice

1	PREMESSA	3
2	BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO.....	4
3	ASPETTI VINCOLISTICI DI TIPO IDRAULICO.....	5
4	ANALISI IDROLOGICA	8
5	MODELLAZIONE IDRAULICA DEL FIUME CECINA E DEGLI AFFLUNETI IN SINISTRA IDROGRAFICA	12
5.1	Costruzione DTM e geometria del modello	12
5.2	Scabrezze e Condizioni al Contorno	17
5.3	Aree di esondazione per eventi con tempo di ritorno 200 anni.	20
5.4	Confronto tra fasce P.G.R.A. e risultati modellistici	20
5.5	Analisi dei Livelli Idrici	22
5.6	Analisi delle Velocità	24
5.7	Verifica del franco idraulico	28
5.8	Obblighi Ittiogenici	30
6	CONCLUSIONI	31

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
00	18/09/2023	C3300552	Prima Emissione

1 PREMESSA

La presente relazione descrive le verifiche di compatibilità idraulica del nuovo vaporedotto di collegamento tra la postazione “Radicondoli 36” e la rete impiantistica esistente in prossimità della postazione “Radicondoli 24”, avente una lunghezza complessiva di circa 2300 m.

Poiché l’opera si sviluppa in larga parte nell’area golenale sinistra del Fiume Cecina e più a Sud nei pressi dell’immissione col Torrente Rimaggio, le analisi idrauliche saranno condotte per mezzo di un modello bidimensionale sviluppato col software Hec Ras 6.3.1.

Essendo disponibile per l’area di studio, presso il Geoportale Ministero dell’Ambiente¹ il Modello Lidar del Terreno (in seguito DTM) a cella 1 m, lo stesso sarà usato come base per le verifiche idrauliche del corso d’acqua.

Tale metodologia appare particolarmente appropriata in quanto le ampie zone golenali ben si prestano a tale tipologia di modellazione.

Con particolare riferimento all’art.3 della Legge Regionale Toscana n.41 del 2018 il presente elaborato è volto a dimostrare che le opere in oggetto, ovvero il vaporedotto e i relativi supporti, seppur localmente interferenti con corsi d’acqua mappati nella L.R. 79/2012² e con le fasce di esondazione del PGRA³ :

- non altera il buon regime delle acque;
- non interferisce con esigenze di regimazione idraulica, accessibilità e manutenzione del corso d’acqua ed è compatibile con la presenza di opere idrauliche;
- non interferisce con la stabilità del fondo e delle sponde;
- non genera aggravio del rischio in altre aree derivante dalla realizzazione dell’intervento;
- non comporta aggravio del rischio per le persone e per l’immobile oggetto dell’intervento

In generale, le verifiche sulla presenza di un adeguato franco idraulico saranno condotte secondo le indicazioni della NTC 2018 paragrafo 5.1.2.3, in particolare *“L’ampiezza e l’approfondimento dello studio e delle indagini che ne costituiscono la base devono essere commisurati all’importanza del problema e al livello di progettazione. Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno T_r pari a 200 anni ($T_r=200$).”*

¹ http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/servizi-LiDAR/LIDAR_TOSCANA.map&

² <https://www.regione.toscana.it/-/reticolo-idrografico-e-di-gestione>

³ http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/Vettoriali/Alluvioni_Classi_di_Rischio.map&

Sulla scorta di tale contesto normativo il presente elaborato propone la stima della portata con tempo di ritorno 200 anni nelle sezioni di monte del modello lungo il Torrente Rimaggio e il Fiume Cecina, nonché lungo gli affluenti minori in sinistra idrografica di quest'ultimo.

Inoltre, le NTC 2018 richiedono che *“la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture” sia “scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo”*.

In tale contesto normativo, nonostante il vaporedotto non appaia assimilabile ad un ponte per forma, geometria e funzione, sarà verificato per un franco idraulico pari a 1.5 m. Tuttavia, nella presente fase progettuale si può ritenere accettabile che, localmente e per tratti limitati non ortogonali al corso d'acqua, tale franco idraulico possa essere almeno pari ad 1 m.

Per quanto esposto in precedenza, il modello, oltre a considerare l'evento di piena di riferimento, prevede che gli affluenti di sinistra del fiume Cecina, (definiti dal reticolo regionale come Fosso Foreste, Fosso TC8782 e Fosso TC8842) durante tale evento generino una quantità di trasporto solido tale da ostruire gli attraversamenti stradali e che quindi sia permesso il libero deflusso delle acque verso il corso principale.

Differentemente, le tubazioni esistenti ad arco ribassato poste sotto il rilevato nei pressi della postazione “Radicondoli 24” sono state inserite nel modello bidimensionale in quanto con luce non trascurabile, maggiori informazioni circa la summenzionata opera sono riportate nel paragrafo 5.1 .

2 BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

[1] GRE.EEC.R.28.IT.G.08015.00.052 - CTr002_Rtecn – Relazione Tecnica di Progetto

3 ASPETTI VINCOLISTICI DI TIPO IDRAULICO

La postazione Radicondoli 36 il relativo vaporedotto ricadono nell'ambito amministrativo dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale, come si può vedere nella seguente Figura 1.

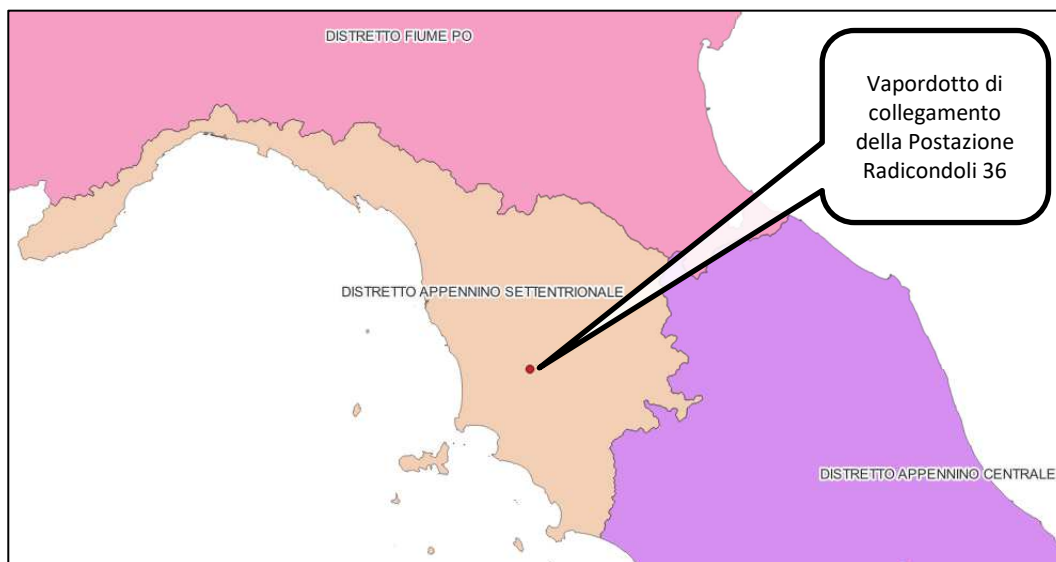


Figura 1: Autorità di bacino competente per le opere in oggetto.

La stessa autorità ha redatto il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA), che è previsto dalla Direttiva comunitaria 2007/60/CE (cd. 'Direttiva Alluvioni') e mira a costruire un quadro omogeneo a livello distrettuale per la valutazione e la gestione dei rischi da fenomeni alluvionali, al fine di ridurre le conseguenze negative nei confronti della salute umana, dell'ambiente, del patrimonio culturale e delle attività economiche.

La definizione degli scenari di probabilità nel Distretto Appennino Settentrionale, partendo dalle indicazioni fornite dal D.lgs. 49/2010, tiene conto innanzitutto dell'origine dell'alluvione (fluviale o marina). Per le alluvioni di origine fluviale i tempi di ritorno utilizzati nelle modellazioni variano tra 30 e 50 anni per P3, corrispondono a 200 anni per P2 e si riferiscono a 500 anni per P1. I range sopra riportati derivano dalla necessità di tener conto delle caratteristiche peculiari dei bacini idrografici e più nello specifico delle caratteristiche idromorfologiche e idrodinamiche associate alla formazione dei deflussi e alla propagazione in alveo e nella piana inondabile oggetto di modellazione.

Per quanto concerne la postazione di perforazione Radicondoli 36 e il relativo vaporedotto la pericolosità da alluvione, in ambito fluviale nel Distretto Appennino Settentrionale, ai sensi della Direttiva 2007/60 CE e del DLgs 49/2010, con definizione dei tre scenari di probabilità di inondazione prevede i seguenti tempi di ritorno:

- Probabilità elevata (P1): $TR \leq 30$ anni;
- Probabilità media (P2): $30 < TR \leq 200$ anni;
- Probabilità scarsa (P3): $TR > 200$ anni.

In relazione alle mappe di rappresentazione della pericolosità da alluvione in ambito fluviale, il vaporedotto è rappresentato nella seguente Figura 2 da cui si evince che il sito in esame, è interessato da

una situazione di pericolosità idraulica, dovuta al reticolo fluviale principale (Fiume Cecina) e ai suoi affluenti.

