CONSORZIO DI BONIFICA 5
TOSCANA COSTA

COMUNE DI BIBBONA
PROVINCIA DI LIVORNO

Fosso della Madonna: Sistemazione e casse di espansione. Interventi strutturali atti alla messa in sicurezza previa progettazione a scala di bacino. Completamento L.265/95. Sistemazione idraulica del Fosso della Madonna in Comune di Bibbona – LOTTO 1 – CUP: G57H09001470007

PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato 1 – Relazione generale

R.T.P. fra D.R.E.Am. Italia e Ing. Simone Chionchini

Ing. Simone Galardini
Ing. Chiara Chiostrini
Ing. Federico Orlandini
Arch. Niccolò Contri
Dott. For. Lorenzo Mini
Ing. Simone Chionchini – CSP e CSE

Responsabile Unico del Procedimento

Ing. Roberto Benvenuto

Codice 09515	**Emesso** Galardini	**D.R.E.AM. Italia** Via Garibaldi, 3 Pratovecchio Stia (Ar) - Tel. 0575 52.95.14 Via Enrico Bindi n.14, Pistoia – Tel 0573 36.59.67 http://www.dream-italia.it AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE QUALITÀ CERTIFICATO DA DNV GL = ISO 9001 =
Rev. 00	**Controllato** Chiostrini	
Data Giugno 2022	**Approvato D.T.** Miozzo	

D.R.E.AM. ITALIA

Sommario

PREMESSA *2*

1. SINTESI PARERI DECRETO ESCLUSIONE V.I.A. *3*

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE *9*

3. DESCRIZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI *11*

4. PROGETTO DELLA CASSA D'ESPANSIONE DELL'ING. COLOMBI DEL 1997 ..... *20*

5. INQUADRAMENTO URBANISTICO *22*

6. INQUADRAMENTO ARCHEOLOGICO *25*

7. VINCOLI E CLASSIFICAZIONI CHE INTERESSANO L'AREA *26*

7.1 Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D. 3267/23 e L.R. 39/00 ..... *26*

7.2 Vincoli paesaggistici ex L. 1497/39 ed ex L. 431/85 ..... *26*

7.3 Il sistema delle aree naturali protette *29*

8. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI *30*

9. SINTESI DELLA MODELLAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA *38*

9.1 Modellazione idrologica *38*

9.2 Modellazione idraulica *42*

PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione generale del progetto definitivo "Fosso della Madonna: Sistemazione e casse d'espansione. Interventi strutturali atti alla messa in sicurezza previa progettazione a scala di bacino. Completamento L.265/95 – Sistemazione idraulica del Fosso della Madonna e Fosso degli Alberelli in Comune di Bibbona" relativamente Lotto 1, che riguarda esclusivamente gli interventi di adeguamento della cassa d'espansione esistente e le opere connesse e funzionali.

L'iter progettuale degli interventi a scala di bacino del Fosso della Madonna risulta particolarmente articolato: infatti, una prima versione del progetto redatta dall'Ing. Simone Chionchini, era stata oggetto di rilascio di omologa da parte del Genio Civile di Livorno; a seguito dell'adeguamento alle nuove portate desunte dallo studio idrologico ed idraulico dell'RU del Comune di Bibbona si è reso necessario l'aggiornamento di detta progettazione, che è avvenuta tramite redazione di un progetto definitivo completo redatto da D.R.E.Am. Italia su incarico del Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa e del Comune di Bibbona, suddiviso in tre lotti funzionali, di cui il primo relativo alla cassa d'espansione, il secondo a carico del Fosso della Madonna a valle della cassa d'espansione ed il terzo per le opere sul Fosso degli Alberelli.

Il progetto definitivo nella sua interezza è stato sottoposto a procedura di verifica di assoggettabilità a VIA; in corso di procedimento, a seguito di alcune criticità relative alle maggiori portate a valle della S.S. 1 Aurelia conseguenti all'attuazione dei lotti 2 e 3 si è deciso di *stralciare momentaneamente questi due, e pertanto il procedimento si è concluso con l'esclusione dalla VIA per il Lotto 1*.

