



TITOLO-TITLE:

LINGUE DISPONIBILI - AVAILABLE LANGUAGE: IT

## CONCESSIONE “TRAVALE”

### POSTAZIONE GEOTERMICA “RADICONDOLI 36”

### Progetto Definitivo delle Opere Civili

### Ripristino funzionalità guado sul Fiume Cecina Relazione Tecnica di Progetto

File: R36090\_GuRPro

00	30/10/2024	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
					9	0
					0	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

RISERVATO

APPROVATO

C4300824

**Cliente** Enel Green Power Italia S.r.l.

**Oggetto** Concessione "Travale"  
Postazione geotermoelettrica "Radicondoli 36"  
Progetto definitivo delle Opere Civili  
**Ripristino funzionalità guada sul Fiume Cecina:**  
**Relazione tecnica di Progetto**

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

**Note** Rev. 0 – WBS A1300004499 –

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** 45 **N. pagine fuori testo** -

**Data** 30/10/2024

**Elaborato** Alessandro Cadore, Efrem Riva, David Zuccalà

**Verificato** Pamela Bonalumi, Efrem Riva

**Approvato** Francesco Carnevale

Mod. RAPP v. 1

**ISMES S.p.A.**

Via Lago dei Tartari, 3D-3E  
I-00012 Guidonia, (Roma)  
Italy  
Tel: +39 0774 353580  
Fax: +39 0774 353762  
e-mail: info@istedil.it  
www.ismes.it - www.istedil.it

Capitale sociale € 200.000  
interamente versato  
Trib. di Roma 1256/72-C.I.A.A 358813  
P.I. IT00887271005-C.F. 00422780585

Società soggetta ad attività di Direzione  
e coordinamento di CESI S.p.A.

## Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO E SCOPO DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI .....</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>ASPETTI VINCOLISTICI DI TIPO IDRAULICO.....</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>VALUTAZIONI IDROLOGICHE.....</b>	<b>18</b>
6.1	Valutazione delle precipitazioni con tempo di ritorno 200 anni .....	19
6.2	Valutazione della portata con tempo di ritorno 200 anni alla sezione del guado .....	21
6.3	Ricostruzione della curva di durata all'idrometro TOS01005372 - Masso degli Specchi .....	24
<b>7</b>	<b>MODELLAZIONE IDRAULICA DEL TRATTO DI FIUME CECINA INTERESSATO DAL GUADO.....</b>	<b>25</b>
7.1	Geometria del modello .....	25
7.2	Stima della scabrezza e dominio di calcolo .....	27
7.3	Modellazione del guado .....	28
7.4	Delimitazione delle aree allagate allo stato di fatto .....	29
7.4.1	Scenario allo stato di fatto con portata per tempo di ritorno 200 anni (SDF-T200) .....	31
7.4.2	Scenario allo stato di progetto con portata per tempo di ritorno 200 anni (SDP-T200) .	32
7.4.3	Confronto tra la condizione alle SDF e quella allo SDP. ....	33
7.4.4	Scenario allo stato di progetto nella condizione di "Ordinaria Transitabilità "(SDP – OT)	36
<b>8</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA ANTIEROSIONE SPONDALE .....</b>	<b>38</b>
<b>9</b>	<b>MANUTENZIONE DELL'OPERA. ....</b>	<b>43</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>45</b>

## STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
00	30/10/2024	C4300824	Prima emissione

## 1 PREMESSA

Il presente rapporto, redatto su incarico di Enel Green Power Italia S.p.A. a supporto dell'intervento di ripristino del guado parallelo al ponte della strada di Anqua sul fiume Cecina, contiene le valutazioni idrologiche ed idrauliche concernenti la sicurezza idraulica dell'opera nonché la descrizione degli interventi previsti.

Nel Capitolo 9 è riportato il Piano di Manutenzione dell'opera, finalizzato al mantenimento della durabilità ed efficienza nel medio-lungo termine.

## 2 BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [1]. Relazione di Ripristino delle condizioni originale del manufatto di cui all'Autorizzazione n° 649 del 17/12/1996 con opere di protezione e miglioramento come da elaborato grafico allegato, anno 2005.
- [2]. Comunicazione fine lavori di cui all'Aut. Prot. 52675 del 31/03/06 inerenti al ripristino del guado sul fiume Cecina, anno 2006.
- [3]. Tavole di Progetto

### 3 INQUADRAMENTO E SCOPO DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

Il guado, sito nel comune di Radicondoli (SI), è indicato nelle seguenti Figura 2-1 e Figura 3-2 ed è ubicato sul percorso della Strada Comunale di Anqua, a circa 900m dall'innesto della stessa con la S.P. 34 di Murlo.

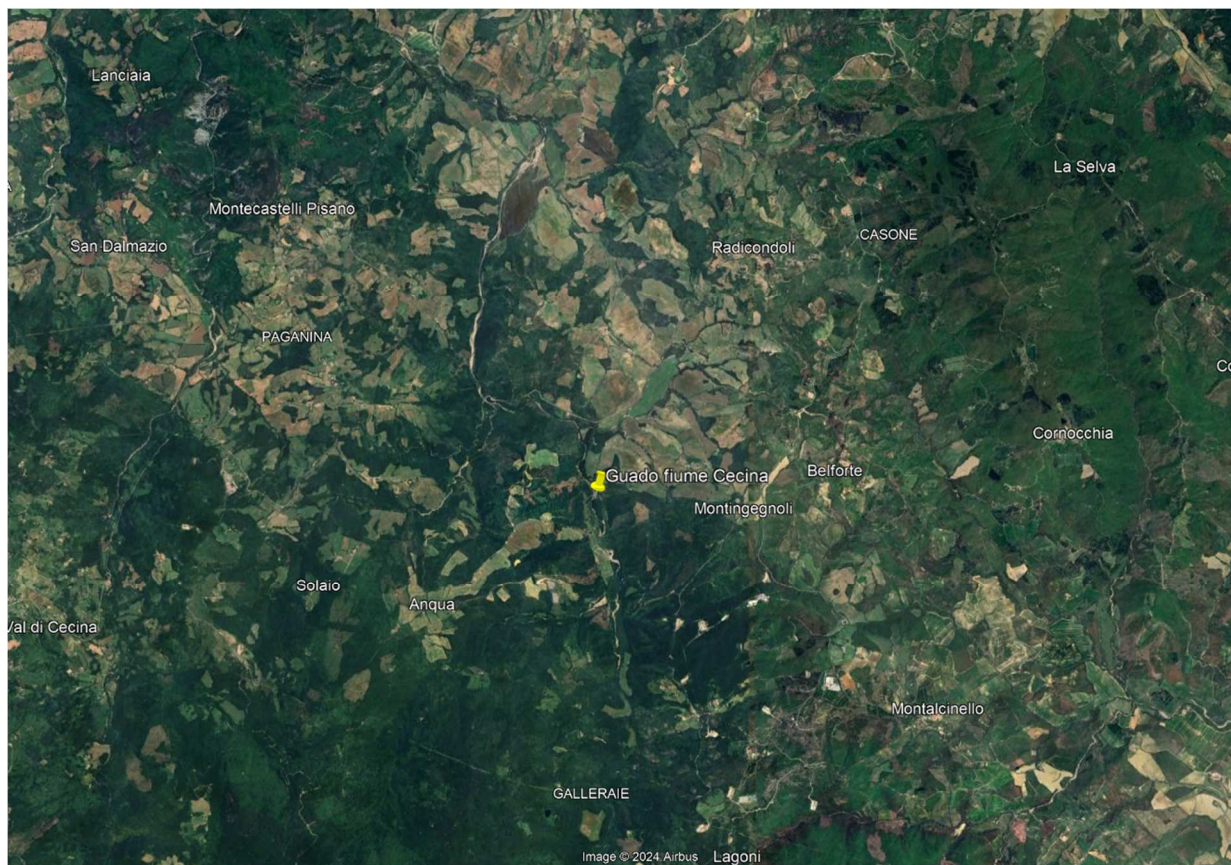


Figura 3-1: Ubicazione del guado sul fiume Cecina da ripristinare (fonte Google Earth)





Figura 3-2: Ubicazione del guado sul fiume Cecina: dettaglio (fonte Google Earth)

Il presente elaborato riprende le medesime finalità dichiarate dal Enel nel 2006 in Rif.[1], di cui si riportano i seguenti estratti:

*“L'idea di base è stata: progettare interventi che restituissero all'opera le caratteristiche necessarie per rispondere alla richiesta di transito durante i regimi di magra e di bassa morbida minimizzando interferenze col fiume e migliorando la sicurezza del transito che però risultasse completamente inibito nei regimi di piena in modo sicuro ed intrinseco l'interruzione”.*

Inoltre, il medesimo documento dichiara che *“Ad oggi non sono assolutamente venute meno le ragioni che rendono l'opera importantissima per l'ENEL, che la utilizza per l'esercizio e la manutenzione degli impianti ubicati sulla sinistra orografica del fiume Cecina”.*

Fatto salvo quanto poc'anzi esposto l'opera sarà inoltre utilizzata durante la fase di cantiere della postazione di Radicondoli 36 con l'obiettivo di trasportare materiale e mezzi che, per carico eccessivo, non possono circolare sul ponte stradale sito poco a valle del guado stesso.

Il sopralluogo eseguito da ISMES nel giugno 2024 ha mostrato che nel corso degli anni le piene del Fiume Cecina hanno avuto due conseguenze principali.

Una prima conseguenza è correlata al dilavamento delle rampe di accesso al guado stesso, che allo stato di fatto lo rendono non utilizzabile.

Un secondo aspetto è legato al trasporto solido di materiale lapideo che ha prima interrato il paramento di monte dell'opera e successivamente ostruito le 11 tubazioni in esso presenti.

Il progetto si propone quindi di raggiungere una serie di obiettivi specifici, presentati nel seguito.

In primo luogo, si intende ricreare sezioni d'alveo attivo a monte dell'opera, con una geometria che richiama quella del progetto di EGPI del 2006, Rif.[1][2].

Questo processo comporta la rimozione del trasporto solido che si è accumulato a monte dell'opera, parte del quale attualmente ostruisce anche le tubazioni presenti nell'opera.

Nelle immagini seguenti si riportano Planimetria e Sezione dell'intervento autorizzato nel 2006

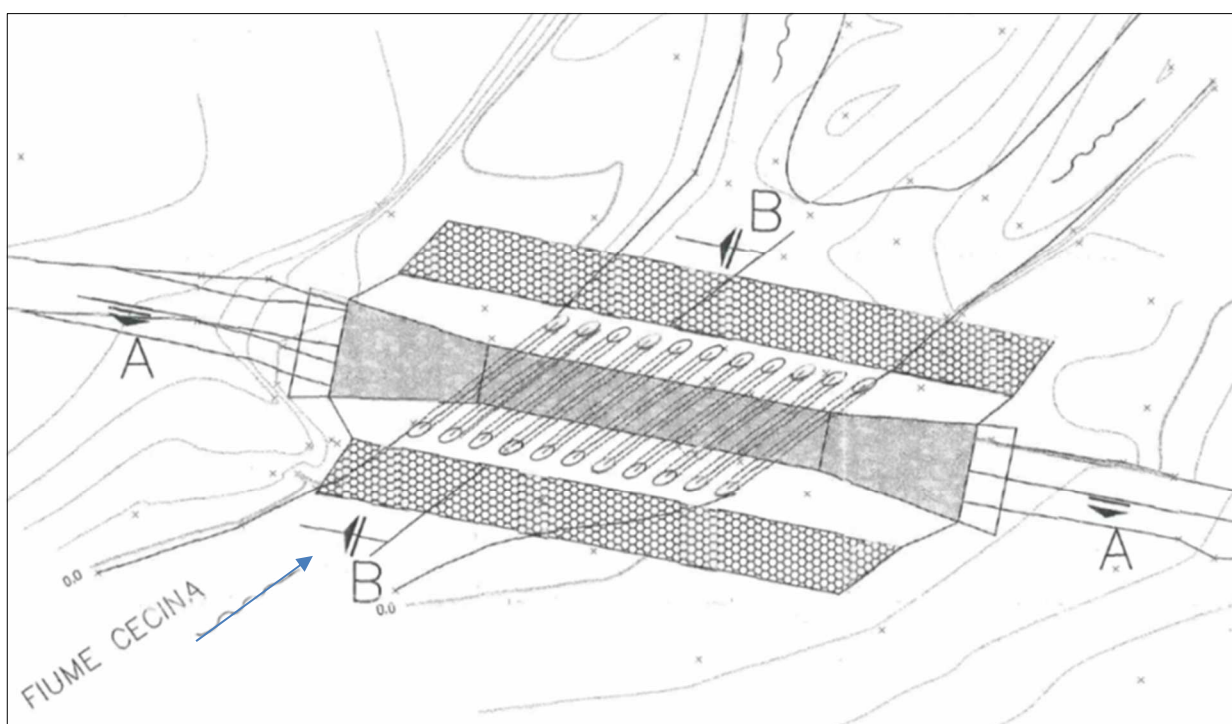


Figura 3-3: Planimetria generale del progetto originario anno 2006 a cura di EGPI, Rif.[1][2].



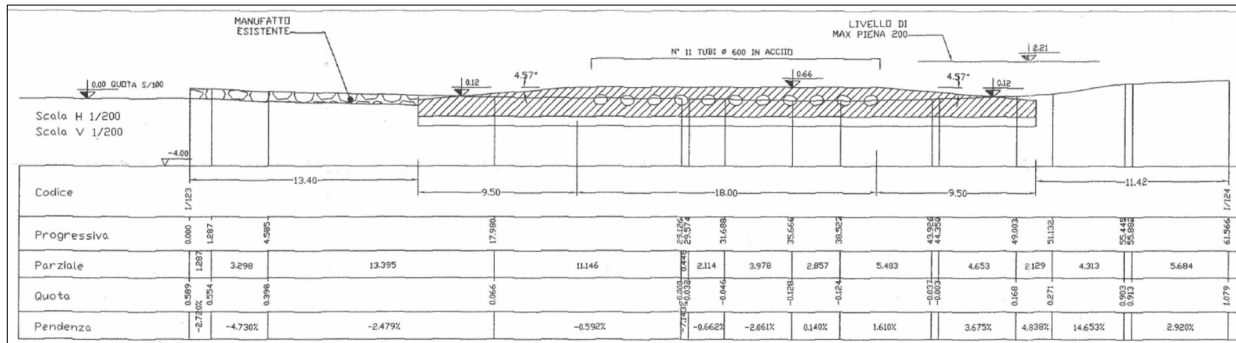


Figura 3-4: Sezione longitudinale del manufatto originario anno 2006 a cura di EGPI, Rif.[1][2].

Nelle immagini seguenti si riportano rilievo topografico e una ripresa fotografica dello stato dei luoghi nel giugno 2024.