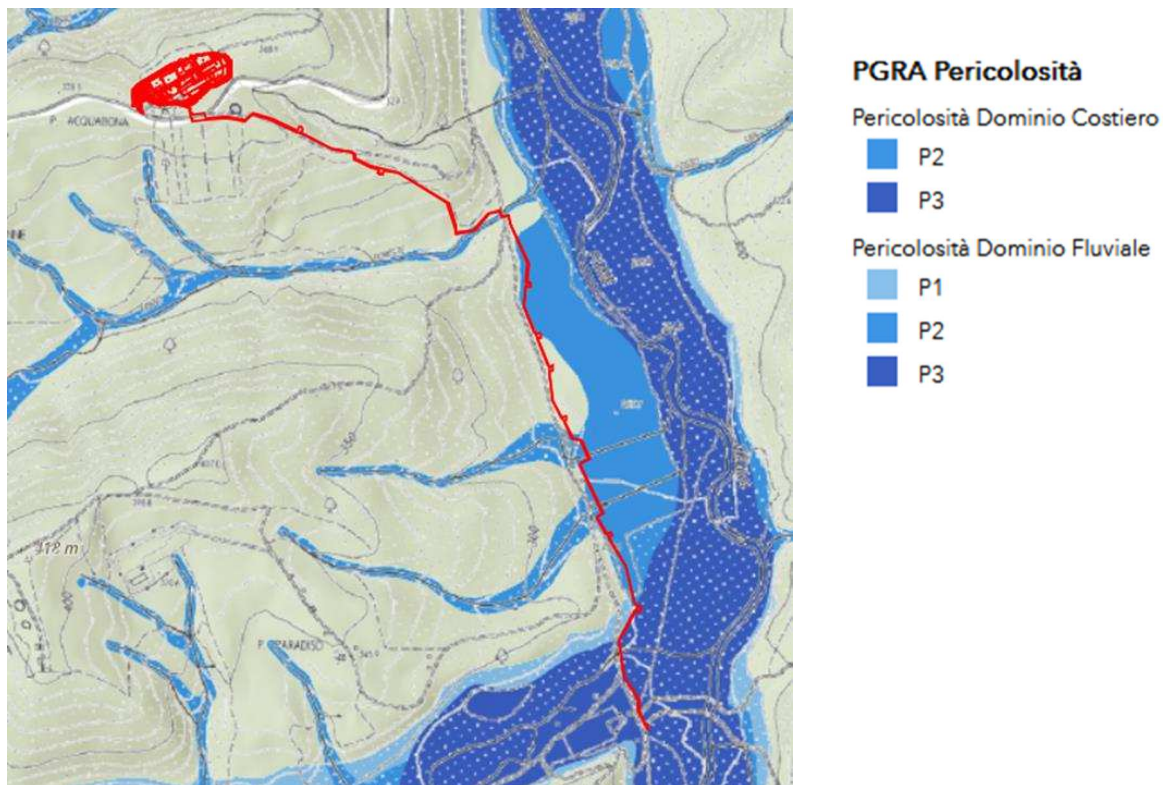


Figura 2: Pericolosità da alluvione nel Distretto Appennino Settentrionale (PGRA) - dominio fluviale. Riferimento: 15/12/2022 - DSG 142-143/22 - revisione - Autorità di Bacino del Fiume Arno (riferimento più recente). In rosso la postazione di perforazione in progetto Radicondoli 36

La seguente Figura 2 mostra la sviluppata del vapordotto sul rilievo del terreno eseguito nella presente fase progettuale.

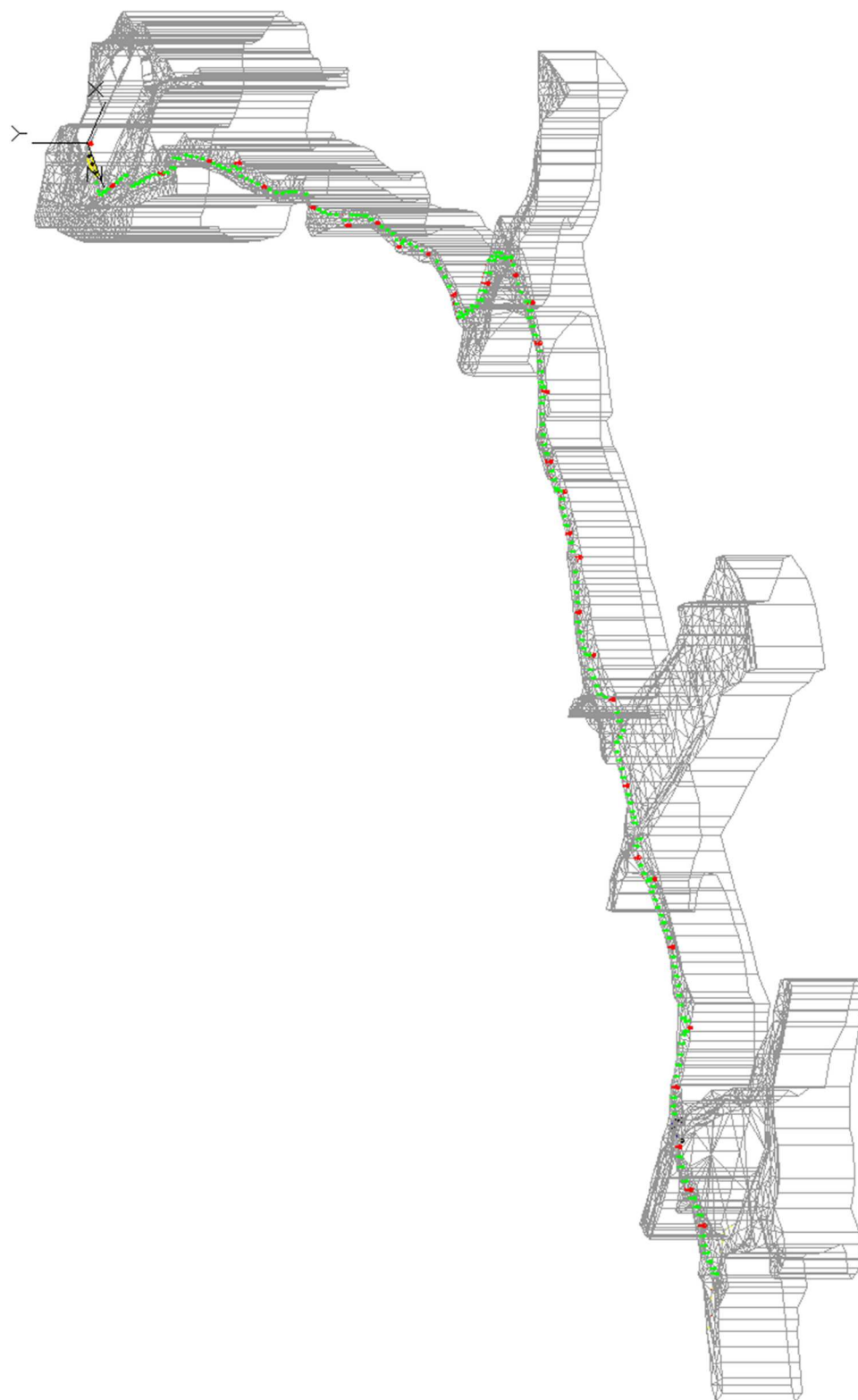


Figura 3: Percorsi del Vapordotto su DTM da rilievo

4 ANALISI IDROLOGICA

La stima della portata per un determinato tempo di ritorno è stata condotta usando le curve di possibilità pluviometrica sviluppate dalla Regione Toscana e disponibili all'indirizzo internet <http://www.sir.toscana.it/lsp-2012>.

Con riferimento alla Stazione Pluviometrica di competenza si è proceduto a scaricare lo shapefile con le posizioni delle summenzionate stazioni di misura e quindi ad attribuire ad ognuna di esse un'area d'influenza ottenuta per mezzo della creazione dei poligoni di Thiessen.

La seguente Figura 4 mostra i bacini idrografici (perimetrazioni verdi) che generano apporti nel tratto di Fiume Cecina da modellare. Come si può osservare esistono tre Stazioni Pluviometriche alle quali far riferimento (Anqua cod. TOS01002085, Gerfalco cod. TOS0112071 e Montalcinello TOS03002733) e le relative aree di influenza individuate con l'ausilio dei Poligoni di Thiessen

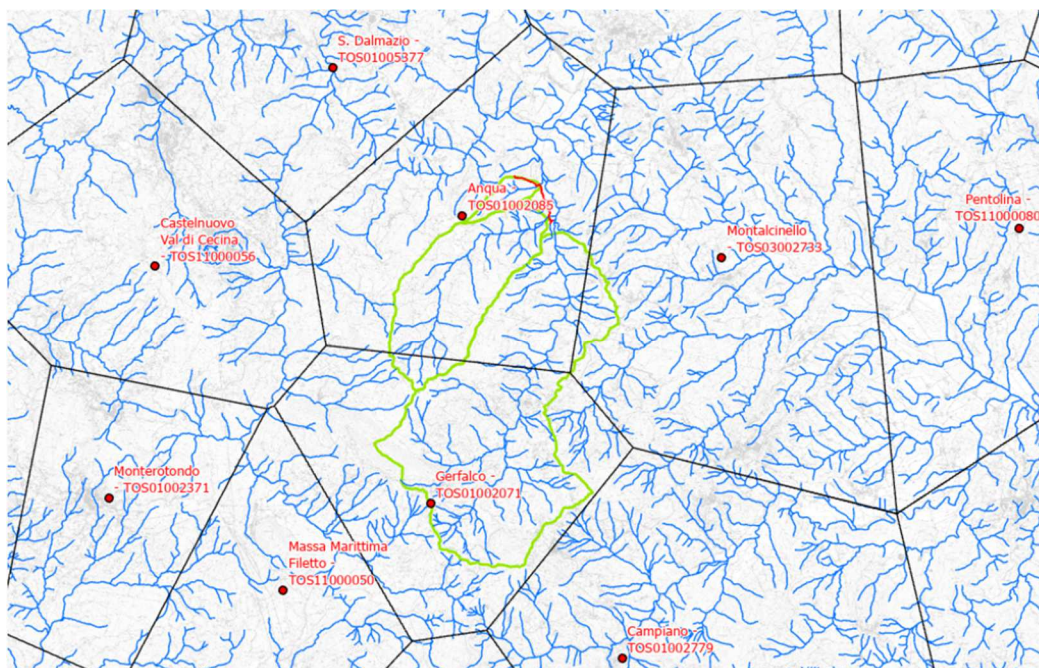


Figura 4: Stazione Pluviometrica di riferimento per le analisi idrologiche

I parametri della curva di possibilità pluviometrica, ottenuti dal sito della Regione Toscana, <http://www.sir.toscana.it/lsp-2012> per durate maggiori dell'ora sono presentati nella seguente Tabella 1.

Stazione	Codice	T=200 anni	
		> 1 ora	
		a	n
Gerfalco	TOS0112071	80.96	0.3596
Montalcinello	TOS03002733	73.97	0.3890
Anqua	TOS01002085	76.27	0.3446

Tabella 1: CPP dei bacini afferenti al tratto di studio

Tali curve si possono estrapolare per durate minori dell'ora attraverso la nota formula di BELL; si ottiene quindi la seguente tabella

Stazione	Codice	T=200 anni		<1 ora [min]								> 1 ora [ore]			
		> 1 ora		5	10	15	20	30	40	50	1	3	6	12	24
		a	n	h [mm]											
Gerfalco	TOS01002071	80.96	0.3596	24.89	37.26	45.56	51.97	61.84	69.47	75.77	80.96	120.18	154.20	197.84	253.84
Montalcinello	TOS03002733	73.97	0.3890	22.74	34.05	41.62	47.49	56.50	63.47	69.23	73.97	113.41	148.50	194.46	254.64
Anqua	TOS01002085	76.27	0.3446	23.45	35.10	42.92	48.96	58.25	65.44	71.38	76.27	111.37	141.41	179.55	227.99

Tabella 2: curve di possibilità pluviometrica per T200 anni estese per durate inferiori all'ora.

Nello specifico vi sono 5 bacini idrografici che contribuiscono alla generazione delle piene incidenti il vapordotto.