Il presente progetto definitivo del Lotto 1 costituisce pertanto l'aggiornamento progettuale degli interventi a seguito della chiusura del procedimento di esclusione da VIA, ed è pertanto finalizzato all'indizione della conferenza dei servizi per le autorizzazioni da parte degli enti competenti e per l'omologa idraulica da parte del Genio Civile Valdarno

La progettazione si basa su modellazione idraulica effettuata con schema di moto accoppiata 1D-2D, con le nuove portate riprese dal Regolamento Urbanistico del Comune di Bibbona, con

sezioni e piano quotato dello stato di fatto ricavate dal rilievo topografico fornito dal Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa ed effettuato dal Geom. Righi, aggiornato a seguito di una prima campagna di rilievo nel 2011 ed una successiva nel 2016 per quanto riguarda il Fosso della Madonna, e da un rilievo topografico ex novo effettuato da D.R.E.Am. Italia nel luglio 2021.

A valle delle verifiche idrauliche condotte, sono state determinate le criticità idrauliche allo stato attuale della cassa nella configurazione geometriche definite nel progetto redatto dall'Ing. Colombi. Sulla base delle criticità rilevate sullo stato attuale sono state successivamente effettuate le simulazioni di stato di progetto, con individuazione degli interventi necessari per il suo adeguamento funzionale.

1. SINTESI PARERI DECRETO ESCLUSIONE V.I.A.

Con Decreto n. 9320 in data 17.05.2022 la Regione Toscana ha emesso il procedimento conclusivo di esclusione da V.I.A. del progetto, relativamente al Lotto 1. Si riporta di seguito una sintesi dei pareri rilasciati dai vari Soggetti Competenti.

Ente	Contributo	Ottemperanza
2i Rete Gas spa	Viene trasmessa copia della cartografia delle reti gas con evidenziato in rosso la rete di bassa pressione ed in giallo quella di media, le cui informazioni contenute e/o ricavabili dalle suddette cartografie devono essere considerate riservate aziendali e protette; chiede in fase di scavo, di adottare tutte le precauzioni necessarie a preservare l'integrità delle tubazioni gas di propria competenza	Viene verificato puntualmente nell'elaborato relativo alle interferenze eventuali criticità e modalità di risoluzione
TIM spa	Comunica che nella zona interessata dai lavori esistono interferenze geometriche con linee telefoniche. Per quanto riguarda la profondità di posa dei cavi tlc sotterranei in linea generale quelli direttamente in trincea, o in tubi predisposti, sono posati a 0.8 mt nelle carreggiate stradali e a 1 mt negli attraversamenti. In ogni caso gli impianti di tlc sotterranei dovranno essere opportunamente segnalati sul posto preliminarmente all'esecuzione dei lavori di scavo e di posa (per evitare danni agli impianti esistenti), richiedendo l'attività all'Ufficio Focal Point mediante l'apposito portale web. Nulla osta ai lavori in oggetto purché siano rispettate le norme in vigore negli incroci, nei parallelismi e negli avvicinamenti con i ns. impianti, in particolare per quelli comunque rilevabili a vista (cavi e cavetti d'abbonato aerei)	Viene verificato puntualmente nell'elaborato relativo alle interferenze eventuali criticità e modalità di risoluzione. Prima dell'inizio dei lavori si contatterà il Focal Point
Terna Spa	Esprime posizione favorevole, con le seguenti	Viene verificato puntualmente