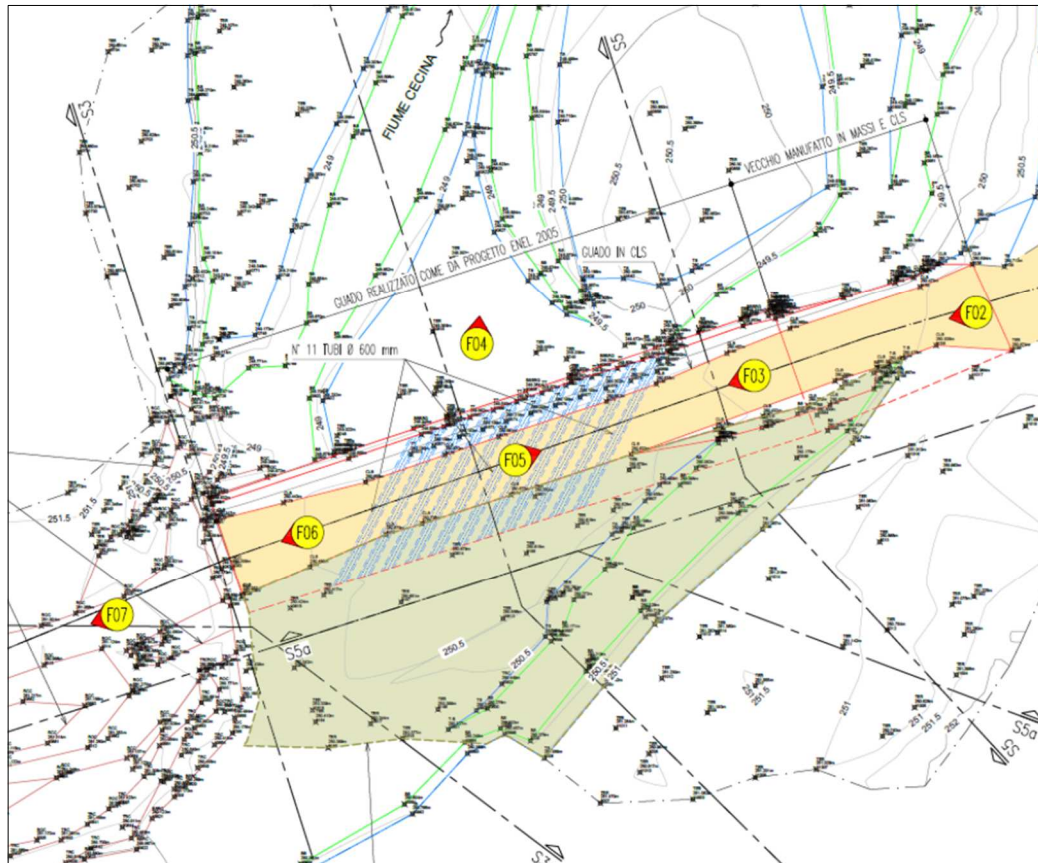


Figura 3-5: Planimetria rilievo topografico dello stato di fatto (GRE.EEC.D.28.IT.G.13407.00.080.00 R36080\_GuPFa). In colore verde chiaro l'area di accumulo del materiale a monte del guado.



*Figura 3-6: Stato dei luoghi; vista dalla sponda sinistra (giugno 2024).*

La rimozione dei detriti che si sono depositati a monte del guado, è fondamentale per ripristinare il corretto flusso dell'acqua e prevenire ulteriori ostruzioni.

Nell'ambito dell'intervento è previsto il rimodellamento di entrambe le sponde del corso d'acqua, che sarà realizzato attraverso la costruzione di rilevati costituiti in larga parte con lo stesso materiale lapideo disponibile in alveo.

Tale sistemazione ha l'obiettivo di meglio indirizzare i deflussi durante la maggior parte dell'anno idrologico, migliorando così la gestione delle acque e riducendo il rischio di erosione delle sponde.

Un altro aspetto cruciale del progetto è quello di non generare modifiche sostanziali al campo di moto durante le piene di progetto.

Pertanto, durante le piene il flusso dell'acqua non subirà variazioni significative rispetto alla configurazione attuale, garantendo al contempo la transitabilità del guado durante la maggior parte dell'anno.

Questo è particolarmente importante per mantenere l'accessibilità e la funzionalità dell'area.

Infine, il progetto mira a rendere l'opera non solo duratura, ma anche gradevole alla vista utilizzando materiale naturali e ove possibile disponibili in loco.

Inoltre, verrà proposto un piano di manutenzione dettagliato, che sarà essenziale per preservare la fruibilità dell'opera nel tempo. Questo piano includerà interventi periodici di manutenzione e monitoraggio per assicurare che l'opera rimanga in buone condizioni e continui a funzionare efficacemente.

**Riassumendo, il progetto si pone quindi i seguenti obiettivi specifici:**

- ***ricreare sezioni d'alveo attivo a monte dell'opera la cui geometria sia simile a quella realizzata nel progetto del 2006. Ciò prevede la rimozione del trasporto solido mobilizzato a monte dell'opera stessa e ostruente le tubazioni***
- ***rimodellare entrambe le sponde, per mezzo di rilevati realizzati con lo stesso materiale lapideo bloccato dall'opera, con l'obiettivo di meglio indirizzare i deflussi durante la maggior parte dell'anno idrologico***
- ***proteggere dal dilavamento tali rilevati spondali per mezzo di massi ciclopici cementati tra loro***
- ***non generare modifiche sostanziali al campo di moto durante le piene di progetto e contemporaneamente garantire la transitabilità del guado durante la maggior parte dell'anno***
- ***rendere l'opera duratura e di minimo impatto percettivo***
- ***proporre un piano di manutenzione che ne possa preservare la fruibilità nel tempo.***

Al fine di eseguire una progettazione che sia rispondente ai precedenti requisiti nel presente elaborato saranno sviluppate tre modellazioni, ognuna delle quali rappresenta uno scenario d'evento con una specifica finalità.

**Saranno quindi analizzati i seguenti scenari:**

- ***scenario allo stato di fatto con portata per tempo di ritorno 200 anni (SDF-T200)***
- ***scenario allo stato di progetto con portata per tempo di ritorno 200 anni (SDP-T200)***
- ***scenario allo stato di progetto nella condizione di "ordinaria transitabilità" (SDP – OT) ovvero nella condizione in cui nel guado defluisca una portata tale da non lambire il piano viabile dell'opera***

Per redigere tali scenari nel seguito saranno condotte delle analisi idrauliche 2D col Software HecRas 6.5, sviluppato da USACE.

A tal fine nel capitolo 6 sarà condotta l'analisi idrologica delle portate defluenti in una sezione a monte dell'opera per tempo di ritorno 200 anni.

Lo scenario di ordinaria transitabilità sarà invece simulato applicando a tale modello la portata che non genera stramazzo sull'opera stessa e tale portata sarà confrontata con la portata semipermanente (Q182) e la portata di piena ordinaria (Q91) ricavate da una curva di durata applicabile al guado.

## 4 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI

Il progetto prevede i seguenti interventi:

- taglio della vegetazione arbustiva spontanea nelle aree interessate dai lavori;
- rimozione del trasporto solido a monte del guado che ostruisce le tubazioni;
- sistemazione in sponda destra e sinistra del materiale proveniente dal disalveo;
- realizzazione di scogliera in massi cementati a protezione dal dilavamento della sistemazione del materiale in sponda destra e sinistra;
- ripristino localizzato in sponda sinistra della continuità del guado, con intasamento in massi cementati;
- sistemazione localizzata di un'area in erosione sulla sponda sinistra di valle con materiale lapideo presente in loco;
- ripristino del sedime viario adiacente al guado in sponda sinistra, con un getto in calcestruzzo e regolarizzazione del sottofondo fino all'innesto sulla strada Comunale di Anqua;
- ripristino del sedime viario adiacente al guado in sponda destra con misto stabilizzato di cava e regolarizzazione del sottofondo fino all'innesto sulla strada Comunale di Anqua.

Le immagini seguenti rappresentano le opere previste, per maggiori dettagli fare riferimento alle tavole progettuali.

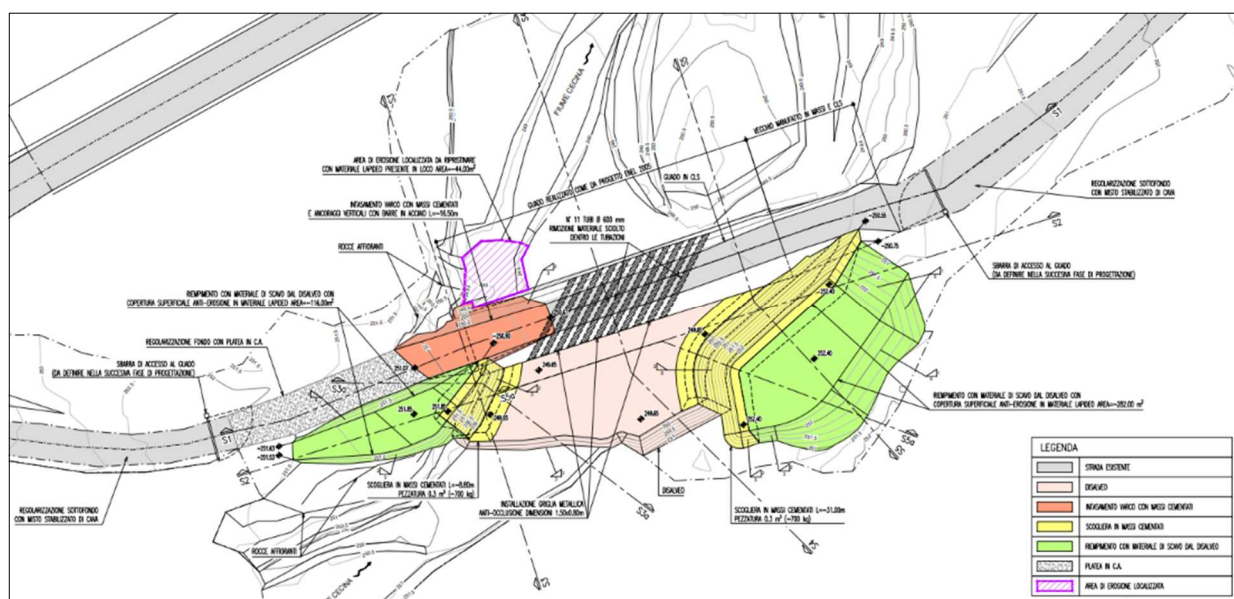


Figura 4-1: Stralcio planimetria generale delle opere in progetto, tavola GRE.EEC.D.28.IT.G.13407.00.081.00 R36081\_GuPPr.





Figura 4-2: Stralcio fasi esecutive degli interventi, tavola GRE.EEC.D.28.IT.G.13407.00.082.00 R36082\_GuPLa.



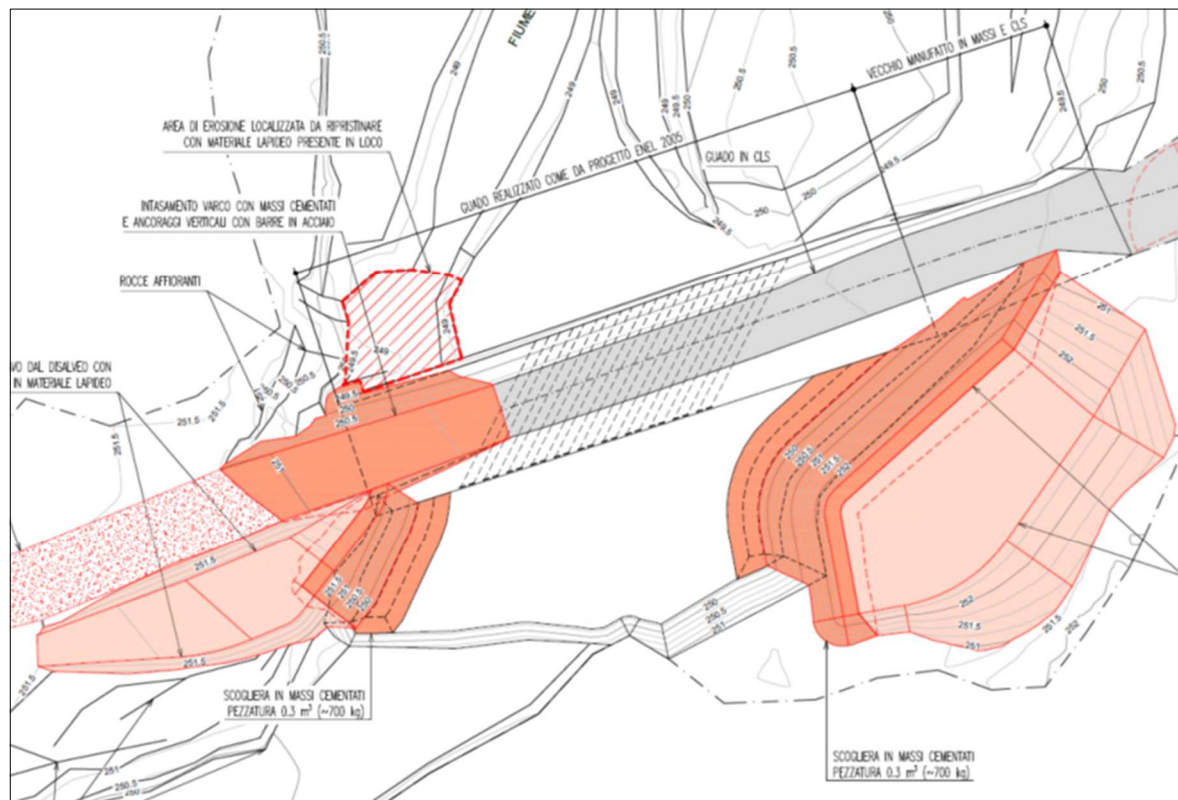


Figura 4-3: Stralcio fasi esecutive degli interventi, tavola GRE.EEC.D.28.IT.G.13407.00.082.00 R36082\_GuPLa.

## 5 ASPETTI VINCOLISTICI DI TIPO IDRAULICO

### 5.1 Generalità

Il guado sul fiume Cecina ricade nell'ambito amministrativo dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale.

L'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino settentrionale è un ente pubblico non economico, di rilievo nazionale, vigilato dal Ministero della Transizione Ecologica. Nasce a seguito della riforma distrettuale avviata con l'art. 51 della legge 28 dicembre 2015, n. 221. Nell'arco di due anni – dal 2016 al 2018 – attraverso alcuni provvedimenti attuativi della riforma distrettuale, tra i quali in particolare il d.m. 25 ottobre 2016, n. 294 e il d.p.c.m. 4 aprile 2018, l'Autorità si è strutturata e organizzata ed è divenuta pienamente operativa, prendendo il posto delle Autorità di bacino previste dalla legge 183/1989, sopresse ex lege nel 2015.

L'Autorità di distretto si occupa, in primo luogo, di pianificazione di bacino: elabora e approva il Piano di bacino distrettuale e i relativi stralci, tra cui in particolare quelli previsti dall'art. 63 comma 10 lettera a) del d.lgs. 152/2006, ossia il *Piano di gestione del rischio di alluvioni* e il *Piano di gestione delle acque*, due importanti piani direttori in materia di alluvioni e di acque, redatti ai sensi delle direttive europee 2000/60/CE e 2007/60/CE. Grazie a queste attività pianificatorie, l'Autorità è in grado di fornire in

continuo una fotografia aggiornata dello stato di salute dei nostri fiumi e degli obiettivi fissati per ciascuno di essi, definendo tempistiche e misure per il raggiungimento del buono stato di *qualità delle acque*. Al contempo provvede ad aggiornare il quadro conoscitivo in termini di pericolosità da alluvione e da dissesti geomorfologici attraverso l'aggiornamento del *Piano di gestione del rischio di alluvioni* (PGRA) e l'elaborazione del *PAI dissesti*. In parallelo l'Autorità esprime il proprio parere di conformità ai piani di bacino sugli interventi in materia di dissesto idrogeologico, inseriti in programmazioni europee, nazionali e regionali.

Il distretto dell'Appennino Settentrionale è a sua volta suddiviso in unità territoriali di riferimento definite Unità di Gestione (Unit of Management – UoM) che, per la struttura di attraversamento in esame, è rappresentata dalla UoM Regionale Toscana Costa, la cui codifica, utilizzata ai fini del reporting alla CE è visibile nelle seguenti figure.