Tre di questi corsi d'acqua sono immissari del Fiume Cecina in sponda sinistra ovvero il Fosso Foreste, il Torrente Rimaggio e un Fosso cartografato con codice TC8782.

Un'ulteriori contributo è fornito da Fosso TC8842 ma le limitate dimensioni del bacino e la scarsa definizione topografica dello stesso ne rendono difficile la stima dei parametri morfometrici.

Per tal motivo, nel seguito la portata di tale affluente sarà stimata attraverso il coefficiente udometrico del bacino del Fosso TC8782, aumentato discrezionalmente del 10%, in quanto quest'ultimo è idrologicamente simile ma di maggiore estensione areale.

La seguente immagine presenta i 4 bacini per i quali è stata condotta l'analisi morfometrica a partire da un DTM, ricavato dalla Carta Tecnica Regionale della Toscana in formato vettoriale alla scala 1: 10.000⁴,



Figura 5: Bacini idrografici utilizzati per la stima delle portate con T 200 anni.

⁴ Geoportale Regione Toscana – DG Governo del Territorio – Sistema Informativo Territoriale e Ambientale, Sistema di Riferimento Gauss Boaga Fuso Ovest.

Come si può osservare nella precedente Figura 4 i bacini idrografici afferiscono a differenti poligoni di Thiessen e per tal motivo si è deciso di eseguire la media pesata sull'area delle altezze di pioggia per una certa durata.

La seguente tabella presenta per ogni bacino la quota parte da attribuire a diverse stazioni pluviometriche.

Bacino	Area [km ²]			
	Montalcinello	Gerfalco	Anqua	Tot
Fiume Cecina	1.89	21.59	8.60	32.08
Torr. Rimaggio		1.06	11.00	12.06
Fosso Foreste			1.10	1.10
Fosso TC8782			0.12	0.12

Tabella 3: area di bacino afferenti ad uno specifico bacino.

Sulla scorta di tale approccio è possibile ottenere la seguente tabella che riporta i parametri delle CPP da usare nella stima delle portate dei bacini, desunte dall'interpolazione delle altezze di pioggia pesate sull'area.

Bacino	CPP - Media	
	a	n
Fiume Cecina	75.39	0.3922
Torr. Rimaggio	72.34	0.3853
Fosso Foreste	76.27	0.34456
Fosso TC8782	76.27	0.34456

Tabella 4: parametri a ed n delle CPP dei singoli bacini.

Con i dati morfometrici dei singoli bacini è stato calcolato il tempo di corrivazione mediante la classica formulazione di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_c}}$$

dove:

- tc = tempo di corrivazione del bacino [ore];
- A = area della superficie del bacino imbrifero [km²] = 0.2787 Km²
- L = lunghezza del percorso idraulico maggiore [km] = 0.985 Km
- Hm = quota media del bacino idrografico [m s.l.m.] = 475 m s.l.m.
- Hc = quota della sezione di chiusura [m s.l.m.] = 398 m s.l.m

Poiché teoricamente la formula Giandotti non risulta applicabile per bacini idrografici con limitata estensione areale, Aronica e Paltrinieri ne hanno proposto una nuova formulazione al fine di consentirne l'applicazione anche nel caso bacini con area minore di 10 km².

La formula modificata è la seguente:

$$t_c = \frac{1}{\frac{M * d}{0.8 \sqrt{H_m - H_c}}} \sqrt{A} + 1.5L$$

in cui i parametri M e d possono assumere i valori della seguente tabella:

Tipo di copertura	M
Terreno nudo	0,667
Terreni coperti con erbe rade	0,250
Terreni coperti da bosco	0,200
Terreni coperti da prato permanente	0,167
Permeabilità	d
Terreni semi-impermeabili	1,270
Terreni poco permeabili	0,960
Terreni mediamente permeabili	0,810
Terreni molto permeabili	0,690

Tabella 5: Parametri della formula di Aronica-Paltrinelli

Nel caso specifico si reputa ragionevole scegliere come copertura dei bacini a bosco, e a favor di sicurezza, terreni semi-impermeabili.

Tali ipotesi riportano la formula di Aronica-Paltrinieri alla canonica formulazione di Giandotti.

Considerando un coefficiente di permeabilità del terreno costante durante l'evento e pari al 70 % del deflusso lordo si ottengono, per tempo di ritorno 200 anni, le portate di calcolo presentate nella seguente tabella:

Bacino	ϕ	A [ha]	Q_c [l/s]	Q_c [m3/s]	U_{200} [m3/s/Km2]
Fiume Cecina	0.7	3207.54	243323	243.3	7.6
Torr. Rimaggio	0.7	1205.86	117874	117.9	9.8
Fosso Foreste	0.7	109.71	15030	15.0	13.7
Fosso TC8782	0.7	11.9	3330	3.3	28.0
Fosso TC8842		9.23		2.8	28.0

Tabella 6: Portata attesa alla chiusura dei bacini per T 200 anni.

La scelta del coefficiente di deflusso appare non solo ragionevole per la permeabilità del sito ma anche, e soprattutto, in considerazione della rarità dell'evento di progetto.

5 MODELLAZIONE IDRAULICA DEL FIUME CECINA E DEGLI AFFLUNETI IN SINISTRA IDROGRAFICA

5.1 Costruzione DTM e geometria del modello

La modellazione idraulica è stata condotta utilizzando il software HecRas 6.3.1 impiegando come DTM il Lidar delle Regione Toscana a cella 1 m limitando il dominio di calcolo alle sole aree d'interesse.

Quest'ultimo prevede delle aperture in sinistra idrografica con l'obiettivo di permettere l'immissione delle portate di alcuni affluenti d'interesse (in ordine da nord il Fosso Foreste, il Fosso TC87825, il Fosso TC8842 e il Torrente Rimaggio) e verso sud per gli apporti del Fiume Cecina.

La somma sincrona⁵ di tutti questi apporti, pari a circa 382.5 m³/s, fuoriesce dal dominio di calcolo per mezzo di un'ulteriore apertura posta a valle dell'area di studio.

La seguente Figura 6 mostra il modello LIDAR del terreno, il dominio di calcolo, le breaklines introdotte al fine di meglio modellare la geometria del reticolo di calcolo (mesh) nonché le aperture per l'immissione e la fuoriuscita delle portate di verifica. Nella seguente figura la linea rossa rappresenta la sviluppata planimetrica del vaporedotto.



Figura 6: Lidar, dominio ed elementi costitutivi il modello.

⁵ I picchi degli idrogrammi in ingresso, stimati con la formula razionale, sono considerati contemporanei a favor di sicurezza.

Inoltre, al fine di meglio modellare il dominio di calcolo del modello sono state inserite le morfologie dell'alveo con una maggior risoluzione sia infittendo localmente la mesh sia introducendo, dove necessario, le summenzionate breaklines.

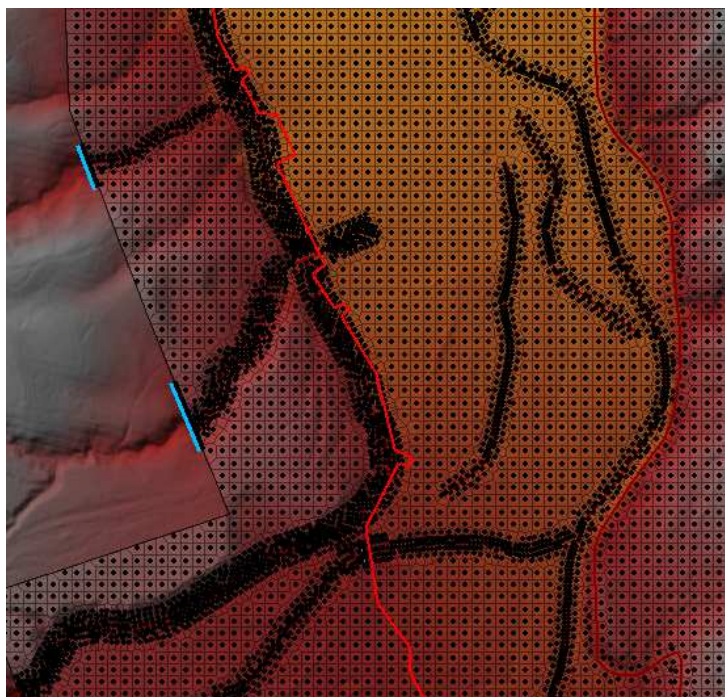


Figura 7: Dominio di calcolo.

In generale il modello risulta quindi composta da 17688 celle con dimensione variabile tra 0.3 e 344 m².

La seguente fotografia mostra l'attraversamento sul Torrente Rimaggio nei pressi di accesso alla postazione Radicondoli 24.



Figura 8: interferenza sul Torrente Rimaggio tra il corso d'acqua e la strada.

Tale interferenza è stata modellata in HecRas inserendo nel dominio di calcolo la foronomia dell'attraversamento, si vedano le seguenti figure.

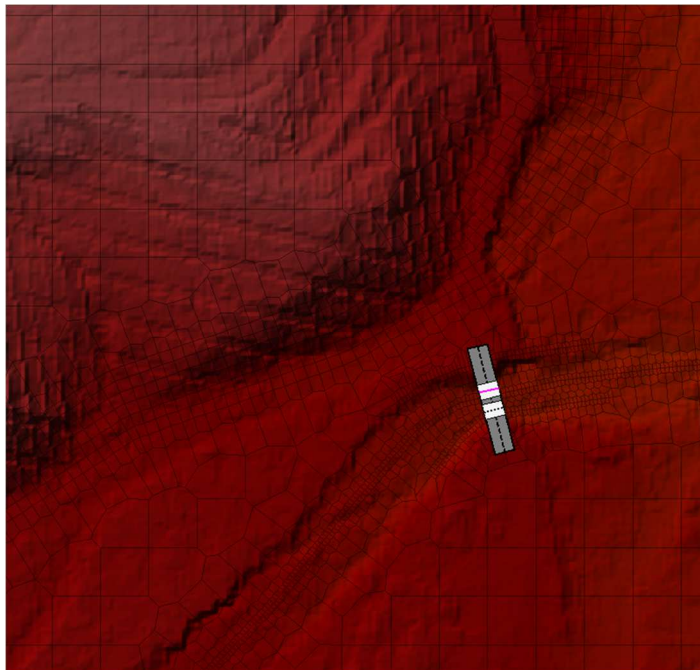


Figura 9: modellazione dell'interferenza sul Torrente Rimaggio, dominio di calcolo.