Ente	Contributo	Ottemperanza
	indicazioni "Aspetti progettuali: eventuali variazioni dei piani di campagna dovranno essere compatibili con il nostro elettrodotto nel rispetto del D.M.21.03.1988 n°449. Segnaliamo che i nostri conduttori sono da ritenersi costantemente alimentati ad alta tensione e che l'avvicinarsi ad essi a distanze inferiori a quelle previste dalle vigenti disposizioni di legge (artt. 83 e 117 del D.lgs. n°81 del 09.04.2008) ed alle norme CEI EN 50110 e CEI 11-27 sia pure tramite l'impiego di attrezzi, materiali e mezzi mobili (con particolare riguardo all'utilizzo di gru e escavatori), costituisce pericolo mortale.	nell'elaborato relativo alle interferenze eventuali criticità e modalità di risoluzione
Settore Autorizzazioni ambientali	Nel proprio contributo del 16/12/2021 richiama le norme riguardanti i cantieri (art. 39 comma 2 lettera b, del Regolamento Regionale 46/R) e in particolare quelli sopra i 5.000 mq (punto 1 della Tab. 6 allegato 5 del Reg. Reg. 46/r) e le aree invece escluse dall'attività di cantiere ai sensi del comma 5 dell'art. 40 ter del Reg. Reg. 46/r (allegato 5 tabella 6 punto 1). Per quanto riguarda le emissioni in atmosfera, rimanda ad ARPAT per le specifiche indicazioni in merito, ricordando che nella gestione del cantiere si dovranno adottare tutti gli accorgimenti atti a ridurre la produzione e la diffusione delle polveri	L'area di cantiere è inferiore a 5.000 mq e pertanto non si applica il Regolamento Regionale 46/R
Settore Autorità di gestione FEASR	Non evidenzia problematiche ostative in relazione alle materie agricole di competenza, richiama l'opportunità di programmare anticipatamente gli interventi e di avvisare tempestivamente le aziende agricole dell'inizio dei lavori, al fine di dare l'opportunità ai titolari dei terreni di operare le scelte colturali e le azioni di adattamento più appropriate per limitare l'impatto dei lavori connessi alla costruzione delle opere previste. Raccomanda infine che al termine dei lavori i cantieri siano tempestivamente smantellati, le aree di cantiere e quelle eventualmente destinate allo stoccaggio dei materiali ripristinate, al fine di ricreare le condizioni di originaria fertilità dei suoli ed idoneità alla coltivazione	L'inizio dei lavori sarà comunicato con congruo anticipo ed il cantiere dismesso al termine dei lavori
Settore Tutela della natura e del mare	Considerato che l'intervento si colloca al di fuori dei siti natura 2000 e delle aree protette e precisamente, a distanza di circa 4.000 metri dalla porzione di valle del Lotto 1 e di circa 1.600 m dalla porzione terminale del Lotto 2 e Lotto 3 dalla ZPS IT5160003 Tombolo di Cecina, vista la distanza e la tipologia dell'opera proposta è possibile prevedere che l'intervento non abbia effetti significativi sui siti e quindi non si ritiene necessaria la presentazione dello studio di incidenza	Non si produce lo studio di incidenza
Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale	In riferimento al PGRA si conferma quanto espresso nel contributo istruttorio richiamato in premessa, prot. n. 9952 del 20/12/2021, e si segnala che ai sensi degli artt. 7 e 9 della Disciplina di PGRA 2021-2027 nelle successive fasi progettuali, questa Autorità di bacino esprimerà il parere di competenza in merito all'aggiornamento del quadro conoscitivo e al	L'Autorità di Distretto è un ente invitato alla Cds per il rilascio del proprio parere