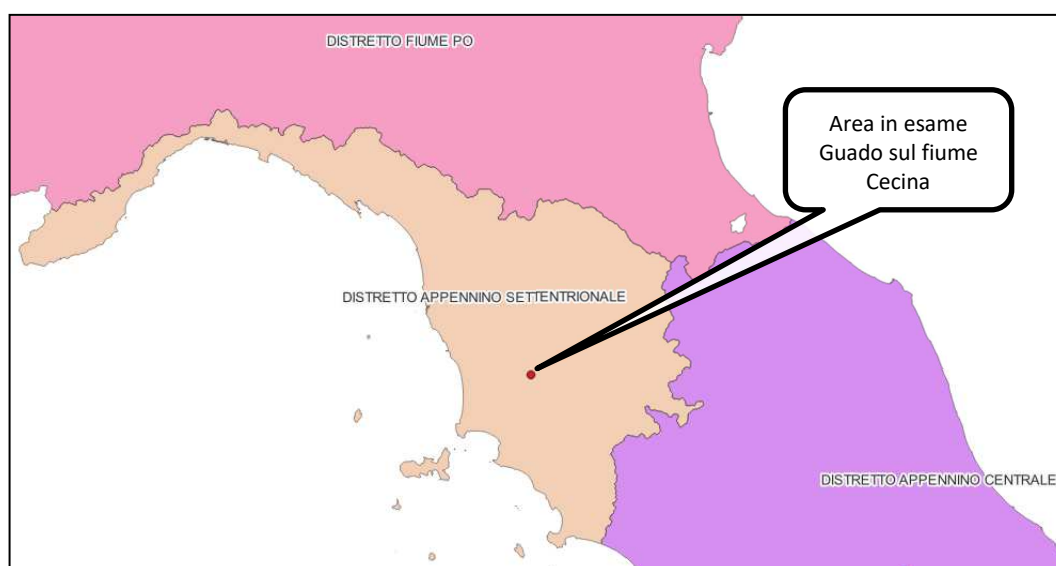


Figura 5-1 – Appartenenza del sito in esame (guado sul fiume Cecina) al distretto Appennino Settentrionale



Figura 5-2 – Appartenenza del sito in esame (guado sul fiume Cecina) alla UoM (Unit of Management) “Regionale Toscana Costa”

ITC2018	distretto dell'Appennino Settentrionale	ITI018	Magra
ITC2018	distretto dell'Appennino Settentrionale	ITN002	Arno
ITC2018	distretto dell'Appennino Settentrionale	ITR071	Regionale Liguria
ITC2018	distretto dell'Appennino Settentrionale	ITR091	Regionale Toscana Costa
ITC2018	distretto dell'Appennino Settentrionale	ITR092	Regionale Toscana Nord
ITC2018	distretto dell'Appennino Settentrionale	ITR093	Regionale Toscana Ombrone
ITC2018	distretto dell'Appennino Settentrionale	ITSNP01	Serchio

Figura 5-3- Codifica delle Unità di Gestione e dei Distretti Idrografici. ITR091 è la codifica di riferimento per la UoM Regionale Toscana Costa cui appartiene il guado sul fiume Cecina.

## 5.2 Piano Gestione Rischio alluvioni (P.G.R.A.)

Il **Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA)** 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.

Nell’ordinamento italiano la Direttiva è stata recepita con il D.Lgs. n. 49/2010 che ha individuato nelle **Autorità di bacino distrettuali** le autorità competenti per gli adempimenti legati alla Direttiva stessa e

nelle *Regioni*, in coordinamento tra loro e col Dipartimento Nazionale della Protezione Civile, gli enti incaricati di predisporre ed attuare, per il territorio del distretto a cui afferiscono, il sistema di allertamento per il rischio idraulico ai fini di protezione civile.

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 (UoM Regionale Liguria e Magra). 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. Nella Figura 5-4 sono elencati, per ciascuna UoM del Distretto in esame, i tempi di ritorno utilizzati per caratterizzare i diversi scenari di probabilità, nel caso di inondazione di origine fluviale.

UoMCode-UoMName	SCENARIO A (P1) <i>scarsa probabilità</i>	SCENARIO B (P2) <i>media probabilità</i>	SCENARIO C (P3) <i>elevata probabilità</i>
ITN002 – Arno	TR > 200 anni	30 < TR ≤ 200 anni	TR ≤ 30 anni
ITI018 – Magra	200 < TR ≤ 500 anni	30 < TR ≤ 200 anni	TR ≤ 30 anni
ITR071 – Regionale Liguria	200 < TR ≤ 500 anni	50 < TR ≤ 200 anni	TR ≤ 50 anni
ITR091 – Regionale Toscana Costa	TR > 200 anni	30 < TR ≤ 200 anni	TR ≤ 30 anni
ITR092 – Regionale Toscana Nord	TR > 200 anni	30 < TR ≤ 200 anni	TR ≤ 30 anni
ITR092 – Regionale Toscana Ombrone	TR > 200 anni	30 < TR ≤ 200 anni	TR ≤ 30 anni
ITSNP01 – Serchio	TR > 200 anni	30 < TR ≤ 200 anni	TR ≤ 30 anni

Figura 5-4 - Tempi di ritorno utilizzati per caratterizzare i diversi scenari di probabilità, nel caso di inondazione di origine fluviale, per ciascuna Unità di Gestione.

In particolare, per ciò che riguarda l'interferenza tra opere in progetto e rete idrografica, poiché l'opera risulta inserita in alveo, si è ritenuto opportuno un confronto tra le aree allagabili a diversa pericolosità valutate nell'ambito del P.G.R.A. e l'ingombro dell'opera in progetto.

Per quanto concerne il guado 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 ≤ 30 anni;
- Probabilità media (P2): 30 < TR ≤ 200 anni;
- Probabilità scarsa (P3): TR > 200 anni.

In relazione alle mappe di rappresentazione della pericolosità da alluvione in ambito fluviale, la posizione dell'opera in progetto è rappresentata in Figura 5-5, da cui si evince che essa è ovviamente interessata da una situazione di pericolosità idraulica.

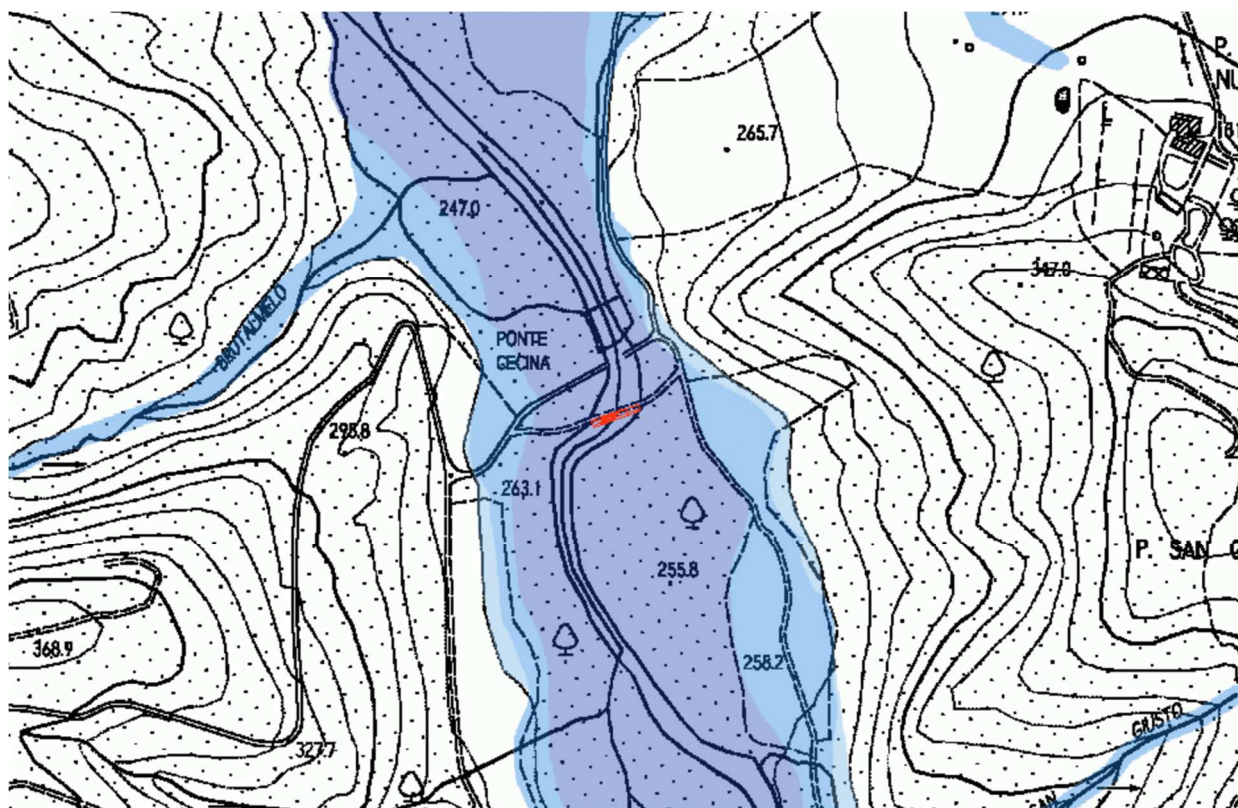


Figura 5-5 – Pericolosità da alluvione nel Distretto Appennino Settentrionale (PGRA) - dominio fluviale. Riferimento: 15/12/2022 - DSG 142-143/22 - revisione - Autorità di Bacino del Fiume Arno (riferimento più recente). In rosso il guado sul fiume Cecina.



### 5.3 Piano strutturale comunale

In base al D.P.G.R. 30 gennaio 2020 n° 5/R, seguendo il regolamento di attuazione dell'art. 104 della L.R. 10 novembre 2014 n° 65 (Norme per il governo del territorio), il Comune di Radicondoli (in forma associata con il Comune di Casole d'Elsa) si è dotato del Piano Strutturale Intercomunale.

Si rileva nel PSC la trattazione delle tematiche di tipo geologico, geomorfologico e idrogeologico, ma non di quelle prettamente legate al rischio idraulico.

### 5.4 Conclusioni

***Vista la situazione riscontrata dalla cartografia della pericolosità idraulica del P.G.R.A., si è reputato opportuno verificare, per mezzo di una modellazione idraulica, le condizioni di interferenze, a livello di parametri idraulici, tra le opere in progetto e la piena di riferimento con tempo di ritorno di 200 anni controllando che le condizioni di livello e velocità nella situazione attuale e di progetto non si discostino significativamente tra loro. A parte l'estensione planimetrica delle aree esondate, nel P.G.R.A. non si dispone infatti di altri parametri significativi di confronto.***

Le risultanze delle valutazioni sono riportate nel seguito.

## 6 VALUTAZIONI IDROLOGICHE

Nei paragrafi che seguono sono riportate le valutazioni condotte al fine di stimare la portata al colmo in corrispondenza del guado.

Nel già menzionato elaborato Enel, Rif.[1], la piena di progetto per T 200 anni era stata indicata in oltre 500 m<sup>3</sup>/s.

Tuttavia, nella presente proposta progettuale si è ritenuto ragionevole eseguirne una nuova valutazione idrologica, sviluppata partendo dalle Curve di Possibilità Pluviometrica calcolate dalla Regione Toscana.

Inoltre, al fine di condurre delle valutazioni aggiuntive sulle portate medie naturali al guado è stata ricostruita la curva di durata delle portate del Fiume Cecina alla stazione idrometrica di Masso degli Specchi (TOS01005372) sita in Castelnuovo di Val di Cecina (PI), (WGS84 – LAT 43.302° - LON 10.953°).

Poiché il summenzionato idrometro è localizzato a valle del guado, si ritiene ragionevole utilizzare le portate misurate in tale sezione al fine di redigere un confronto tra la portata che non genera stramazzo sull'opera stessa, la portata semipermanente (Q182) e di portata di piena ordinaria (Q91).

Queste ultime due portate saranno desunte dalla summenzionata curva di durata.

## 6.1 Valutazione delle precipitazioni con tempo di ritorno 200 anni

La stima delle precipitazioni di tempo di ritorno di 200 anni è stata condotta a partire dalle curve di possibilità pluviometrica sviluppate dall'Università di Firenze, mediante aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012 compreso, su incarico della Regione Toscana. Tali curve sono disponibili sul sito web della Regione stessa.

Si sono in particolare considerate le curve relative alle stazioni pluviometriche di Gerfalco (TOS01002071), Anqua (TOS01002085) e Montalcinello (TOS03002733), risultate significative per la stima delle precipitazioni medie sul bacino idrografico del corso d'acqua alla sezione di chiusura in analisi, in base al tracciamento dei poligoni di Thiessen delle stazioni (vedi figura che segue),

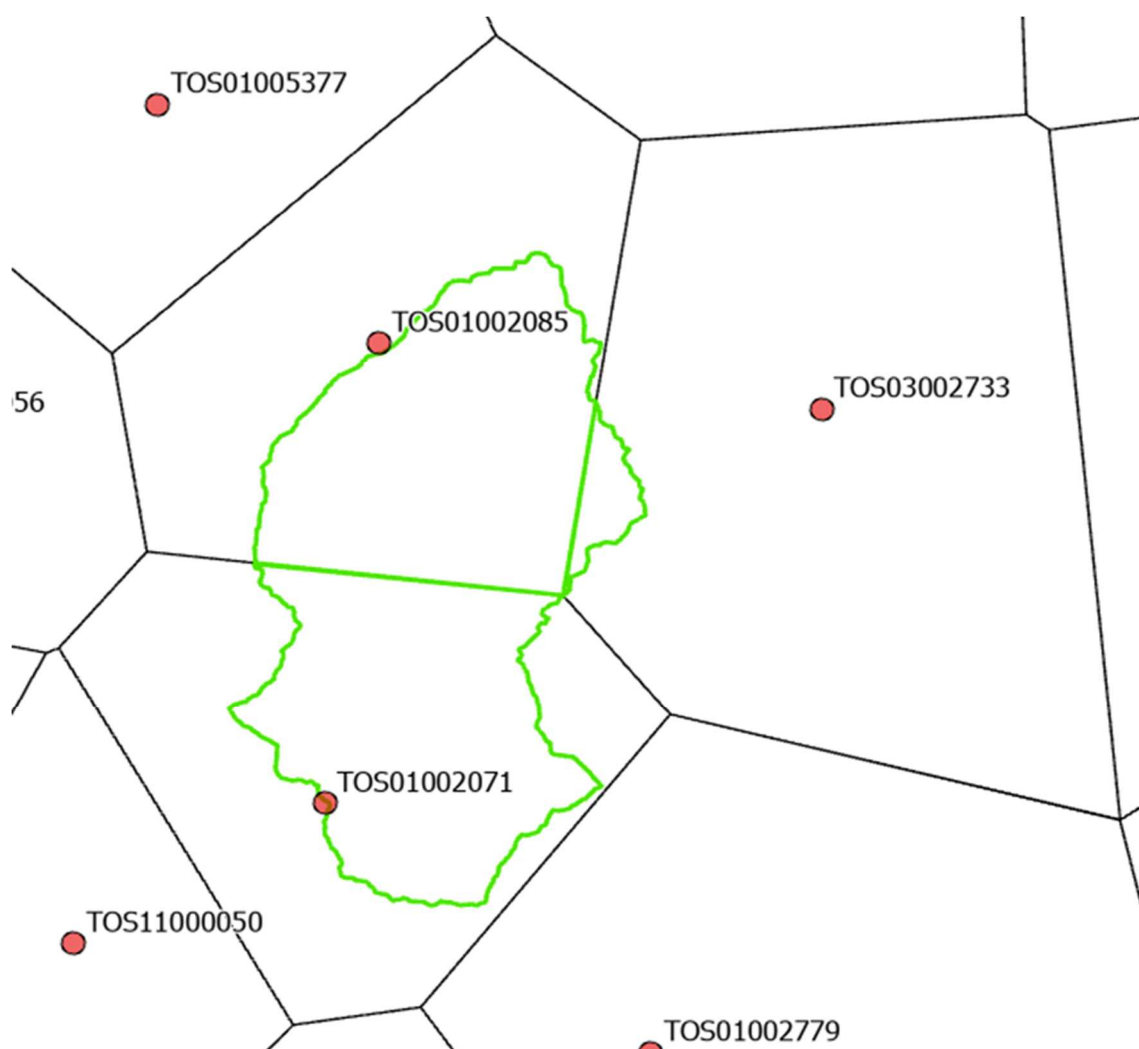


Figura 6-1: Ubicazione delle stazioni Pluviometriche di riferimento per le analisi idrologiche

definite, per le durate di precipitazione superiori dell'ora, dai seguenti parametri:

Stazione	Codice	<i>T = 200 anni</i>	
		<i>Precipitazioni &gt; 1 ora</i>	
		<i>a</i>	<i>n</i>
Gerfalco	TOS01002071	81,0	0,360
Anqua	TOS01002085	76,3	0,345
Montalcinello	TOS03002733	74,0	0,389

Considerando le superfici di bacino di riferimento, riportate nel seguito, per ognuna delle stazioni:

Bacino	Stazione		
	Gerfalco	Anqua	Montalcinello
Superficie di bacino di competenza della stazione [ km <sup>2</sup> ]			
<b>Cecina</b>	22,6515	23,2235	1,8861

è stata valutata la seguente curva di possibilità pluviometrica media sul bacino idrografico, chiuso alla sezione del guado, di tempo di ritorno 200 anni.