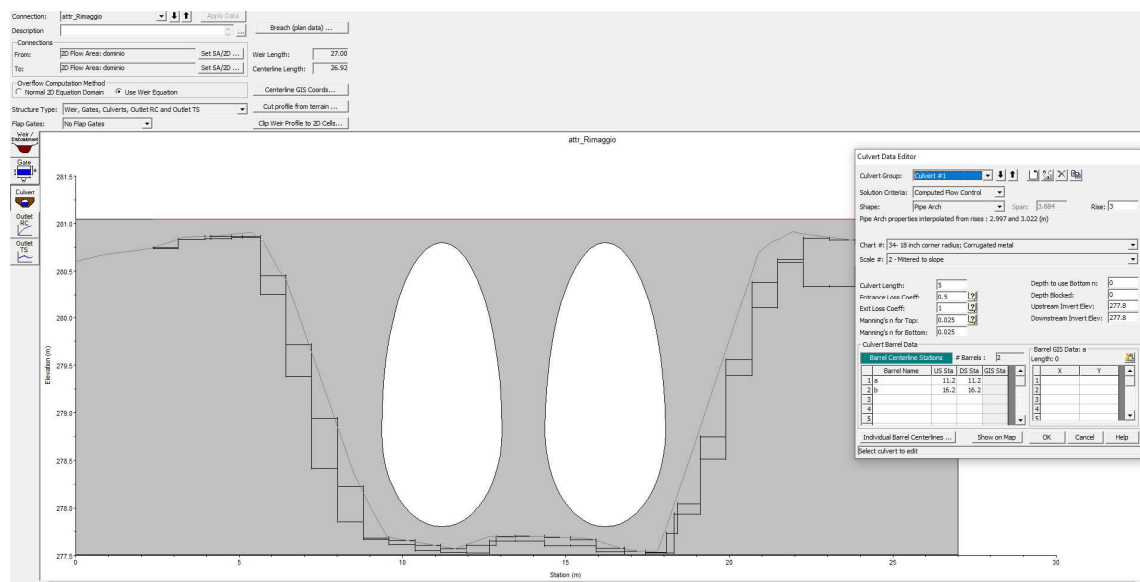


Figura 10: modellazione dell'interferenza sul Torrente Rimaggio, modellazione della foronomia.

Con riferimento ai corsi d'acqua immissari in sinistra del Fiume Cecina la dimensione degli attraversamenti non risulta essere significativa, per tal motivo nel presente studio si è optato per considerarli ostruiti in caso di piene.

La seguente immagine mostra il Fosso Foreste a seguito di un ordinario evento meteorico; si può osservare che la rilevante quantità di materiale galleggiante, trasportato durante la piena, rende la precedente scelta ragionevole e a favore di sicurezza.



Figura 11: attraversamento stradale sul Fosso Foreste a seguito di un rilevante ma non estremo evento meteorico.

Analoghe considerazioni sono valide per i corsi d'acqua TC8782 e TC8842 dei quali nel seguito si presentano delle fotografie.



Figura 12: attraversamento stradale su corsi d'acqua TC8782 e TC8842.

Le seguenti immagini mostrano le aree golenali del Fiume Cecina durante il soprallogo eseguito il 2 febbraio 2023.



Figura 13: area golenale e alveo non attivo del Fiume Cecina.



Figura 14: area golenale e alveo non attivo del Fiume Cecina.

5.2 Scabrezze e Condizioni al Contorno

Non essendo disponibili livelli idrometrici misurati in alveo durante gli eventi di piena, non è stato possibile sviluppare una taratura del modello per via empirica.

Tuttavia, analizzando lo stato dei luoghi, le foto dei sopralluoghi e le ortofoto disponibili la scabrezza delle superfici è stata ipotizzata variabile nello spazio come mostrato nella seguente Figura 15.

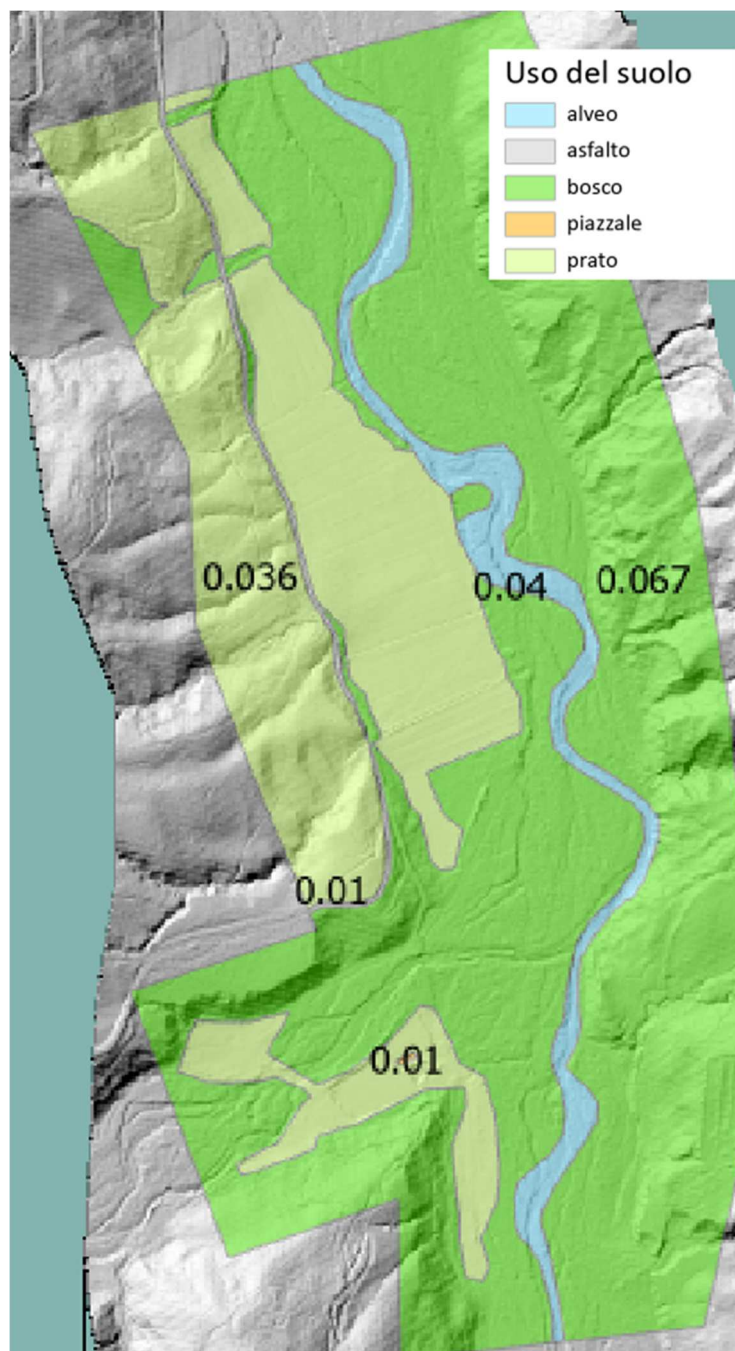


Figura 15: Scabrezza delle superfici.

La seguente Tabella 7 presenta i valori specifici delle scabrezze desunti da letteratura; si ritiene che gli stessi siano ben rispondenti allo stato dei luoghi e alla finalità del modello.

Superficie	Scabrezza	
	Manning [$s/m^{1/3}$]	Strikler [$m^{1/3}/s$]
Postazione	0.010	100.0
Strada	0.010	100.0
Alveo	0.040	25.0
Prato	0.036	27.8
Bosco	0.067	14.9

Tabella 7: scabrezza in base alle superfici desunte dall'ortofoto dell'area

Come condizioni al contorno sono stati imposti idrogrammi costanti in ingresso lungo i principali corsi d'acqua in sinistra idrografica e nella sezione di monte del modello dovuti agli apporti del Fiume Cecina.

Si è quindi lasciato al software l'onere computazionale di eseguire la somma degli idrogrammi nel tempo; la simulazione è stata interrotta solo nel momento in cui vi era la ragionevole certezza che nella sezione di valle il modello fosse stabile ovvero che le portate in ingresso nel dominio fossero paragonabili alla somma di quelle in uscita dallo stesso.

Dal punto di vista numerico il calcolo è stato eseguito con i parametri presentati nelle seguenti tabelle.

	Parameter	(Default)	dominio
1	Theta (0.5-1.0)	1	1
2	Theta Warmup (0.5-1.0)	1	1
3	Water Surface Tolerance [max=0.06](m)	0.003	0.003
4	Volume Tolerance (m)	0.05	0.05
5	Maximum Iterations	20	20
6	Equation Set	SWE-ELM (original/faster)	SWE-ELM (original/faster)
7	Initial Conditions Time (hrs)		
8	Initial Conditions Ramp Up Fraction (0-1)	0.1	0.1
9	Number of Time Slices (Integer Value)	1	1
10	Turbulence Model	None	None
11	Longitudinal Mixing Coefficient	0.3	0.3
12	Transverse Mixing Coefficient	0.1	0.1
13	Smagorinsky Coefficient	0.05	0.05
14	Boundary Condition Volume Check	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	Latitude for Coriolis (-90 to 90)		
16	Solver Cores	All Available	All Available
17	Matrix Solver	PARDISO (Direct)	PARDISO (Direct)
18	Convergence Tolerance	0.00001	0.00001
19	Minimum Iterations	3	3
20	Maximum Iterations	30	30
21	Restart Iteration	10	10
22	Relaxation Factor	1.3	1.3
23	SOR Preconditioner Iterations	10	10

Tabella 8: parametri modellistici scelti

☒ Adjust Time Step Based on Courant

Maximum Courant:	0.8
Minimum Courant:	0.1
Number of steps below Minimum before doubling:	0
Maximum number of doubling base time step:	0 5.00 sec
Maximum number of halving base time step:	0 5.00 sec

Courant Methodology

☒ Velocity/Length (face velocity * dt / cell to cell distance)

☐ Residence Time (cell outflow * dt / cell volume)

Tabella 9: intervallo dei numeri di Courant scelti per rendere numericamente stabile il modello.

Per maggiori informazioni circa le equazioni alle differenze finite applicate nel modello e le altre scelte numeriche si rimanda alla specifica manualistica del software.

5.3 Aree di esondazione per eventi con tempo di ritorno 200 anni.

Le seguenti immagini mostrano i risultati della modellazione condotta per portate con tempo di ritorno 200 anni.

5.4 Confronto tra fasce P.G.R.A. e risultati modellistici

La seguente immagine mostra il confronto tra la fascia PGRA per T200 anni (fascia azzurra) e i risultati del modello⁶ ovvero l'inviluppo delle aree di esondazione predette dalla simulazione.

Come si può osservare le due modellazioni restituiscono aree di esondazione che risultano essere sovrapponibili.