Ente	Contributo	Ottemperanza
	conseguente riesame delle mappe di pericolosità derivante dalla realizzazione degli interventi previsti dal progetto. A tal riguardo si richiamano i contenuti dell'Allegato 3, nonché le procedure previste dall'art. 14 della disciplina di Piano.	
Azienda USL Toscana nord ovest	l'Azienda USL Toscana nord ovest, nel proprio contributo del 27/12/2021 esprime posizione favorevole rilevando che l'intervento non presenta significative criticità per quanto concerne l'aspetto di tutela sanitaria della popolazione, soprattutto in considerazione della bassissima densità abitativa delle aree interessate; l'intervento per la sua tipologia non presenta infatti caratteristiche tali da suscitare osservazioni da parte della USL	Parere favorevole
RFI spa	La realizzazione del solo Lotto n.1 comporta la riduzione di buona parte degli allagamenti in destra idraulica e dalla documentazione integrativa si deduce anche una riduzione del tirante idrico con un Tr=200 anni al ponte ferroviario sul Fosso della Madonna. Pertanto considerato che il completamento del Lotto n.1 costituisce una fase transitoria del più ampio intervento di messa in sicurezza a scala di bacino del Fosso della Madonna e visti i benefici comunque apportati all'infrastruttura ferroviaria si esprime parere favorevole con l'auspicio che i progetti dei Lotti successivi proseguano senza soluzione di continuità.	Sulla progettazione dei lotti 2 e 3 si cercherà di coinvolgere RFI per condividere le impostazioni generali
Settore Tutela, Riqualificazione e Valorizzazione del paesaggio	Evidenzia che la tipologia delle opere non è in contrasto con i contenuti del PIT-PPR, migliorando la sicurezza idraulica e mantenendo la rete idraulica esistente, tuttavia, al fine di migliorare la funzionalità ecosistemica e valorizzare il paesaggio di pianura della bonifica, come indicato dalla Seconda Invariante strutturale e dagli obiettivi della Scheda d'ambito n. 13, fornisce le seguenti indicazioni: "- di evitare dove possibile l'abbattimento delle specie arboree di maggiore maturità; - di provvedere all'inerbimento delle sponde delle nuove arginature ed al completo ripristino delle aree di cantiere oggetto di occupazione temporanea; - di rafforzare la dotazione vegetale attraverso la piantumazione di nuove specie arbustive, localizzate dove non interferiscano con la funzionalità idraulica delle opere in oggetto; - per le opere di tenuta idraulica previste per attraversamento del Fosso della Madonna in corrispondenza con la SP15 della Camminata (percorso fondativo e direttrice secondaria storica e paesaggistica), ma non approfondite in questa fase del progetto, prevedere strutture rivestite con paramento in laterizio, recuperando lo stilema dagli attraversamenti attualmente presenti e sostituiti da scatolari in c.a., come segno identitario della pianura della Bonifica	Si prende atto delle indicazioni. Relativamente agli attraversamenti questi ricadono nel lotto 2 e pertanto non sono oggetto di progettazione
Settore Forestazione. Agroambiente	Rileva che l'area oggetto di intervento non è caratterizzata da vincolo idrogeologico di cui al R.D: 3267/1923; alcuni tratti delle sponde del Fosso della	