Bacino	CPP Mediate 1-24 hh	
	<i>a</i>	<i>n</i>
<b>Cecina</b>	78,4	0,354

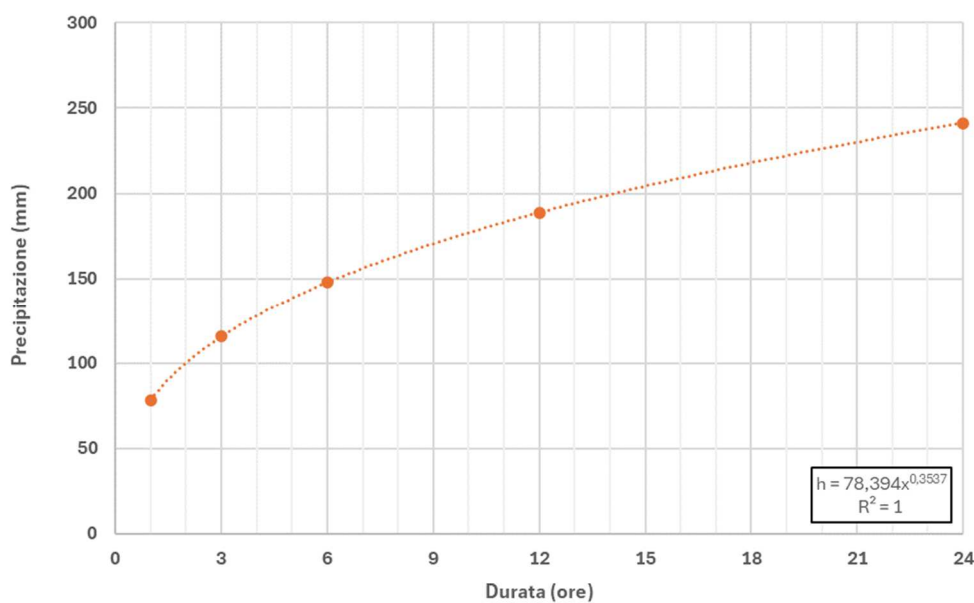


Figura 6-2: Curva di possibilità pluviometrica media sul bacino

## 6.2 Valutazione della portata con tempo di ritorno 200 anni alla sezione del guado

La portata duecentennale è stata valutata nella sezione del fiume Cecina sede del guado, mediante applicazione della formula razionale:

$$Q = \frac{\varphi \cdot A \cdot h_{t_c, T_r}}{3,6 \cdot t_c}$$

con:

Q = portata nella sezione di chiusura del bacino (m<sup>3</sup>/s);

$\varphi$  = coefficiente di deflusso (adim.);

A = area della superficie del bacino idrografico sotteso (km<sup>2</sup>);

$t_c$  = tempo di corrivazione del bacino (ore);

$h_{t_c, T_r}$  = precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione e di tempo di ritorno  $T_r$ ;

stimando il tempo di corrivazione mediante la formulazione di Aronica e Paltrinieri, adattamento della più nota formula di Giandotti a bacini di superficie inferiore ai 10 km<sup>2</sup>:

$$t_c = \frac{1}{0,8 \cdot \sqrt{H_m - H_c}} \cdot \sqrt{A} + 1,5L$$

dove:

L = lunghezza del percorso idraulico maggiore (km);

$H_m$  = quota media del bacino idrografico (m s.l.m.);

$H_c$  = quota della sezione di chiusura (m s.l.m.);

e considerando la precipitazione sul bacino come media pesata di quelle delle stazioni pluviometriche individuate come significative.

I parametri M e d possono assumere i valori indicati nella tabella che segue:

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 6-3: Parametri della formula di Aronica-Paltrinieri

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

Per la delimitazione del bacino sotteso dalla sezione del Cecina in analisi e la valutazione dei parametri morfometrici caratteristici del bacino idrografico, è stato utilizzato il software ArcGis 10.7 con i suoi tools.

Le analisi morfologiche sono state condotte a partire da un DTM, ricavato dalla Carta Tecnica Regionale della Toscana in formato vettoriale alla scala 1:10'000<sup>1</sup>.

La figura che segue mostra la perimetrazione del bacino imbrifero.

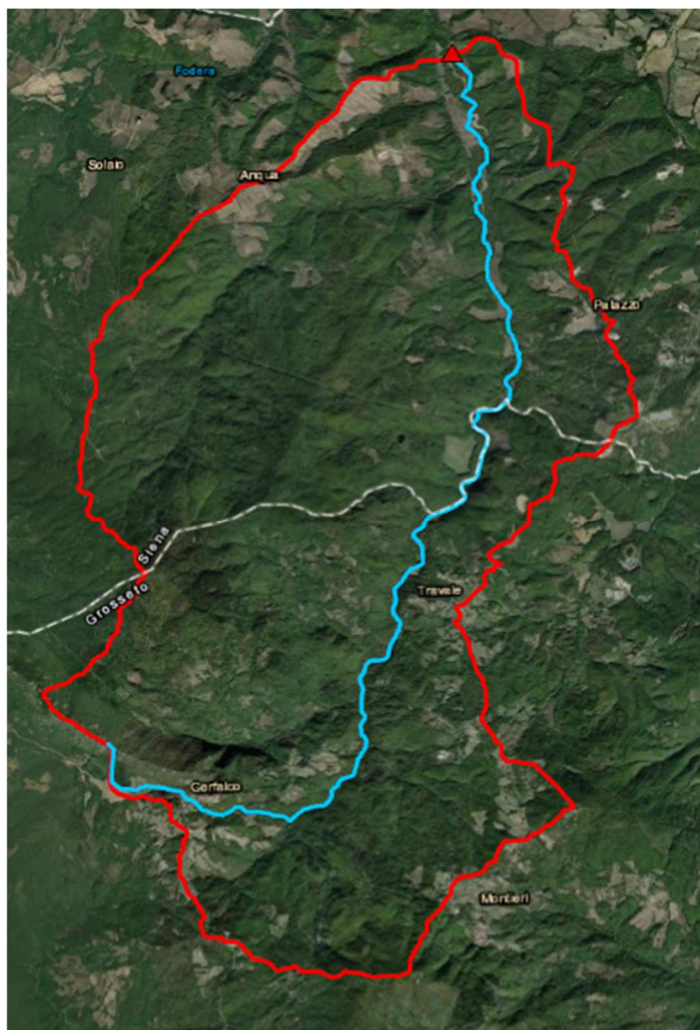


Figura 6-4: Perimetrazione del bacino idrografico a monte della sezione di verifica del corso d'acqua

<sup>1</sup> Geoportale Regione Toscana – DG Governo del Territorio – Sistema Informativo Territoriale e Ambientale, Sistema di Riferimento Gauss Boaga Fuso Ovest.



Sono stati valutati i parametri del bacino imbrifero necessari all'applicazione della formulazione valutando il relativo tempo di corrivazione.

**Aronica - Paltrinieri**

<i>Bacino</i>	<i>Tempo di corrivazione [ore]</i>
<b>Cecina</b>	3,513

Tabella 6-5

Considerando un coefficiente di deflusso del terreno costante durante l'evento e pari al 70 % del deflusso lordo si ottiene, per tempo di ritorno 200 anni una portata in corrispondenza alla sezione del guado di 323,2 m<sup>3</sup>/s.

<i>Bacino</i>	<i><math>\phi</math></i>	<i>A [km<sup>2</sup>]</i>	<i>h<sub>tc</sub> [mm]</i>	<i>Q<sub>200,c</sub> [m<sup>3</sup>/s]</i>
<b>Cecina</b>	0,7	47,7612	122,3	323,2

Tabella 6-6: Stima della portata di verifica.

La scelta del coefficiente di deflusso appare non solo ragionevole in base all'uso del suolo del sito, ma anche, soprattutto, in considerazione della rarità dell'evento di progetto.

### 6.3 Ricostruzione della curva di durata all'idrometro TOS01005372 - Masso degli Specchi

La seguente immagine mostra la ricostruzione della curva di durata della stazione idrometrica TOS01005372 - Masso degli Specchi, sita nel Comune di Castelnuovo di Val di Cecina.

Tale stazione risulta localizzata a valle dell'opera e per tal motivo si ritiene conservativo il suo utilizzo al manufatto oggetto del presente progetto.

La serie storica utilizzata per la ricostruzione della curva comprende il periodo 2007-2024 ad esclusione degli anni 216-2017 per la quale la stazione non presenta dati rilevati.

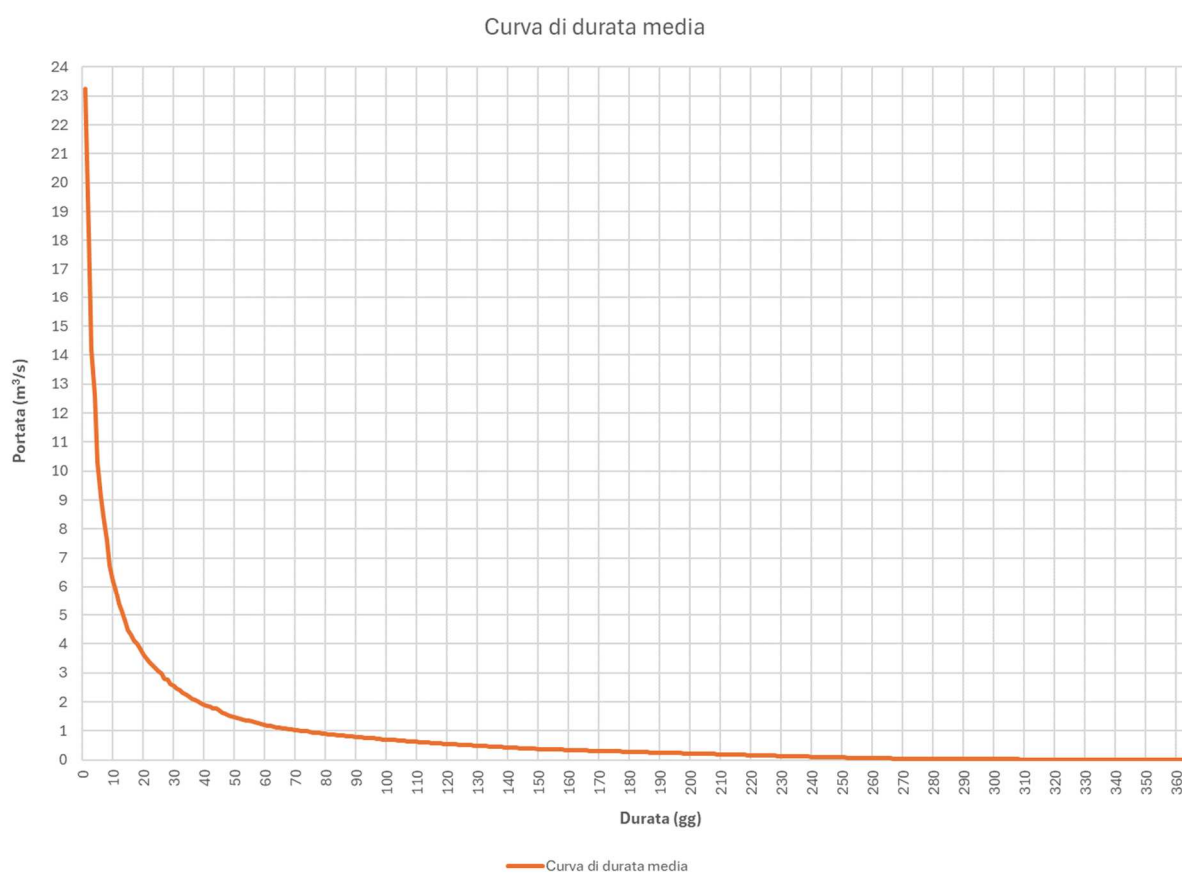


Figura 6-7

## 7 MODELLAZIONE IDRAULICA DEL TRATTO DI FIUME CECINA INTERESSATO DAL GUADO

Il presente capitolo illustra la modellazione bidimensionale condotta col software HecRas 6.5.

Per chiarezza espositiva nel presente paragrafo saranno descritti gli elementi costituenti il modello e i risultati ottenuti; esulano dal presente elaborato approfondimenti di dettaglio circa le equazioni e le caratteristiche implementate nel software utilizzato.

### 7.1 Geometria del modello

La costruzione della geometria del modello allo Stato di Fatto (SDF) e allo stato di Progetto (SDP) sono state sviluppate partendo dal rilievo topografico dell'alveo nei pressi del guado, estendendo tale rilievo con i dati Lidar disponibili dal sito della Regione Toscana. Tali dati sono stati adeguatamente raccordati al rilievo e hanno permesso di estendere l'analisi fino a circa 300 m a monte e 370 m a valle del manufatto stesso. Le seguenti immagini mostrano la ricostruzione dei Modelli Digitali del Terreno (DTM) ricreati in Autocad Civil3D.

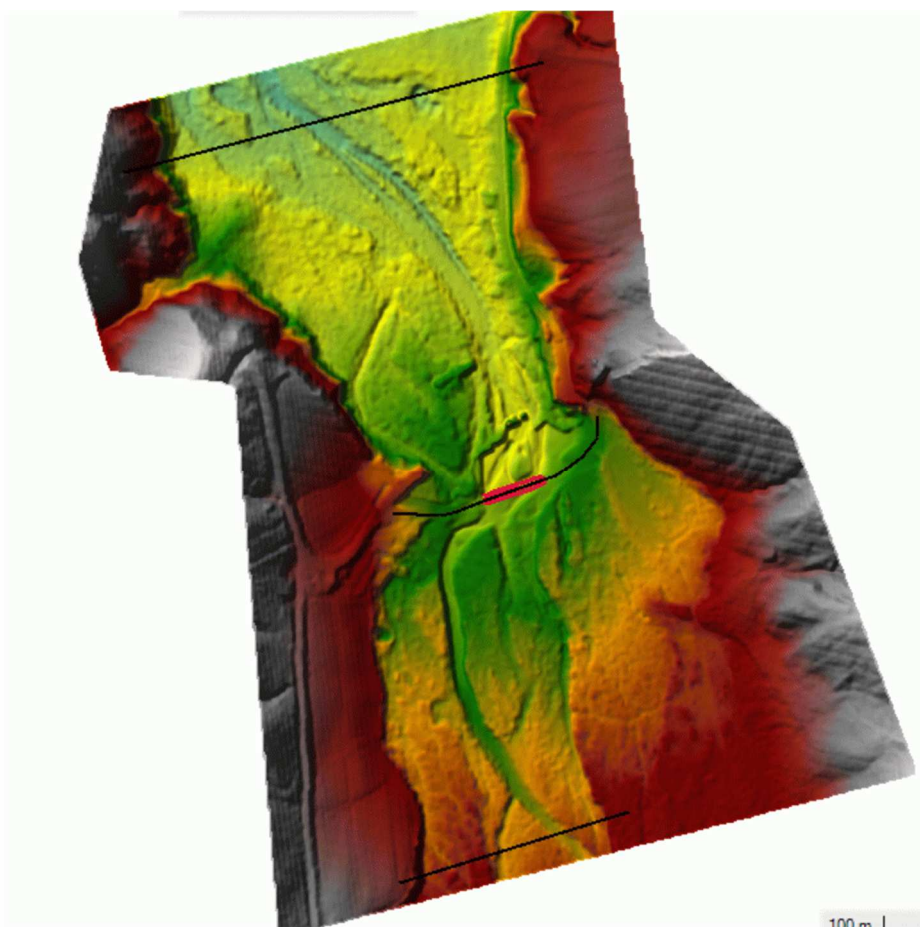


Figura 7-1: Ricostruzione del terreno allo SDF, in rosso la presenza del manufatto.