In particolare, la modellazione 2D offre una miglior definizione dei tiranti idrici e delle velocità del campo di moto che altrimenti non sarebbero desumibili dalla sola perimetrazione del PGRA.

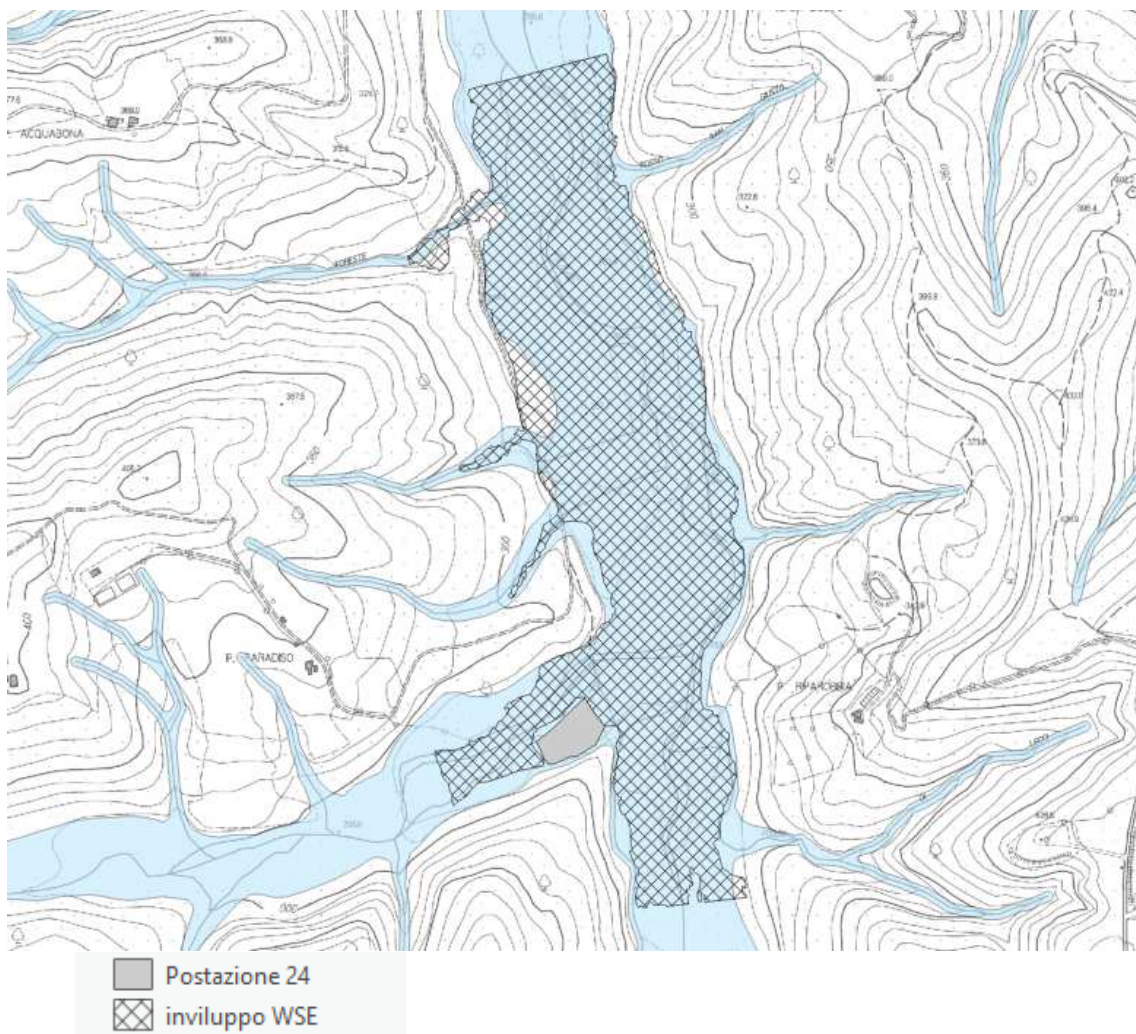


Figura 16: Scabrezza delle superfici.

⁶ Il modello HecRas non considera la postazione "Radicondoli 24" in quanto oggetto di altro studio EGP già autorizzato.

Si può quindi concludere che:

- ***con riferimento alla verifica della compatibilità idraulica del vapordotto le aree di esondazione del P.G.R.A. e del modello sviluppato sono analoghe e sovrapponibili seppur esistano limitate differenze locali***

5.5 Analisi dei Livelli Idrici

La seguente immagine mostra l'involuppo dei tiranti idrici durante la simulazione.

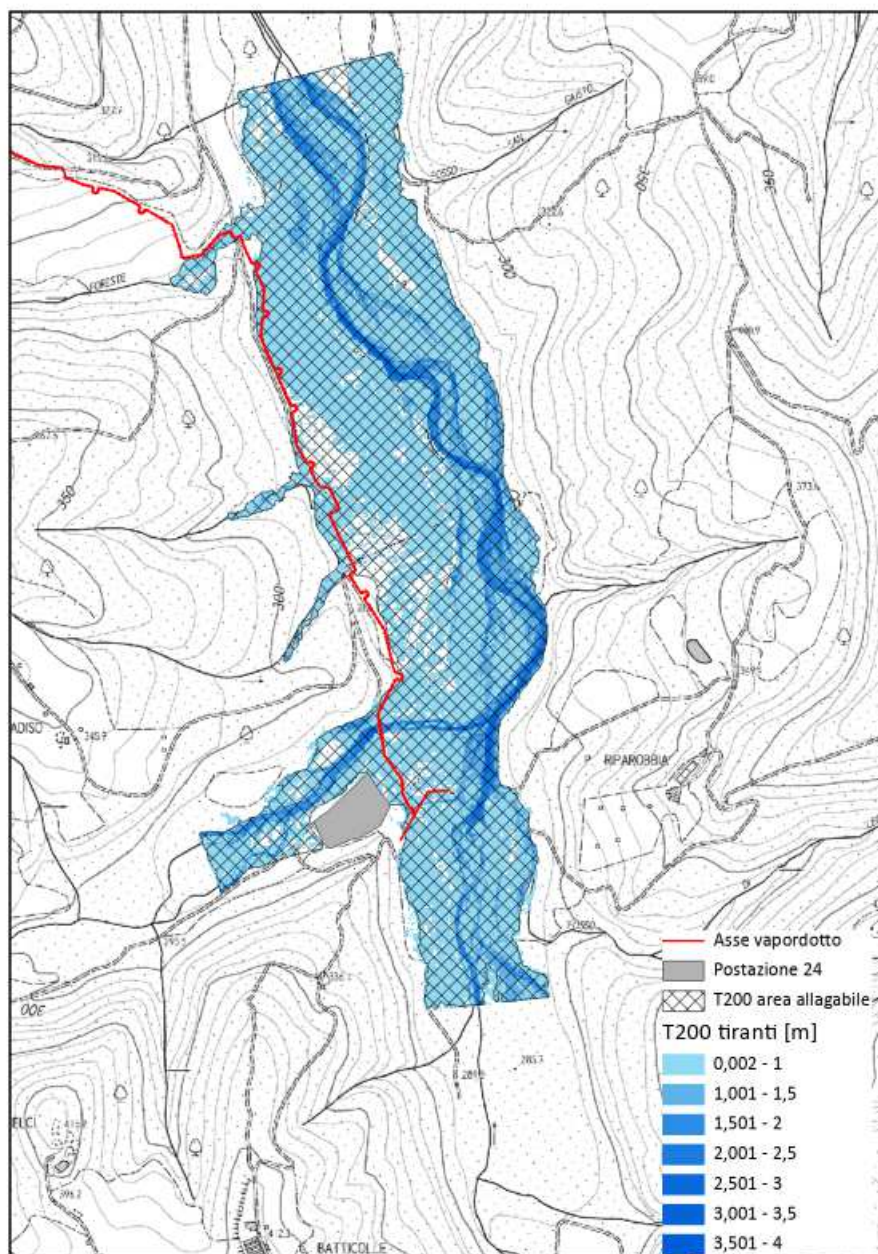


Figura 17: Confronto tra le aree di esondazione modellate e quelle del PRGA.

Tali valori variano da alcuni metri nel talweg del Cecina e del Rimaggio ad alcune decine di centimetri nelle zone più esterne delle golene. A tal riguardo si intende porre attenzione al fatto che, ad esclusione del Torrente Rimaggio, i tre immissari in sinistra confluiscono nel Cecina per mezzo di attraversamenti realizzati con elementi tubolari in acciaio che sono stati ipotizzati intasati durante la simulazione.

Con riferimento al Torrente Rimaggio e all'attraversamento presente sullo stesso, le analisi condotte mostrano che il campo di moto non supera la quota d'imposta del piano viabile ma che tuttavia il flusso aggira in sinistra idrografica il manufatto con velocità dell'ordine di circa 2 m/s.

Tale comportamento è spiegato nelle seguenti immagini; in particolare la seguente Figura 19 mostra la scala delle portate in moto vario e mostra che solo una parte della portata complessiva attraversa le luci del ponte stesso.

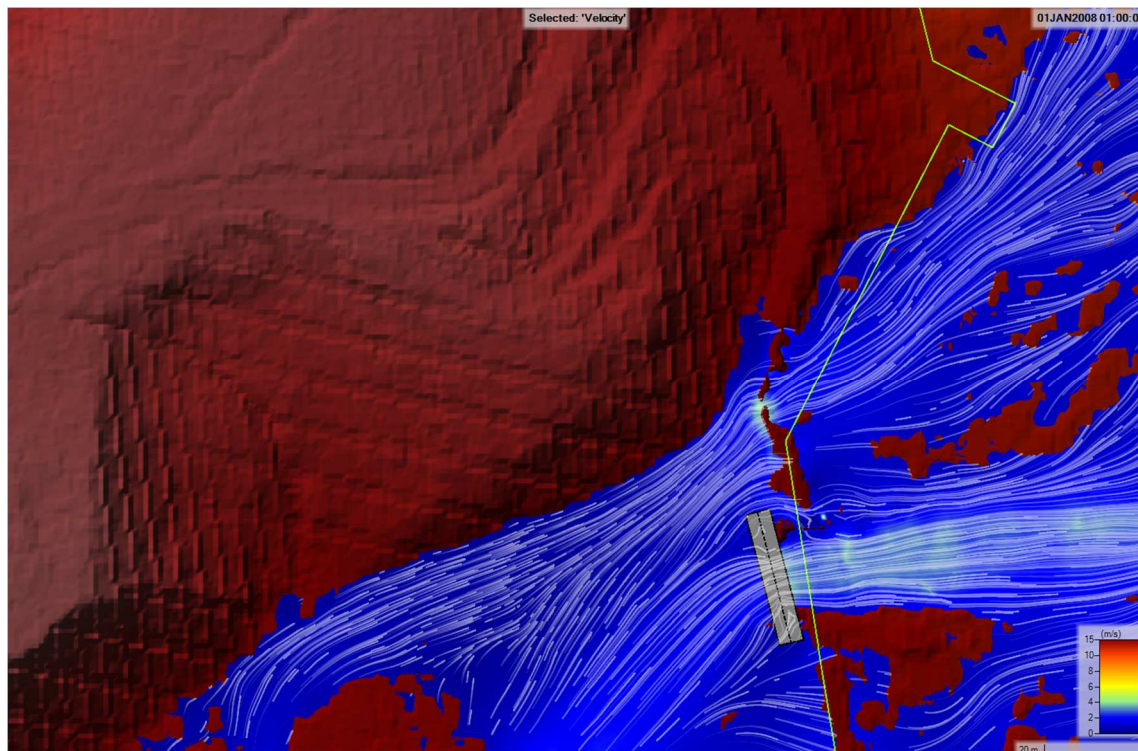


Figura 18: campo di moto nei pressi dell'attraversamento sul Torrente Rimaggio.