Ente	Contributo	Ottemperanza
	Madonna e degli Alberelli sono mappati come caratterizzati da area boscata (perimetrazione meramente ricognitiva delle aree boscate – fonte uso suolo regione Toscana 2016. Tuttavia, gli interventi previsti non sono soggetti a autorizzazione poiché eseguiti in alveo in area demaniale idrica. Il progetto così come presentato non attiene materie di competenza del Settore	
Genio civile Valdarno inferiore	Parere favorevole con le seguenti prescrizioni: • l'inserimento di sezioni interpolate nel tratto a monte della cassa; • i parametri assunti nella modellazione dei ponti; • la rispondenza della geometria implementata nella simulazione con quanto rappresentato nelle tavole progettuali • chiarire in primis che si procederà ad un trattamento di "stabilizzazione" a calce e non di semplice "miglioramento", in considerazione della natura di opera idraulica. In secondo luogo, sempre alla luce di quanto emerso rispetto ai criteri di accettabilità delle terre, si ritiene necessario che sia dimostrata, attraverso specifico studio di laboratorio, l'effettiva compatibilità della terra disponibile al suddetto processo di stabilizzazione a calce. Tale studio dovrà inoltre completarsi con le usuali prove di compattazione per la determinazione della densità secca e del contenuto d'acqua necessarie per la scelta della miscela terra-calce da adottare al fine di poter soddisfare i requisiti prestazionali definiti nel capitolato. Infine, sulla miscela adottata e compattata alla densità prefissata, sarà necessario condurre su almeno 3 campioni, dopo 28 giorni di maturazione, specifiche prove di taglio in cella triassiale (CID). Le prove dovranno essere eseguite sia su provini tal qualche su provini sottoposti a 5 cicli di imbibizione (4 giorni), essiccamento (24 ore) e completa saturazione per almeno 7 giorni (vedasi ad esempio Capitolato RFI-ITALFERR, 2009 o UNI EN 16907-4 Annex J.4, 2019). Ciò al fine della verifica diretta dei parametri di resistenza al taglio drenati adottati nella fase progettuale; • implementare l'analisi di filtrazione con la verifica della condizione di impegno delle arginature in termini di saturazione attraverso un raffittimento degli step di output per il tratto temporale compreso tra il massimo invaso e le prime 30 ore della curva di riempimento/svuotamento al fine di dimostrare univocamente che la condizione di massimo invaso sia effettivamente quella più sfavorevole su cui condurre l'analisi di stabilità.”;	Rispetto alla modellazione atto si recepisce le indicazioni. Rispetto alla modellazione geotecnica viene messo a carico dell'impresa l'effettuazione di prove sito specifiche per l'individuazione del corretto mix design con indicazioni prescrittive nel capitolato speciale d'appalto Si chiarisce quanto chiesto circa le verifiche di filtrazioni
ARPAT – Suolo e sottosuolo	Il proponente, come previsto dall'art. 11 del DPR 120/2017 dovrà procedere alla segnalazione dei superamenti riscontrati ai sensi dell'art. 242 del D.lgs. 152/06 e condividere un percorso di indagine con	Prima dell'inizio dei lavori si procederà con gli approfondimenti richiesti

Ente	Contributo	Ottemperanza
	ARPAT per la definizione dei valori di fondo/verifica della compatibilità dei superamenti rilevati con le condizioni geologiche, idrogeologiche del contesto territoriale. Per quanto riguarda l'unico e anomalo superamento delle CSC per il mercurio il proponente dovrà prevedere approfondimenti di indagine finalizzati a chiarire l'effettiva presenza o meno delle elevate concentrazioni riscontrate. Una volta effettuate le indagini di cui sopra potranno essere definite nel dettaglio le modalità di gestione dei materiali di scavo della cassa di espansione e la possibilità del loro riutilizzo in situ. Ai fini della verifica dell'applicabilità dell'art. 185, comma 3 D.Lgs. 152/06 per i sedimenti del Fosso della Madonna e del Fosso degli Alberelli, ricordando che il suddetto articolo riporta: "3. Fatti salvi gli obblighi derivanti dalle normative comunitarie specifiche, sono esclusi dall'ambito di applicazione della Parte Quarta del presente decreto i sedimenti spostati all'interno di acque superficiali o nell'ambito delle pertinenze idrauliche ai fini della gestione delle acque e dei corsi d'acqua o della prevenzione di inondazioni o della riduzione degli effetti di inondazioni o siccità o ripristino dei suoli se è provato che i sedimenti non sono pericolosi ai sensi della decisione 2000/532/CE della Commissione del 3 maggio 2000, e successive modificazioni" il proponente ha effettuato un test di cessione ai sensi del DM 05/02/1998 su due campioni di sedimenti indicati come terreno 1 (rappresentativo per i lotti 1 e 2 del Fosso della Madonna) e terreno 2 (rappresentativo per il lotto 3 del Fosso degli Alberelli). Si evidenzia che la normativa prevede che la verifica della non pericolosità sia effettuata ai sensi della decisione 2000/532/CE della Commissione del 3 maggio 2000, e successive modificazioni. Non può ritenersi esaustivo un test di cessione ai sensi del DM 05/02/98 relativo ai metalli. Si ritiene pertanto che debbano essere eseguiti approfondimenti eseguendo almeno tre campioni sul Fosso della Madonna e uno/due campioni (da valutare in relazione alla lunghezza del tratto da scavare) sul Fosso degli Alberelli e conducendo le analisi come previsto dalla normativa. Una volta effettuate le indagini di cui sopra potranno essere definite nel dettaglio le modalità di gestione dei sedimenti oggetto di scavo nel Fosso della Madonna e nel Fosso degli Alberelli.	
ARPAT – Ecosistemi	Si ritiene utile richiamare quanto già espresso riguardo la necessità di prevedere indicatori per i monitoraggi ambientali, quali la misurazione di parametri per la qualità chimico-fisica ed anche l'uso di indicatori biologici attraverso i quali valutare lo stato ecologico del corso d'acqua a seguito degli interventi. Si ritiene che debbano essere eseguiti rilievi a salvaguardia di un adeguato ricaccio della vegetazione autoctona. Conformemente con quanto di	Nel progetto esecutivo si prevederà un piano di monitoraggio ambientale post operam che il Consorzio dovrà attuare