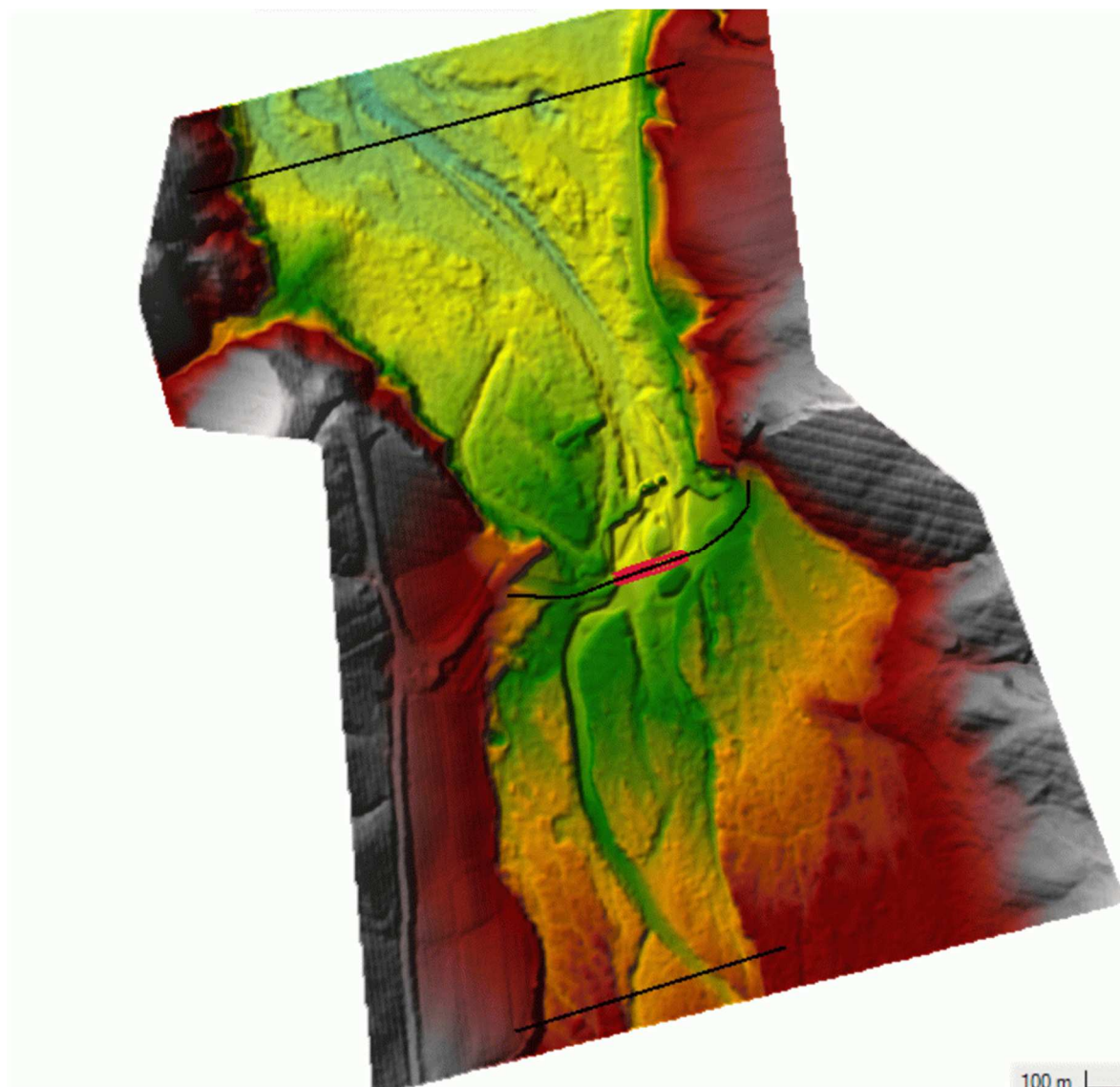


Figura 7-2: TIN e sezioni di verifica nella configurazione allo stato di fatto, in rosso la presenza del manufatto.

La seguente immagine mostra il confronto tra i DTM allo SDF e allo SDP.

Quest'ultimo non presenta sedimenti a monte dell'opera ma bensì i rilevati in destra e in sinistra idrografica previsti nel progetto.

**Complessivamente il volume di scavo estratto dall'alveo ammonta a circa 300 m<sup>3</sup> e sarà completamente riposizionato per costituire i rilevati.**

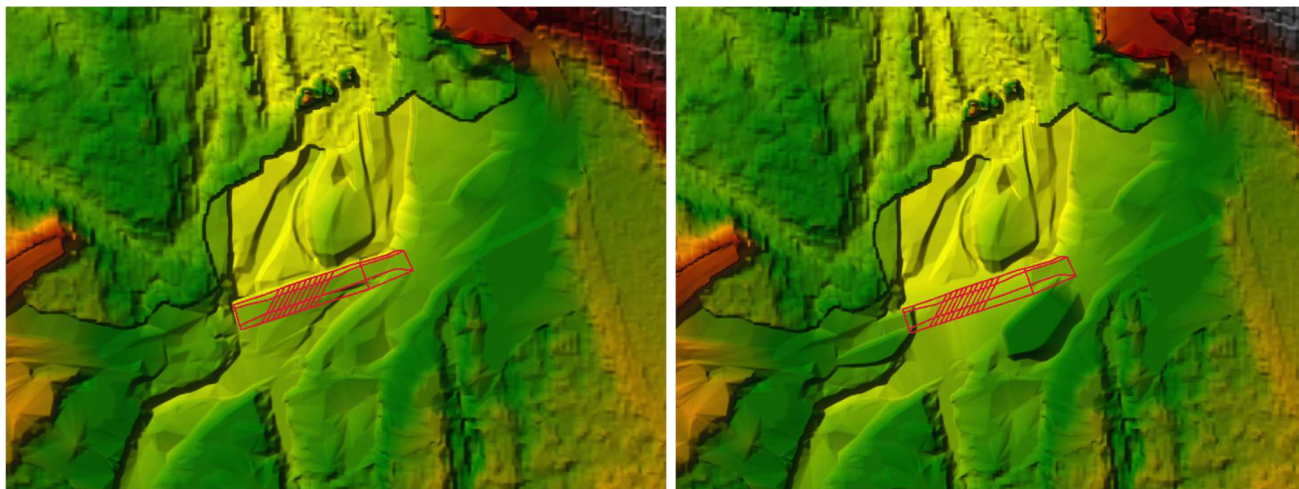


Figura 7-3: DTM allo SDF (sinistra) e allo SDP (destra), in rosso la presenza del manufatto.

## 7.2 Stima della scabrezza e dominio di calcolo

Non essendo disponibili nell'area di analisi una serie storica dei livelli idrici in alveo durante gli eventi di piena, non è stato possibile sviluppare una taratura del modello.

Tuttavia, analizzando lo stato dei luoghi è possibile attribuire le scabrezze alle diverse superfici del modello. La seguente immagine ne mostra i valori di Manning e la relativa localizzazione.



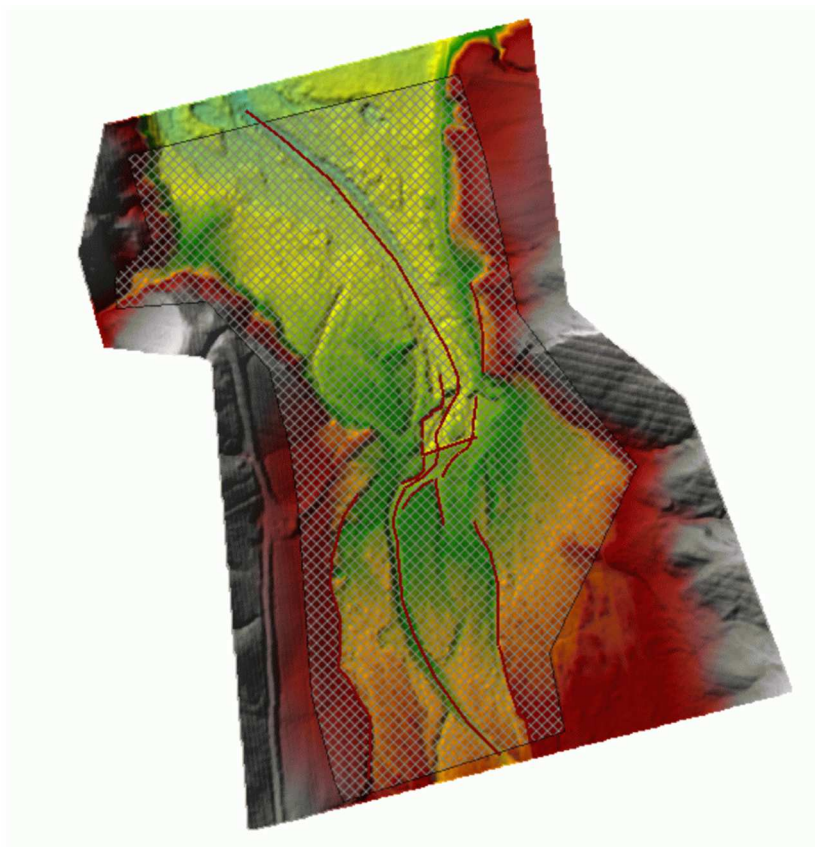
	Name	ManningsN
1	alveo	0.035
2	boscaglia	0.07
3	prato	0.025
4	strada	0.014

Figura 7-4: scabrezze di Manning e relativa localizzazione planimetrica.



Con riferimento al dominio di calcolo, la seguente immagine ne mostra l'estensione e la geometria delle celle.

Il reticolo di calcolo, adattato alla morfologia del terreno, comprende celle consistenti in poligoni irregolari fino a 7 lati, aventi area variabile tra  $1 \text{ m}^2$  (vicino al guado) e  $58 \text{ m}^2$  nei punti più distanti dall'opera. Complessivamente si contano circa 11500 celle di calcolo.



0

Figura 7-5: dominio di calcolo.

### 7.3 Modellazione del guado

Nella geometria attuale il guado non costituisce una discontinuità in alveo a causa del materiale depositato sul lato di monte, materiale che oltretutto ostruisce le 11 condotte presenti nel corpo del manufatto.

Pertanto, **allo SDF la rappresentazione dell'attraversamento è contenuta nel modello del terreno ottenuto dal recente rilievo disponibile** (Figura 7-6).

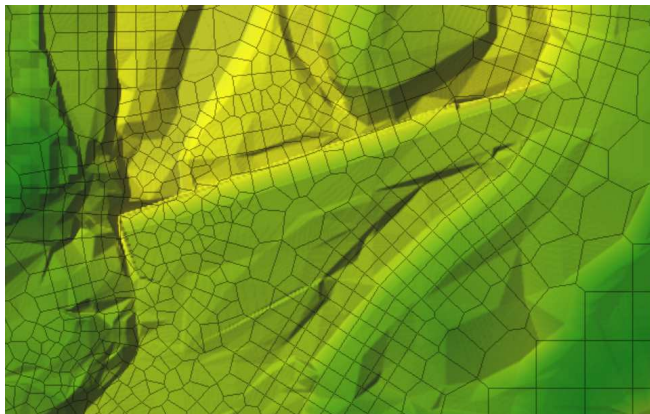


Figura 7-6: Rappresentazione del guado allo SDF

Nella configurazione di progetto **SDP**, nella quale si prevede la rimozione dell'accumulo di materiale in alveo, il guado è stato modellato sotto forma di struttura idraulica trascinabile (weir), all'interno della quale sono state inserite le 11 luci circolari (culvert), allineate alla direzione principale della corrente in arrivo da monte, che possono funzionare sia a pelo libero che in pressione (Figura 7-7).

La soglia trascinabile (piano carrabile) del guado si trova a quota 250.70 m s.l.m. Le luci circolari hanno diametro di 0.60 m e una pendenza che rispecchia quella media del terreno circostante.

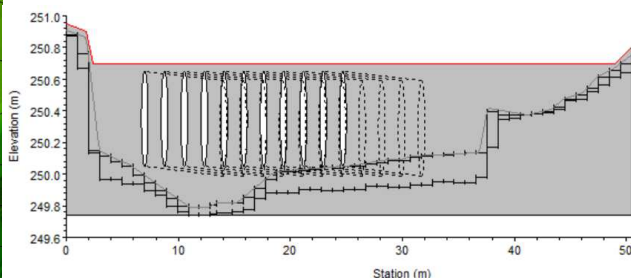
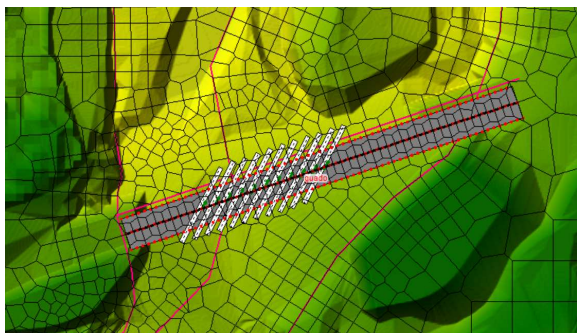


Figura 7-7: Rappresentazione del guado allo SDP

Le due figure precedenti illustrano anche la forma del reticolo di calcolo in prossimità dell'attraversamento.

## 7.4 Delimitazione delle aree allagate allo stato di fatto

Nel seguito si presentano gli scenari d'evento per le tre condizioni di verifica ritenute significative, ovvero SDF, SDP e Ordinaria Transitabilità.

Nei primi due scenari le portate di verifica, ovvero la piena per T 200 anni, è pari a 323.2 m<sup>3</sup>/s, mentre nel terzo scenario si è proceduto a simulare portate crescenti fino al valore di 5 m<sup>3</sup>/s, ovvero limite superiore oltre il quale il guado non risulta transitabile.

Nel seguito si presentano le aree di esondazione per le summenzionate condizioni, demandando alle relative tavole progettuali un'adeguata rappresentazione dei tiranti idraulici calcolati, nelle sezioni presentate nella seguente immagine<sup>2</sup>.