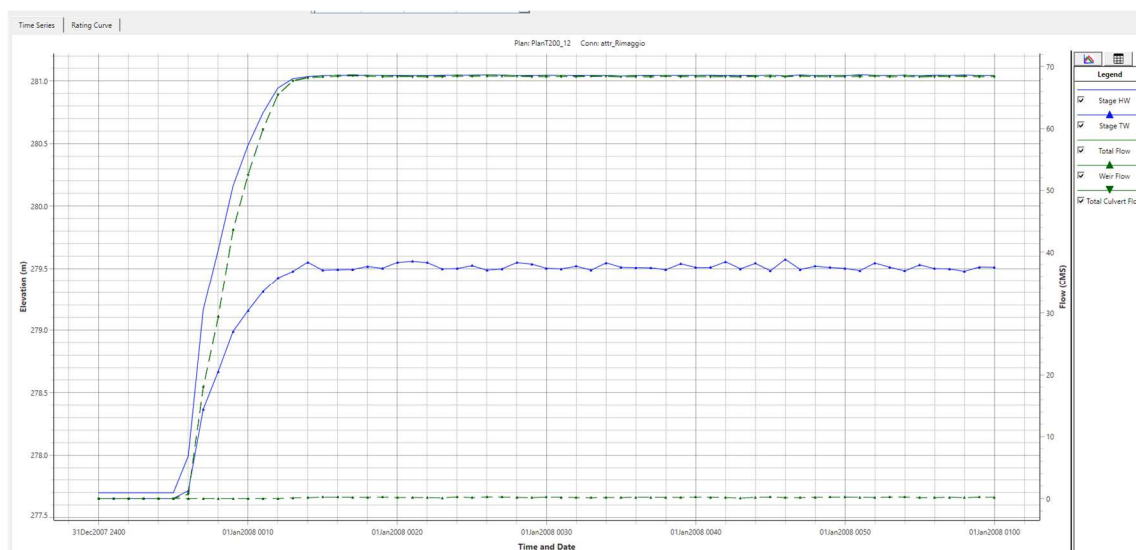
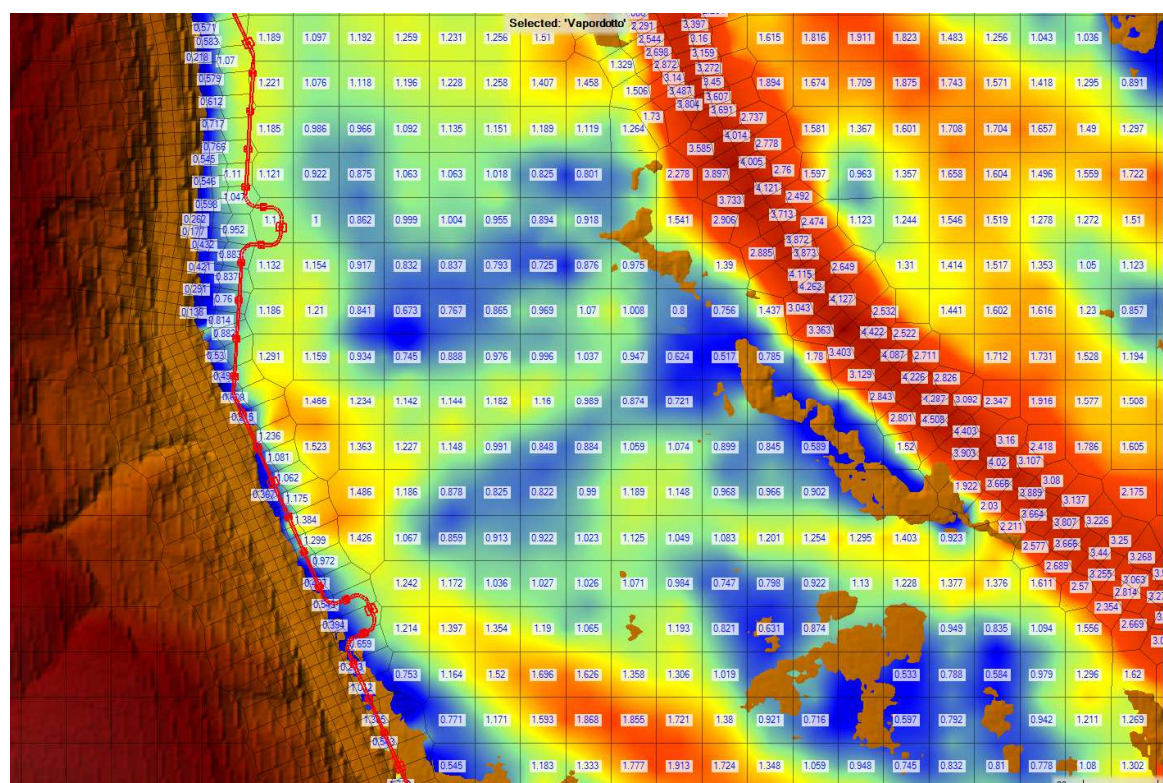
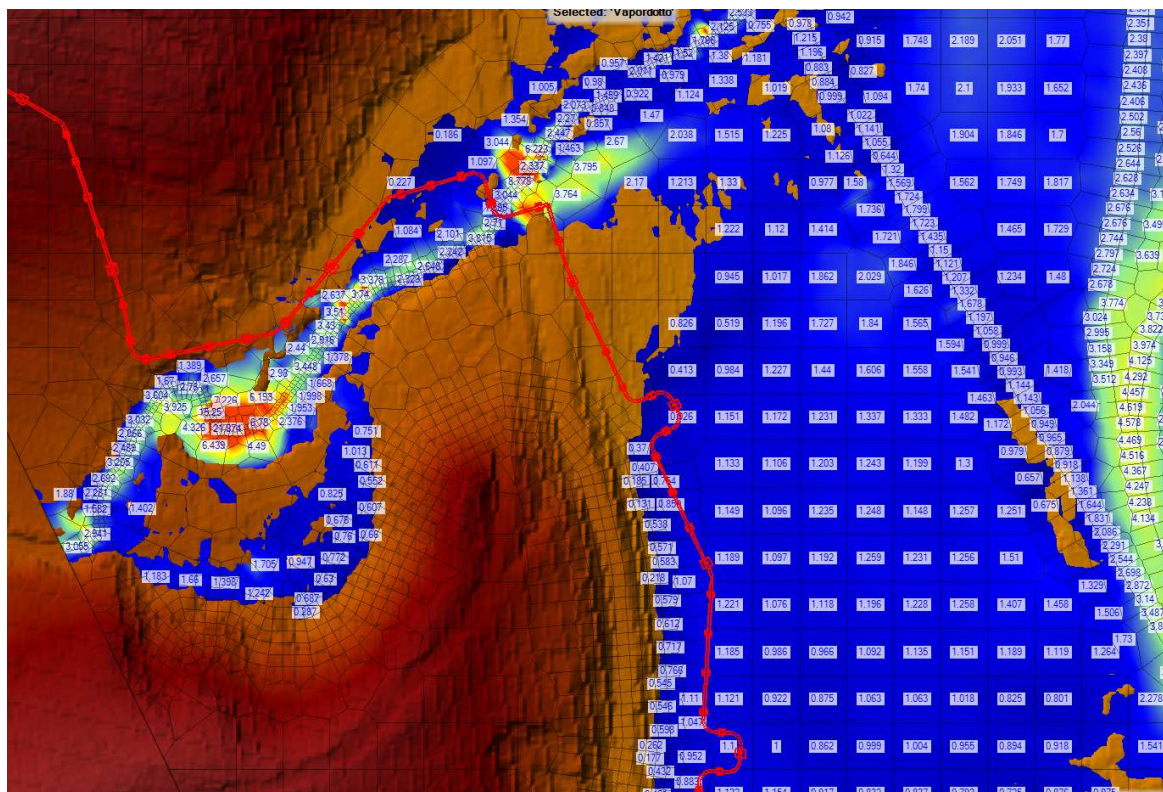
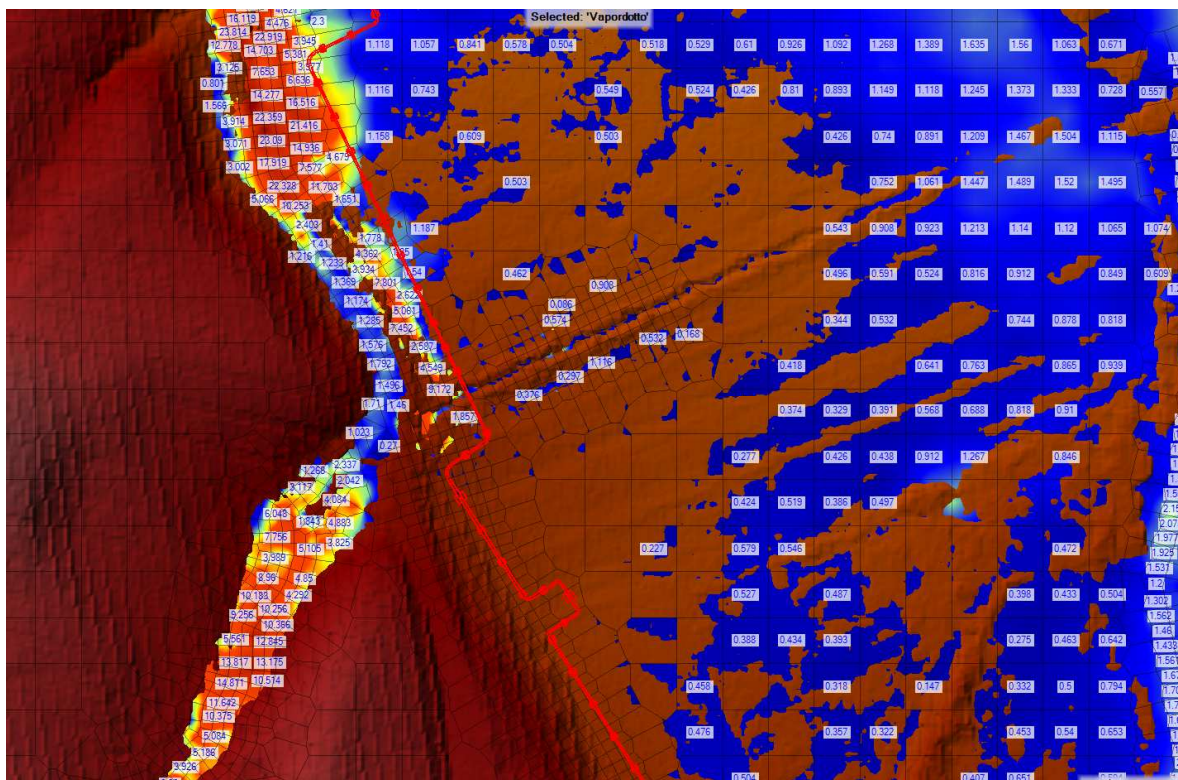
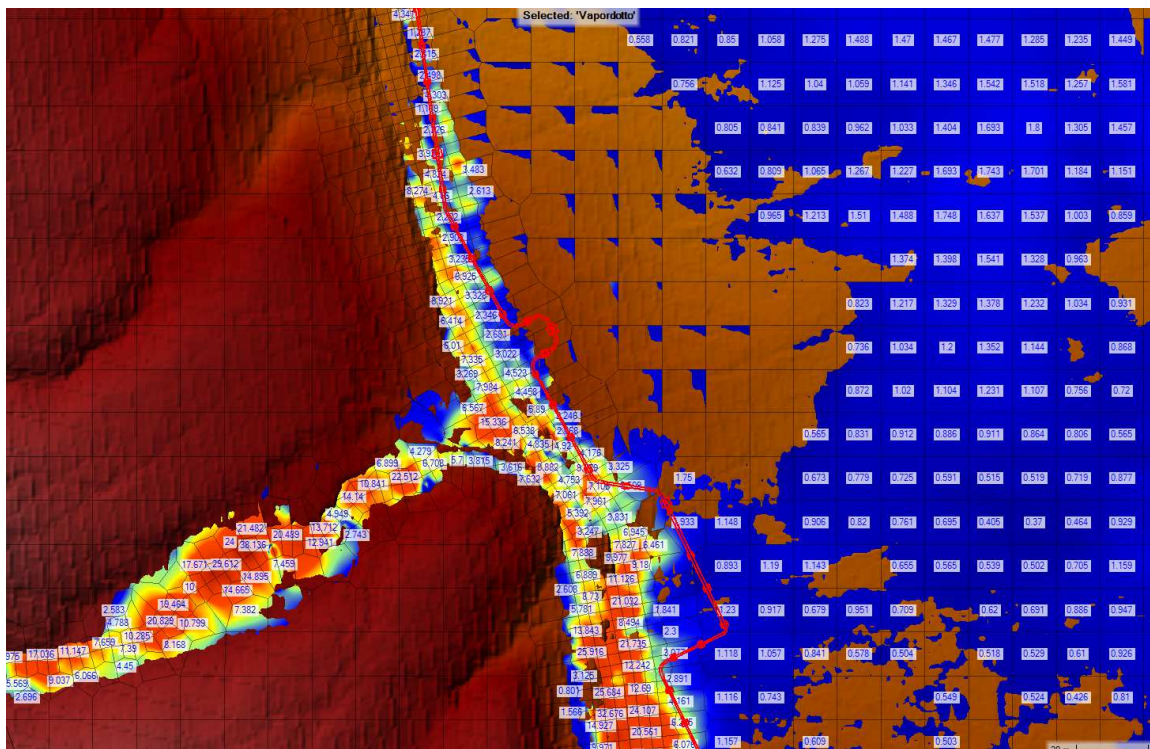


Figura 19: scala delle portate in moto vario dell'attraversamento sul Torrente Rimaggio.

5.6 Analisi delle Velocità

Le seguenti figure presentano il campo di moto del modello (da Nord verso Sud); nelle celle del dominio di calcolo sono riportate le velocità in m/s.





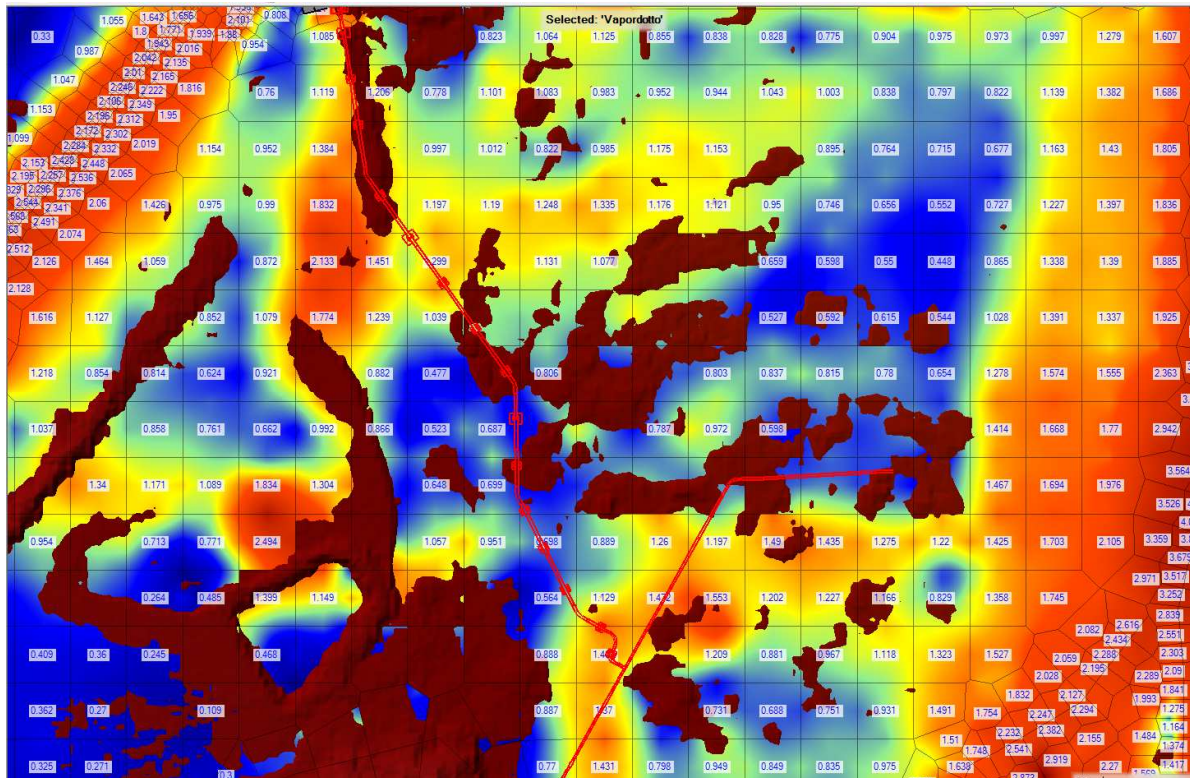
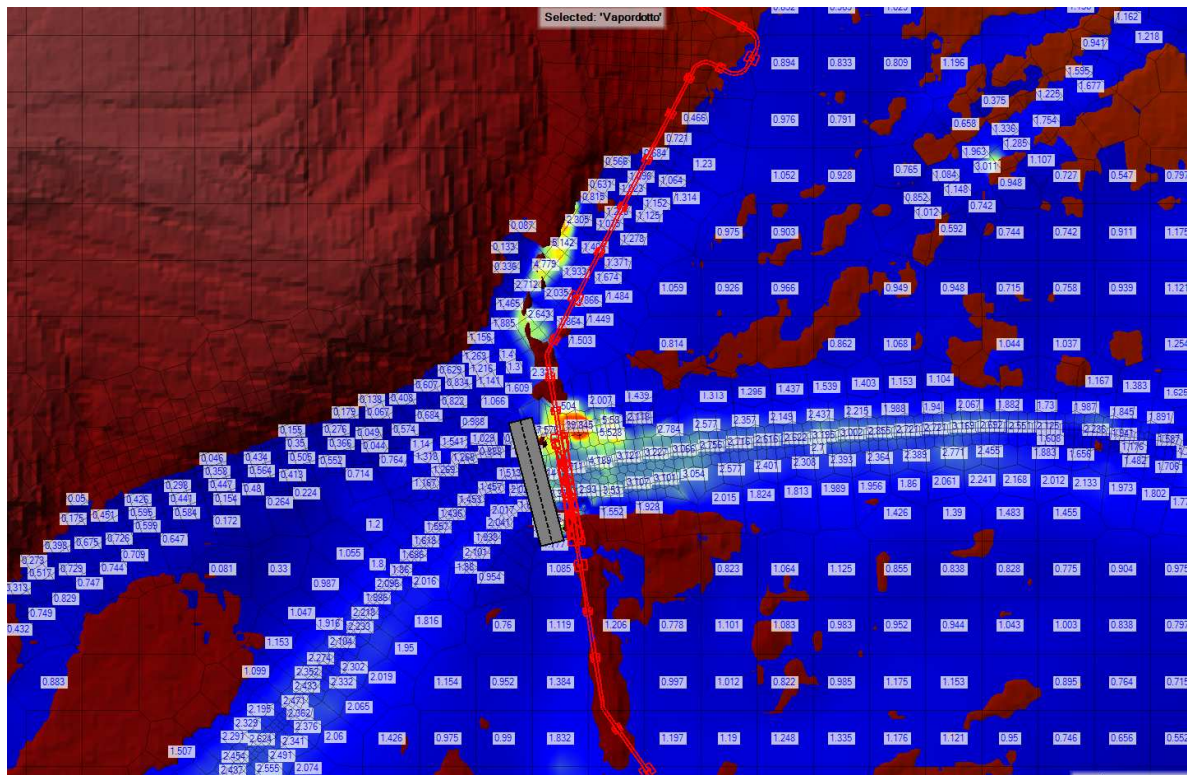


Figura 20: Velocità della corrente per eventi con tempo di ritorno 200 anni nelle differenti porzioni del modello.