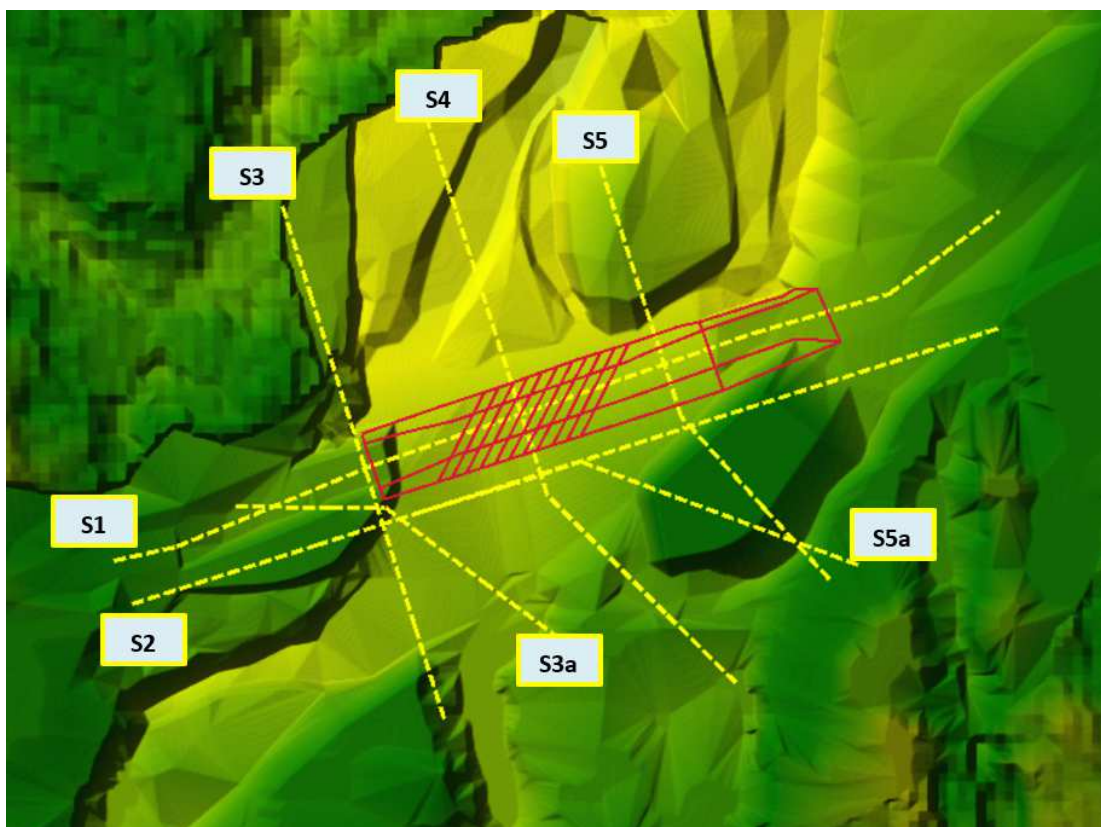


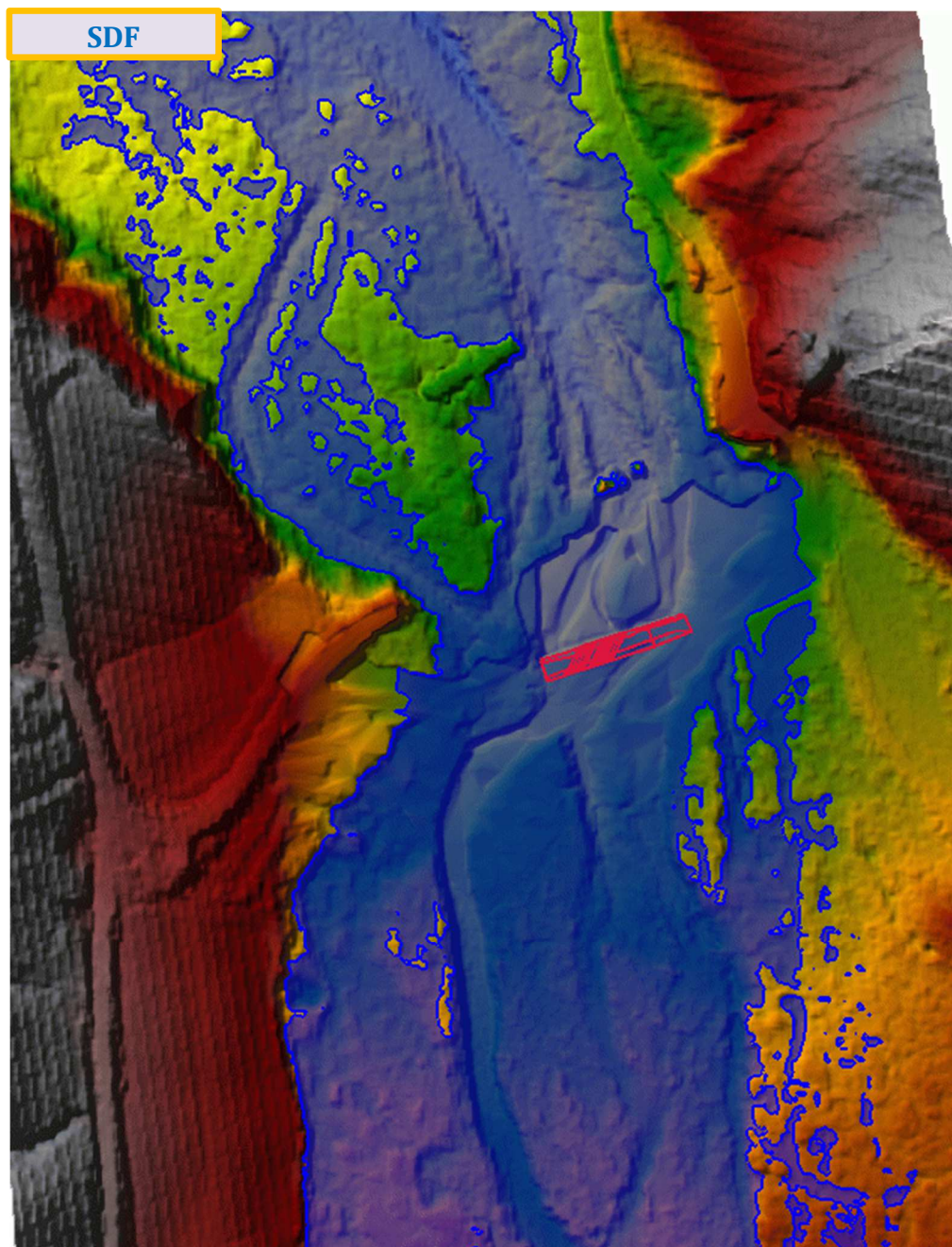
Figura 7-8: Planimetria con le sezioni sviluppate nelle tavole.

<sup>2</sup> Con riferimento ad una specifica sezione di verifica, le modellazioni presentano tiranti idrici variabili lungo la sezione stessa in quanto il modello scelto calcola per ogni cella il campo di moto, ovvero velocità variabili lungo la progressiva della sezione.



#### **7.4.1 Scenario allo stato di fatto con portata per tempo di ritorno 200 anni (SDF-T200)**

La seguente immagine mostra le aree di esondazione modellate sul DTM allo stato di fatto per eventi con tempo di ritorno 200 anni.



*Figura 7-9: Aree di esondazione allo SDF.*

#### 7.4.2 Scenario allo stato di progetto con portata per tempo di ritorno 200 anni (SDP-T200)

La seguente immagine mostra le aree di esondazione modellate sul DTM allo stato di progetto per eventi con tempo di ritorno 200 anni.

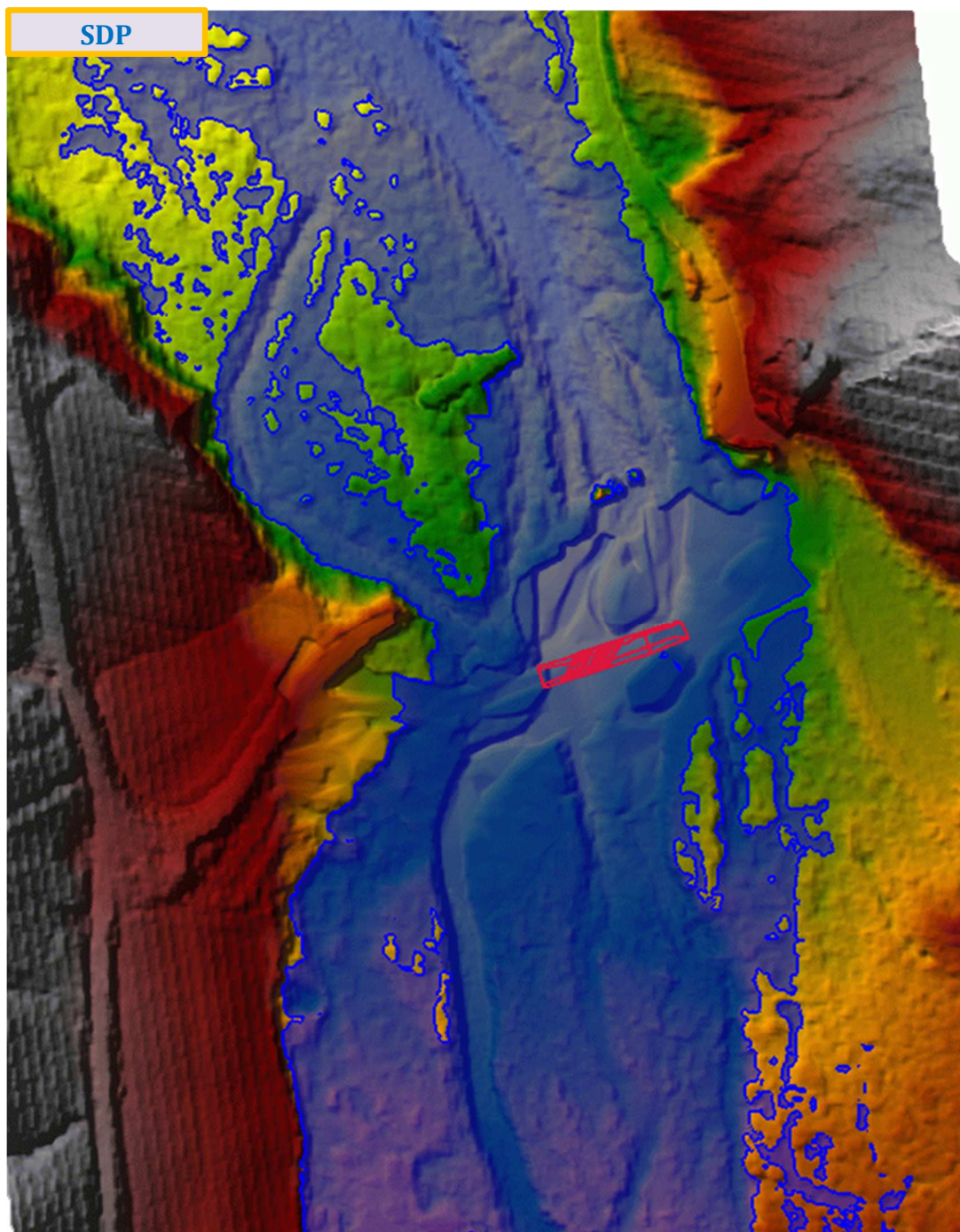


Figura 7-10: Aree di esondazione allo SDP.



#### 7.4.3 Confronto tra la condizione alle SDF e quella allo SDP.

*Già dal confronto tra le precedenti figure si può osservare che, per eventi con tempo di ritorno 200 anni, non sussistono sostanziali differenze tra le aree di esondazione nelle due configurazioni.*

*Inoltre, allo SDF il guado, avendo le luci ostruite e l'interrimento a monte si comporta come una soglia e pertanto viene tracimato anche per portate molto piccole.*

Al contrario, nello SDP le 11 luci circolari permettono il transito di portate fino a  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  senza che il piano carrabile superiore venga tracimato. La Figura 7-11 illustra la distribuzione dei tiranti idrici in tale scenario.

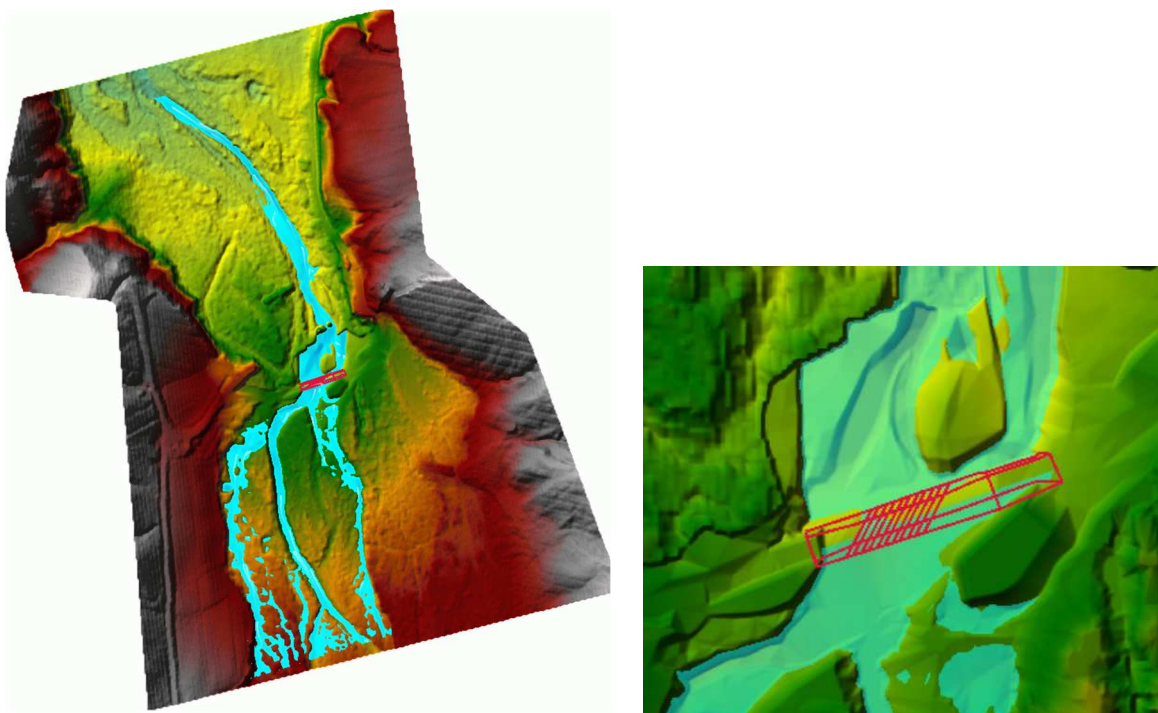


Figura 7-11: Distribuzione dei tiranti idrici allo SDP con una portata in transito di  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Aumentando la portata complessiva in alveo, fino a  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  i nuovi rilevati indirizzano tutta la corrente nel guado, mentre per  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  si osserva un incipiente aggiramento dell'opera in sponda sinistra (Figura 7-12).

Incrementando ulteriormente la portata, con  $75 \text{ m}^3/\text{s}$  di portata si presenta un'espansione della sezione bagnata anche sulla carreggiata di accesso all'opera in sponda destra.

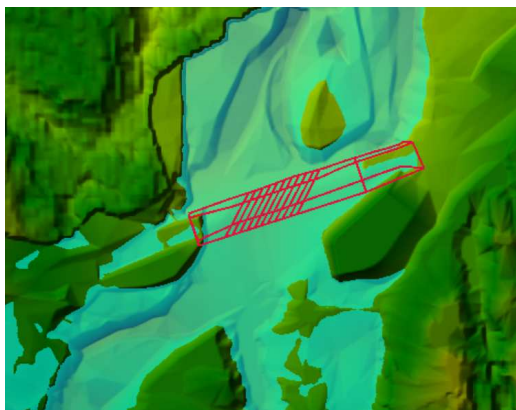
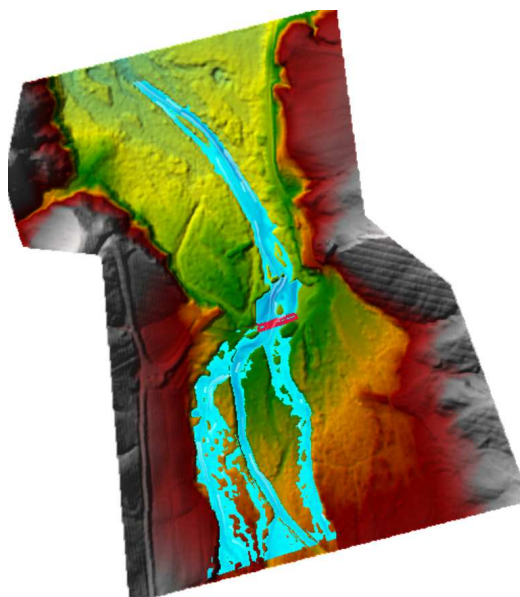


Figura 7-12: Distribuzione dei tiranti idrici allo SDP con una portata in transito di 25 m³/s.