Dall'analisi del campo di moto della corrente si può concludere che:

- ***le velocità risultano essere variabili in base alla area considerata⁷.***
- ***La presenza di velocità a tratti elevate è empiricamente riscontrabile anche dalla quantità e dalla qualità del trasporto solido presente in alveo e negli attraversamenti stradali***
- ***il campo di moto appare realisticamente più limitato nei pressi dei supporti del vaporedotto in cui assume valori variabili tra 0.2 e 10 m/s. Tali valori sono molto variabili e localmente dipendono da molto fattori ma un valore medio ragionevole di velocità appare essere dell'ordine dei 2 m/s.***
- ***nella successiva fase progettuale saranno valutati eventuali particolari costruttivi a protezione degli appoggi situati in aree soggetta ad elevata velocità di deflusso con l'obiettivo di limitare l'erosione potenziale dei plinti di fondazione dei supporti.***

⁷ Valori di campo di moto eccessivamente elevati (es. superiori a 15-20 m/s sono da intendersi come imprecisioni numeriche locali.)

5.7 Verifica del franco idraulico

La seguente immagine mostra la verifica del franco disponibile tra l'intradosso del vapordotto e il livello dell'acqua calcolato con il modello bidimensionale.

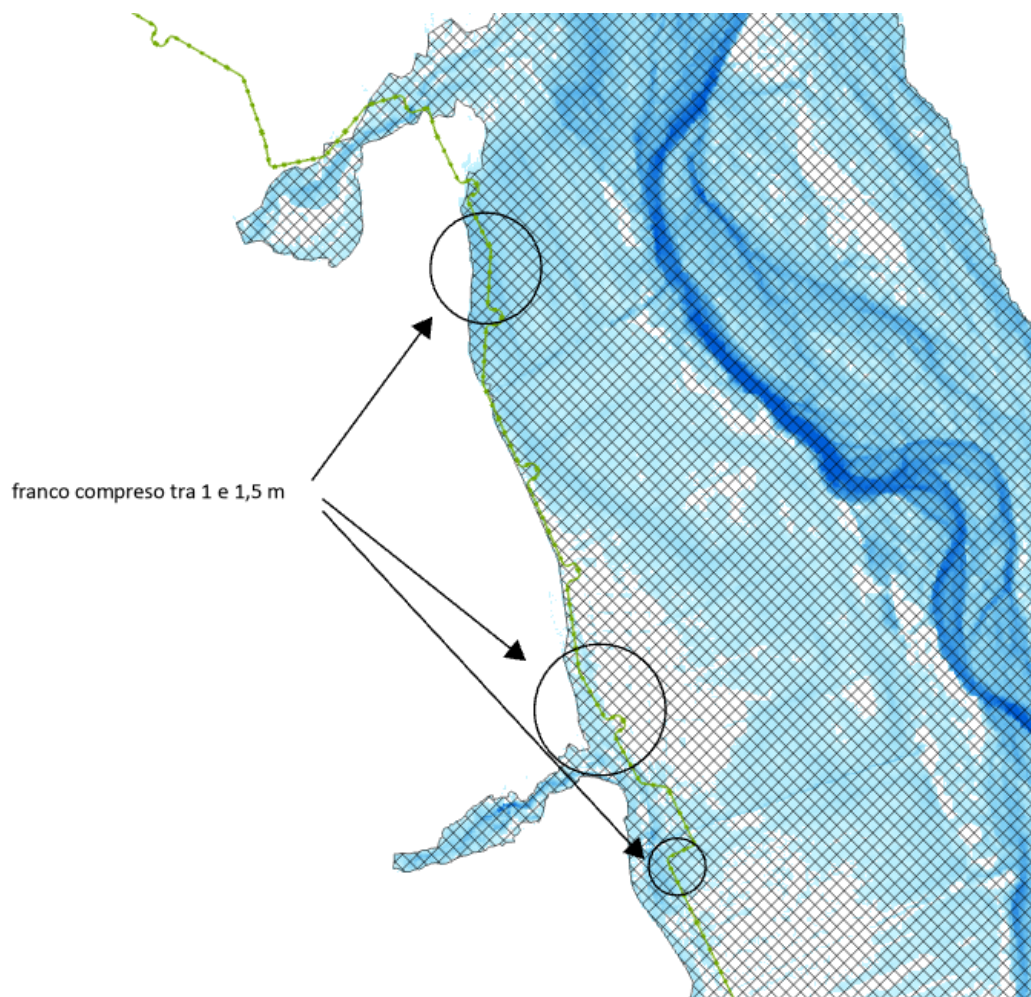


Figura 21: franco idraulico tra pelo libero e intradosso vapordotto.

La verifica del franco idraulico è stata condotta calcolando la distanza tra la quota dell'asse del vapordotto, diminuita di 1 m al fine di considerare la presenza del bifasedotto e della raccolta della condensa, e il pelo libero dell'acqua calcolato con modello.

Tale operazione è stata implementata, con procedura automatica, in Arcgis Pro come differenza tra il file grid, a cella 1 m, della superficie dell'acqua e il grid, anch'esso a cella 1 m, dell'intradosso dell'opera.

I risultati così ottenuti sono stati validati manualmente al fine di verificare l'attendibilità di quanto ottenuto.

In generale la procedura ha mostrato in alcuni trascurabili tratti dell'opera (la cui somma totale è di circa una decina di metri) che il franco idraulico è compreso tra 0 e 1 m. Per tal motivo tali tratti sono inquadrabili come imprecisioni numeriche legati alla ricostruzione dei Grid. Pertanto, si può ragionevolmente concludere che le condizioni di sicurezza del vapordotto siano verificate ovunque.

La seguente immagine mostra il tipologico della struttura di supporto del vapordotto.

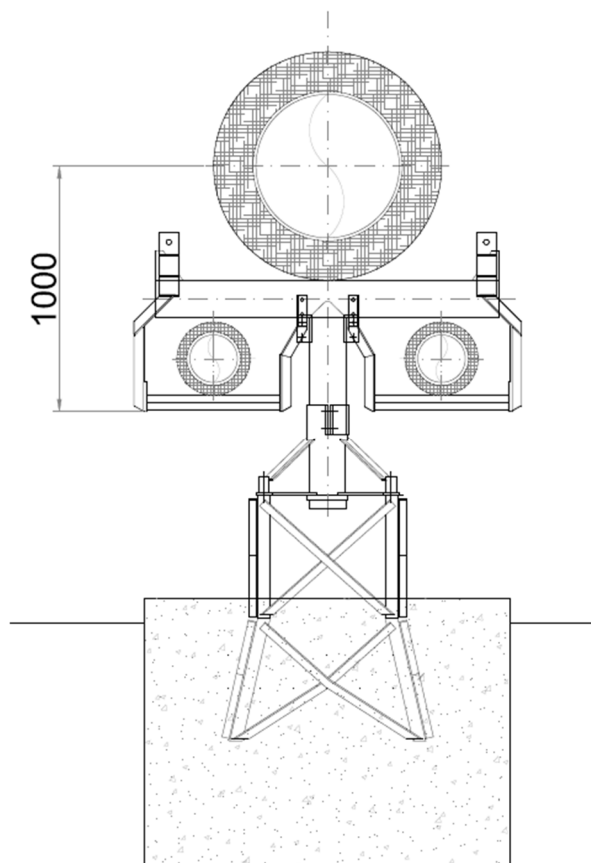


Figura 22: struttura di supporto del vapordotto con aggiunta del bifasedotto e della raccolta della condensa. La quota identifica l'intradosso della struttura rispetto all'asse della condotta, variabile da appoggio ad appoggio.

Dall'analisi della distanza tra intradosso del vapordotto e livelli idrici si può concludere che, per eventi di progetto con tempo di ritorno 200 anni:

- **il franco idraulico è superiore a 1.5 m lungo quasi tutto lo sviluppo dell'opera.**
- **localmente o per limitati tratti dell'opera il franco idraulico risulta compreso tra 1 m e 1.5 m**

5.8 Obblighi Ittiogenici

Con riferimento agli obblighi ittiogenici relativi agli attraversamenti su corsi d'acqua pubblici delle linee fluidi previsti nell'intervento e considerando la natura effimera e a carattere torrentizio dei corsi d'acqua indicati nel reticolo regionale come Fosso Foreste, Fosso TC8782 e Fosso TC8842, nonché delle analisi idrauliche condotte

Si può concludere che gli interventi previsti, **non comporteranno**:

- *il sollevamento del fondo del corso d'acqua attraversato se non localmente nei pressi dell'area di realizzazione della fondazione dei sostegni;*
- *l'interruzione o l'asciutta anche parziale del corso d'acqua con il quale interferiscono;*
- *limitazioni anche temporanee delle condizioni biogeniche del corpo idrico interessato.*

6 CONCLUSIONI

Per quanto presentato ed esposto nei precedenti paragrafi il modello bidimensionale sviluppato ha permesso di verificare che:

- le aree di esondazione indicate dal modello sono analoghe e sovrapponibili a quelle del P.G.R.A. seppur con limitate differenze locali tra le aree di esondazioni
- la presenza di aree a rapido scorrimento superficiale è empiricamente riscontrabile anche dalla quantità e dalla qualità del trasporto solido presente in alveo e nei pressi degli attraversamenti a seguito di un ordinario evento meteorico
- il campo di moto appare assumere valori di progetto limitati nei pressi dei supporti, comunque gestibili senza eccessive difficoltà tecniche nella successiva fase progettuale.
- il franco idraulico è superiore a 1.5 m lungo quasi tutto lo sviluppo dell'opera.

Si può quindi concludere che l'opera in oggetto:

- ***non altera il buon regime delle acque in quanto il franco idraulico è sempre garantito;***
- ***non interferisce con esigenze di regimazione idraulica, accessibilità e manutenzione del corso d'acqua ed è compatibile con la presenza di opere idrauliche in quanto in alveo sono previsti solo i plinti di fondazione delle opere;***
- ***non interferisce con la stabilità del fondo e delle sponde in quanto non saranno apportate modifiche alla morfologia locale delle aree;***
- ***non genera aggravio del rischio in altre aree derivante dalla realizzazione dell'intervento;***
- ***non comporta aggravio del rischio per le persone e per l'immobile oggetto dell'intervento;***
- ***fornisce un franco idraulico tra pelo libero e intradosso dell'opera che è compatibile con la morfologia dei luoghi e con il trasporto solido ragionevolmente prevedibile nell'area;***
- ***non comporta il sommovimento del fondo del corso d'acqua attraversato se non localmente nei pressi dell'area di realizzazione della fondazione dei sostegni;***
- ***non comporta la necessità di prevedere l'interruzione o l'asciutta anche parziale del corso d'acqua con il quale interferisce;***
- ***non comporta limitazioni anche temporanee delle condizioni biogeniche del corpo idrico interessato.***