**Le simulazioni numeriche sono state eseguite con portate fino al tempo di ritorno di 200 anni, riscontrando differenze assai modeste fra il campo di moto e l'estensione delle aree inondabili nello SDF e nello SDP, interessando un'ampia fascia che ingloba l'alveo di magra e le sue ramificazioni<sup>3</sup>.**

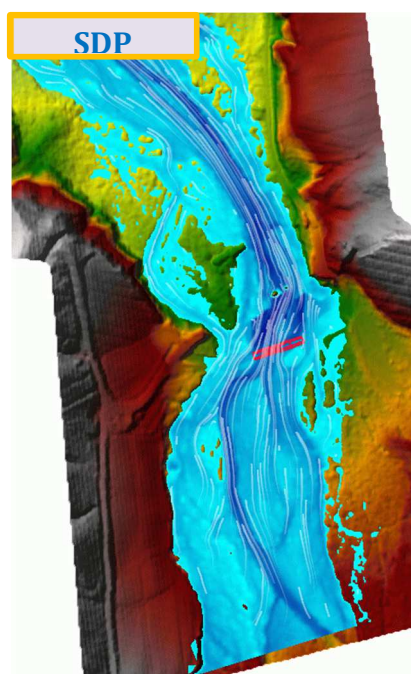
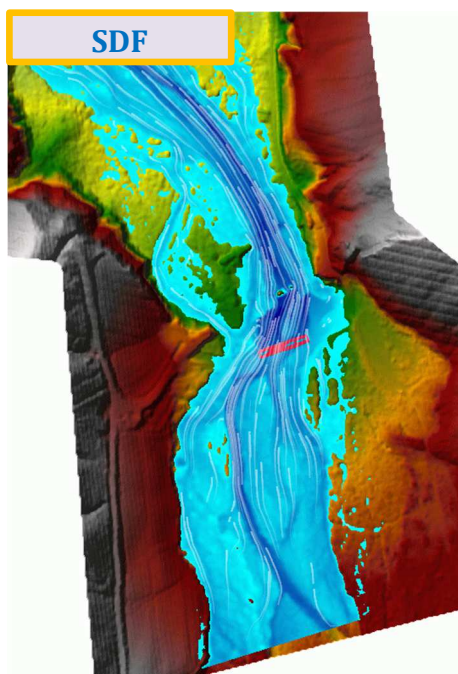


Figura 7-13: Campo di moto e distribuzione dei tiranti idrici allo SDF e allo SDP (TR 200 anni).

<sup>3</sup> Tale comportamento modellistico è paragonabile a quanto presentato nella cartografia ufficiale del P.G.R.A.

La seguente Figura 7-14 riporta i profili del pelo libero e del terreno in una sezione immediatamente a monte del guado, per il tempo di ritorno di 200 anni.

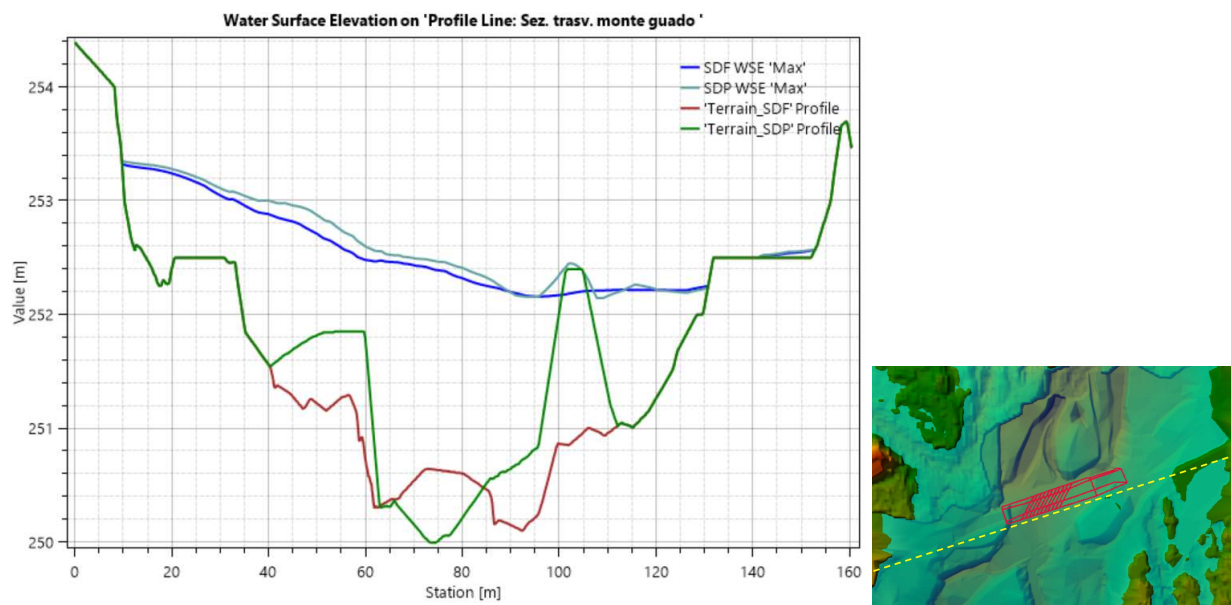


Figura 7-14: Profili del terreno e del pelo libero a monte del guado (TR 200 anni), lungo la sezione tratteggiata

Il profilo marrone rappresenta il terreno allo SDF; la linea verde, corrispondente allo SDP, mette in evidenza la riprofilatura dell'alveo e la presenza delle sponde artificiali volte a incanalare le portate di entità bassa o moderata.

I profili del pelo libero, riferiti alla portata di  $323.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , mostrano differenze modeste tra loro.

***Si può concludere pertanto che il ripristino dell'opera non modifica l'assetto idraulico in condizioni di piena di progetto rendendo il guado agibile al traffico veicolare per portate inferiori a  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ .***

#### 7.4.4 Scenario allo stato di progetto nella condizione di “Ordinaria Transitabilità” (SDP – OT)

Il presente scenario è stato ricostruito per via iterativa, facendo defluire nel modello portate crescenti fino al quando i livelli idrici poco a monte dell’opera non generano stramazzo e quindi l’impraticabilità dell’opera stessa.

La seguente immagine mostra le aree di esondazione, i tiranti e il campo di moto nella configurazione di ordinaria transitabilità. Tale condizione è possibile per portate inferiori a  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

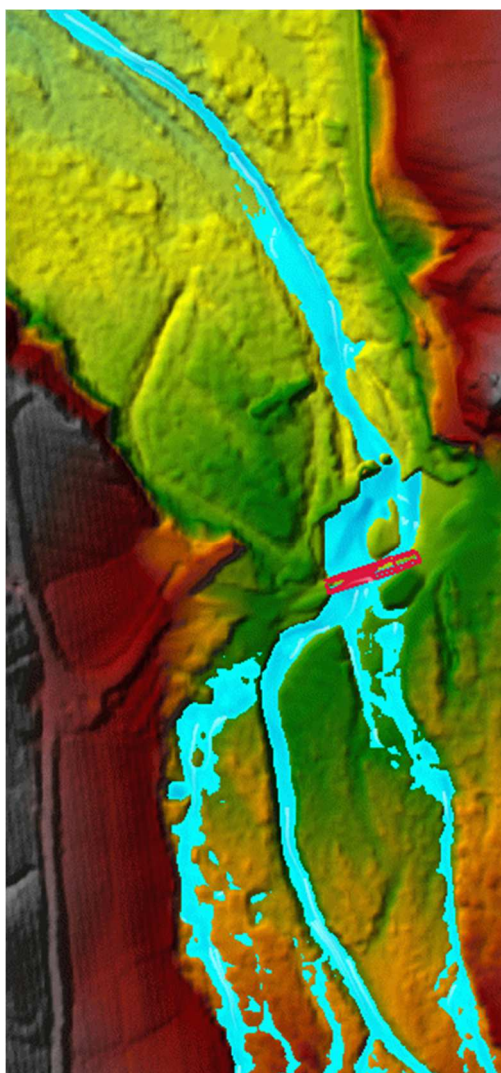


Figura 7-15: Area di esondazione, campo di moto e i tiranti nel caso di portata pari a  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Con riferimento alla curva delle durate, per pronta visione presentata nel seguito, è possibile osservare che la portata di  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  è superata mediamente per circa 12-13 giorni all’anno.



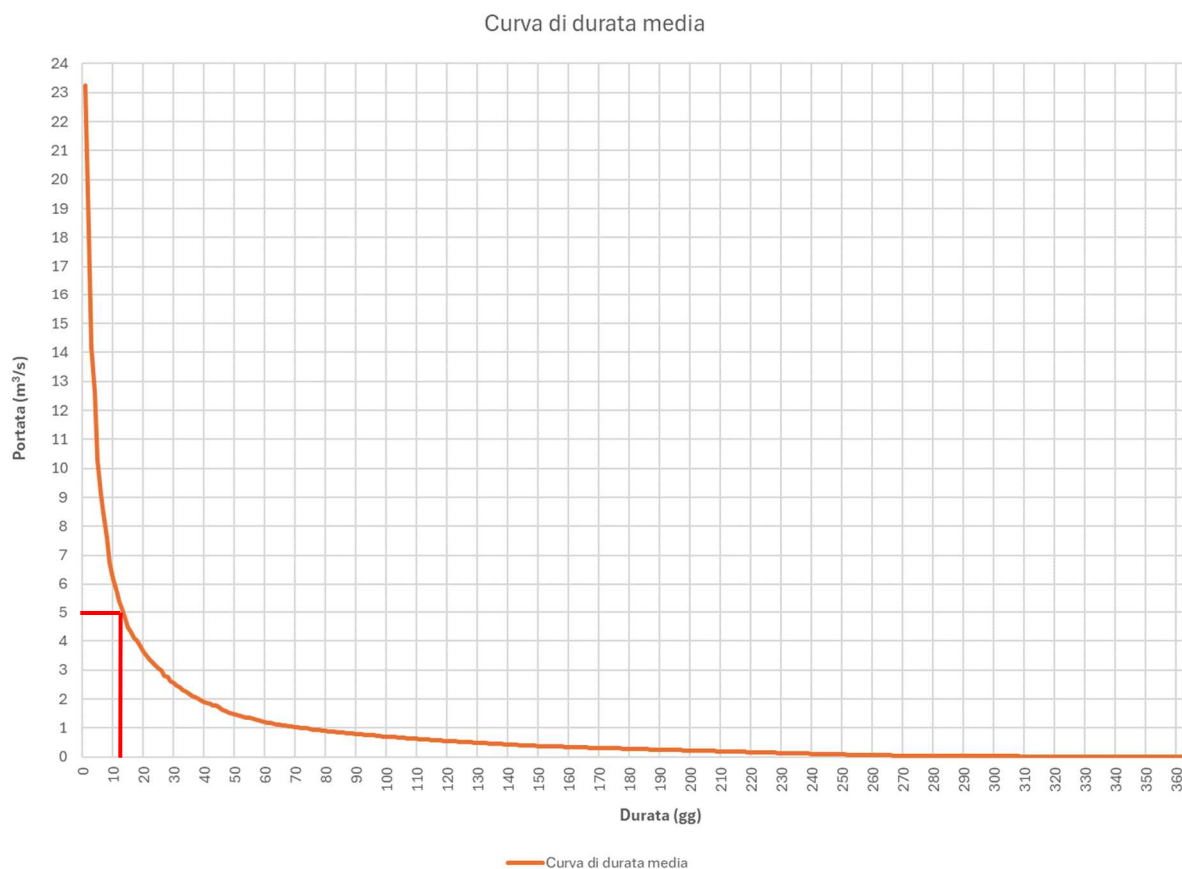


Figura 7-16: Curva di durata applicata al guado: la portata pari a  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  e la relativa durata sono individuate dalla linea rossa.

Inoltre, confrontando la portata di  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  con la semipermanente (Q182) o con quella di piena ordinaria (Q91) si può osservare che questi ultimi valori di durata sono nettamente inferiori.

Per tal motivo **è possibile concludere che il guado possa essere utilizzato in sicurezza per molti giorni all'anno.**

Ovviamente si sconsiglia l'utilizzo del manufatto durante eventi di piena o in previsione di forti piogge.



## 8 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA ANTIEROSIONE SPONDALE

Al fine di proteggere la fondazione delle spalle da eventuali possibili erosioni da parte della corrente è stata prevista la realizzazione di una protezione di sponda con massi sciolti il cui dimensionamento è stato eseguito per mezzo del criterio di Stevens (1976).

Le velocità di deflusso sono state calcolate nella futura configurazione progettuale nella quale sono state inserite le geometrie della scogliera. Per tal motivo il campo di moto è quanto di più simile a ciò che si dovrebbe realizzare durante un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni.

Il criterio di Stevens venne sviluppato analizzando i momenti delle forze agenti su un singolo elemento solido, ottenendo le seguenti espressioni per il dimensionamento del singolo masso della scogliera di sponda:

$$\sigma = \frac{21 \cdot \tau}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right) \cdot \gamma \cdot d_m} = \frac{0.30 \cdot u_r^2}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right) \cdot g \cdot d_m}$$

$$\beta = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{\cos \lambda}{\frac{2 \cdot \sin \theta}{\sigma \cdot \operatorname{tg} \phi} + \sin \lambda} \right)$$

$$\frac{\sigma^*}{\sigma} = \frac{1 + \sin(\lambda + \beta)}{2}$$

$$C_s = \frac{\cos \theta \cdot \operatorname{tg} \phi}{\sigma^* \cdot \operatorname{tg} \phi + \sin \theta \cdot \cos \beta}$$

dove:

$C_s$  = coefficiente di sicurezza al ribaltamento del masso rispetto al punto di rotazione, corrispondente al rapporto tra il momento risultante delle forze stabilizzanti e quello delle forze ribaltanti (adimensionale);

$\theta$  = angolo rappresentativo della pendenza della scarpata (°);

$\phi$  = angolo di riposo in acqua dei massi (°);

$\beta$  = angolo che la direzione di caduta del masso forma con la linea di massima pendenza della scarpata (°);

$\lambda$  = angolo di inclinazione del fondo alveo (°);

$\sigma, \sigma^*$  = numeri di stabilità del masso rispettivamente su sponda inclinata ed orizzontale (adimensionale);

$\tau$  = azione di trascinamento sul masso (kg/m<sup>2</sup>);

$u_r$  = velocità della corrente contro il masso (m/s);

$d_m$  = diametro del masso (m);  
 $\gamma_s$  = peso specifico dei massi ( $\text{kg/m}^3$ );  
 $\gamma$  = peso specifico dell'acqua ( $\text{kg/m}^3$ );  
 $g$  = accelerazione di gravità ( $\text{m/s}^2$ ).

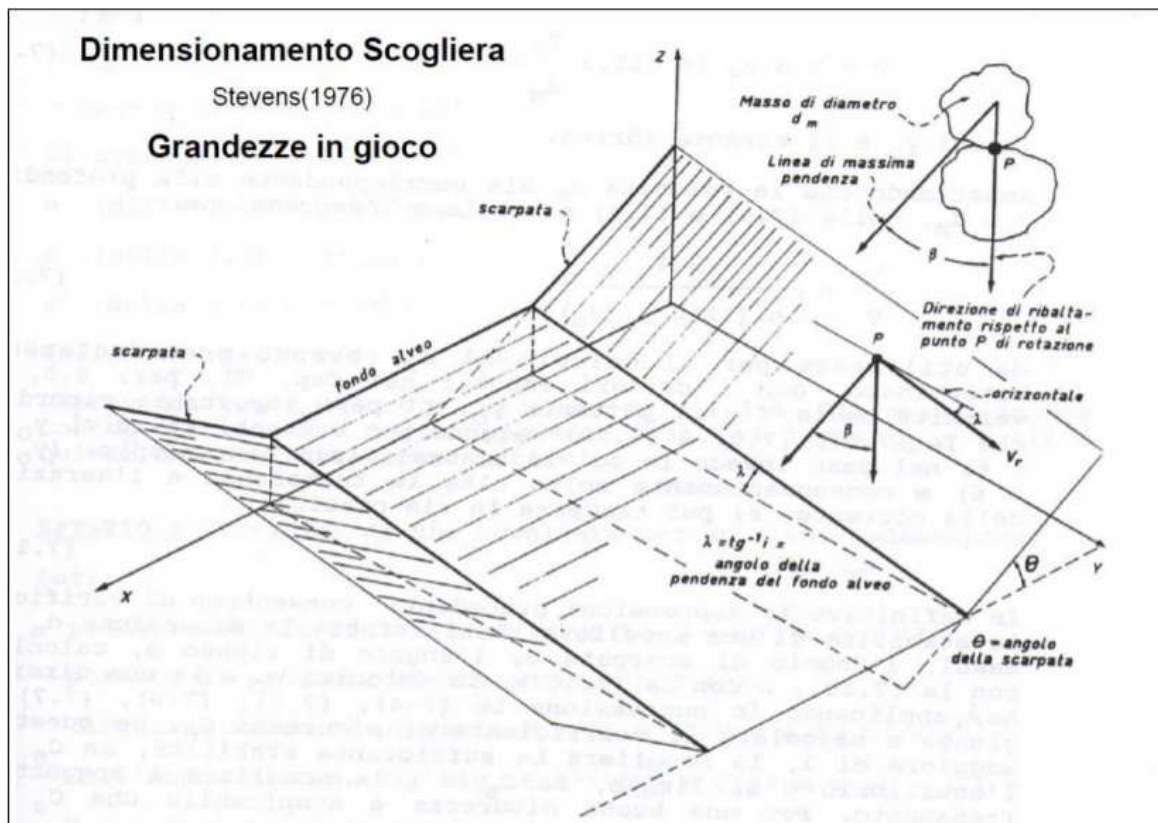


Figura 17: Grandezze in gioco nelle equazioni di Stevens (1976).

Nei riguardi della velocità  $u_r$  si può assumere  $u_r = v$  = velocità stimata per la corrente in alveo.

Sulla scorta di tale velocità è stato eseguito il dimensionamento dei massi della scogliera a protezione delle spalle utilizzando il già citato metodo.

Con il criterio di Stevens si può valutare la stabilità di una scogliera sulla base del valore risultante per il coefficiente di stabilità  $C_s$ :

- se  $C_s > 1$  la scogliera ha sufficiente stabilità (anche se per una buona sicurezza è auspicabile che in sede di progettazione si ricerchi un valore di  $C_s$  almeno pari ad 1.3);
- se  $C_s = 1$  l'equilibrio è al limite
- se  $C_s < 1$  la scogliera è soggetta a franamento.

Le immagini che seguono mostrano il campo di velocità nei pressi sponde destra e sinistra, nelle stesse si può osservare che:

- la velocità di verifica lungo il rilevato di sinistra può essere ipotizzata pari a 4.1 m/s.
- la velocità di verifica lungo il rilevato di destra può essere ipotizzata pari a 2.8 m/s

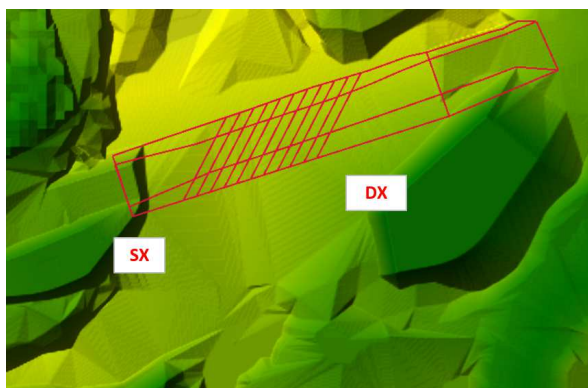


Figura 8-18: Zone a monte del guado dove è stata valutata la velocità della corrente lungo le sponde artificiali.

Sulla scorta di tali valori sarà quindi dimensionata la protezione spondale, i cui risultati sono presentati nelle seguenti tabelle.

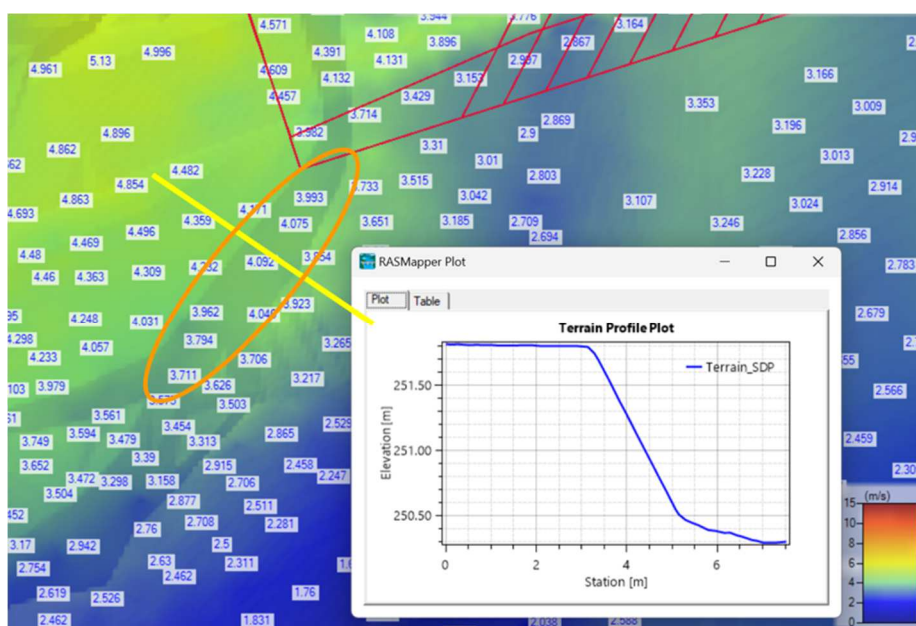


Figura 8-19: Campo di moto e pendenza del rilevato nei pressi della sponda sinistra a monte del guado.

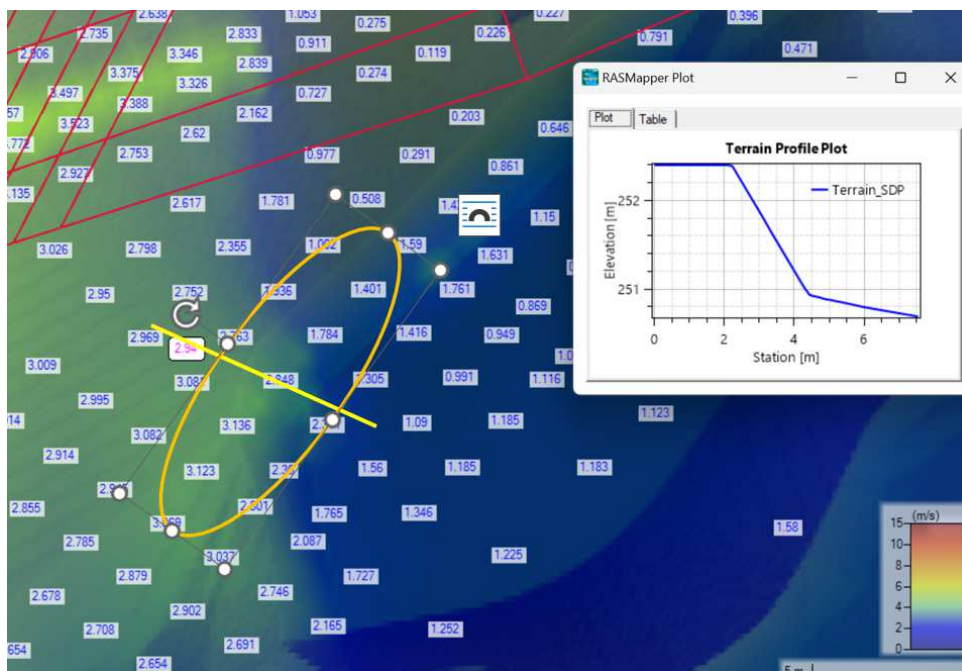


Figura 8-20: Campo di moto e pendenza del rilevato nei pressi della sponda destra a monte del guado.

Nelle tabelle che seguono sono indicati i dati di dimensionamento e il coefficiente di sicurezza ottenuto per l'intervento previsto.

<i>Sponda SX</i>								
<i>Dati</i>			<i>Angoli</i>			<i>Risultati</i>		
$v$	[m/s]	4.1		[°]	[RAD]	$\sigma$	[-]	0.40
$\gamma$	[kg/m <sup>3</sup> ]	1000	$\theta$	34.00	0.593	$\sigma^*$	[-]	0.29
$\gamma_s$	[kg/m <sup>3</sup> ]	2600	$\varphi$	55.00	0.960	<b>Cs</b>	[-]	1.29
$d_{50}$	[m]	0.8	$\lambda$	0.00	0.000			
$i$	[-]	0.00	$\beta$	27.15	0.474			

<i>Sponda DX(A)</i>								
<i>Dati</i>			<i>Angoli</i>			<i>Risultati</i>		
$v$	[m/s]	3		[°]	[RAD]	$\sigma$	[-]	0.22
$\gamma$	[kg/m <sup>3</sup> ]	1000	$\theta$	34.00	0.593	$\sigma^*$	[-]	0.14
$\gamma_s$	[kg/m <sup>3</sup> ]	2600	$\varphi$	55.00	0.960	<b>Cs</b>	[-]	1.61
$d_{50}$	[m]	0.8	$\lambda$	0.00	0.000			
$i$	[-]	0.00	$\beta$	15.35	0.268			

Figura 8-21: dimensionamento della massicciata antierosione.

**Per quanto le verifiche di dimensionamento poc'anzi condotte mostrano la stabilità delle opere ( $CS > 1$ ), ad ulteriore garanzia della durabilità dell'opera di protezione i massi saranno cementati tra loro.**



## 9 MANUTENZIONE DELL'OPERA.

Il presente capitolo, dopo aver descritto le principali cause di ammaloramento di un guado artificiale, descrive gli interventi di manutenzione necessari e le relative scadenze temporali per assicurarne la durabilità e l'efficienza nel medio-lungo termine.

In linea di principio un guado lungo un corso d'acqua può presentare diverse criticità che nel medio - lungo termine ne compromettono la funzionalità e la sicurezza.

Tra queste l'azione erosiva della corrente può creare instabilità delle fondazioni in quanto l'acqua può dilavare il materiale che contorna tali opere, esponendole e rendendole vulnerabili. Analogamente le protezioni spondali come massi ciclopici possono venir movimentate o danneggiate, riducendo la loro capacità di proteggere le sponde dall'erosione.

Durante le piene il trasporto solido, ovvero la rototraslazione di materiali naturali quali sabbia, ghiaia e detriti, può causare l'accumulo degli stessi in specifiche aree riducendo la capacità di deflusso e contemporaneamente facendo variare la morfologia del corso d'acqua. La dislocazione di tali sedimenti e/o del materiale da costruzione costituenti l'opera stessa possono quindi deviare il flusso dell'acqua, concentrando l'erosione in aree specifiche causando danni localizzati. Tale processo è quanto avvenuto al manufatto esistente.

Inoltre, durante le piene (ordinarie e/o straordinarie) l'impatto tra l'opera e il materiale, trasportato dal campo di moto della corrente, può danneggiare la superficie viabile del guado e/o delle sue protezioni, richiedendo interventi di riparazione.

In aggiunta a quanto descritto, nel medio-lungo termine, l'azione abrasiva dell'acqua e dei sedimenti può causare l'usura della superficie del guado stesso, riducendone la durabilità.

Nel caso specifico lungo il paramento di valle del manufatto il copriferro di calcestruzzo è stato dilavato esponendo le armature all'azione erosiva dell'acqua e degli agenti atmosferici.

***Per tali motivi la manutenzione del manufatto richiede un approccio integrato che includa ispezioni regolari, interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, nonché misure preventive per mitigare i rischi associati all'erosione, al trasporto solido e ai danni strutturali. Tali interventi ne garantiscono una duratura fruibilità.***

***Gli interventi di manutenzione possono essere quindi suddivisi in tre categorie principali:***

- ***manutenzione ordinaria***
- ***manutenzione straordinaria***
- ***interventi di emergenza.***

Nel seguito se ne individuano le caratteristiche principali e le scadenze temporali raccomandate.

**La manutenzione ordinaria comprende attività regolari e programmate per mantenere il guado in buone condizioni operative.** Tra esse si annoverano:

- le ispezioni visive che sono costituite da controlli periodici volti a identificare segni di usura, danni strutturali e l'ostruzione delle tubazioni. Si raccomanda di svolgere tale attività ogni 6 mesi.
- la pulizia del guado che comprende attività come la rimozione di detriti, della vegetazione e dei sedimenti accumulati che potrebbero ostacolare il flusso dell'acqua. Si raccomanda di svolgere tale attività ogni 12 mesi, con interventi aggiuntivi dopo eventi meteorologici significativi.
- la verifica delle protezioni spondali che è costituita da controlli visivi e dalle riparazioni dei rilevati rivestiti con massi ciclopici. Si raccomanda di svolgere tale attività ogni 24 mesi o dopo eventi meteorologici significativi.

**La manutenzione straordinaria riguarda interventi più complessi e meno frequenti, necessari per riparare o sostituire parti del guado che hanno subito danni significativi.** Tra essi si annoverano:

- le riparazioni strutturali dovuti a fessurazioni e/o deformazioni della struttura. Si raccomanda di svolgere tale attività ogni 5 anni, o in base alle condizioni rilevate durante le ispezioni.
- il ripristino del piano d'appoggio delle fondazioni per mezzo dell'aggiunta di adeguati materiali lapidei o cementizi. Si raccomanda di svolgere tale attività ogni 10 anni, o in base alle condizioni rilevate durante le ispezioni.
- la rimozione e la sostituzione di elementi deteriorati o danneggiati. Si raccomanda di svolgere tale attività ogni 10-15 anni, o in base alle condizioni rilevate durante le ispezioni.

**Gli interventi di emergenza sono da condurre ogni qualvolta eventi eccezionali rendano l'opera inagibile.** Hanno carattere temporaneo ma devono permettere l'utilizzo del manufatto in completa sicurezza.

## 10 CONCLUSIONI

Dalle analisi condotte nel presente elaborato *si può concludere che il ripristino del guado di attraversamento del Fiume Cecina, sito nel comune di Radicondoli (SI) e ubicato sul percorso della Strada Comunale di Anqua:*

- *a seguito delle lavorazioni risponderà alle necessità operative del Proponente; e che le stesse non sono dissimili da quelle previste nel precedente progetto già autorizzato e realizzato nel 2006, Rif.[1] e [2].*
- *attualmente l'opera rientra in un tratto fluviale fasciato dal P.G.R.A. Per tal motivo si è reputato opportuno verificare tale interferenza per mezzo di modellazioni idrauliche bidimensionali di dettaglio nelle configurazioni pre e post ripristino per Tr 200 anni.*
- *il confronto tra i modelli idraulici allo Stato di Fatto (SDF) e di Progetto (SDP) hanno mostrato che per l'evento di riferimento (Tr 200 anni):*
  - *le opere di ripristino non modificano in maniera sostanziale le aree di esondazione rispetto all'attuale configurazione autorizzata*
  - *che le condizioni di livello e velocità nella situazione attuale (SDF) e nella futura configurazione di ripristinato (SDP) non si discostano significativamente tra loro.*

*Al fine di garantire la durabilità dell'opera e la Proponente Società EGPI prevede di farne un'adeguata manutenzione, secondo quanto indicato nel capitolo 9, che ne garantirà l'utilizzo per un ampio periodo dell'anno.*

*Il guado sarà inibito al traffico veicolare non autorizzato dal Proponente anche durante i periodi di magra.*