Ente	Contributo	Ottemperanza
	competenza del Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa, l'attività di monitoraggio floristico dovrà proseguire post operam per il controllo della vegetazione aliena invasiva, per cui si suggerisce di prevedere indicatori in grado di monitorare la diffusione e colonizzazione di specie esotiche alloctone sulle aree di intervento	
ARPAT – Rumore e Atmosfera	Prima dell'inizio dei lavori, dovrà essere predisposta una documentazione con specifica valutazione di impatto acustico per quanto riguarda la fase di cantiere, che dettagli i transiti veicolari previsti, gli orari, le fasi operative, i relativi tempi, durate e macchinari utilizzati e verifichi il rispetto dei limiti di acustica ambientale presso i recettori più vicini e più impattati, indicando i possibili interventi o azioni di mitigazione acustica che saranno posti in atto per la riduzione delle emissioni sonore. Sulla base dei livelli ipotizzati dovrà essere valutata la necessità di predisporre una richiesta di autorizzazione in deroga presso il Comune di Bibbona di cui all'art. 2, comma 3 della l. 447/95, secondo quanto definito dall'art. 16 del D.P.G.R. n. 2/R/14 e secondo gli indirizzi riportati nell'allegato 4 dello stesso decreto. Per la fase di cantiere si richiama l'applicazione delle Linee dell'allegato 2 del PRQA che contiene una versione aggiornata delle "Linee Guida per la valutazione delle emissioni di polveri provenienti da attività di produzione, manipolazione, trasporto, carico o stoccaggio di materiali polverulenti" predisposte da ARPAT e adottate dalla Provincia di Firenze nel 2009, ormai impostesi nella prassi. Con l'introduzione formale nel PRQA le linee guida, pensate per individuare e quantificare le misure più idonee per mitigare le emissioni di polveri diffuse (in attuazione della Parte I dell'Allegato V, Parte V del Testo unico), diventano dunque cogenti e riferimento per tutto il territorio regionale	La ditta appaltatrice provvederà alla documentazione di impatto acustico ed all'eventuale richiesta di deroga Per le polveri l'impresa appaltatrice dovrà rispettare quanto indicato
Decreto esclusione VIA	Il proponente, **almeno trenta giorni prima dell'inizio dei lavori,** sentita l'impresa appaltatrice, deve presentare ad ARPAT e per conoscenza al Settore regionale VIA-VAS: a) un documento di approfondimento acustico della fase di cantiere, redatto da un Tecnico competente in acustica secondo le indicazioni del D.G.R. n. 857/2013, che dettagli i transiti veicolari previsti, gli orari, le fasi operative, i relativi tempi, durate e macchinari utilizzati e verifichi il rispetto dei limiti di acustica ambientale presso i recettori più vicini e più impattati, indicando i possibili interventi o azioni di mitigazione acustica che saranno posti in atto per la riduzione delle emissioni sonore. Sulla base dei livelli acustici ipotizzati potrà rendersi necessaria la richiesta di autorizzazione in deroga presso il	

Ente	Contributo	Ottemperanza
	Comune di Bibbona di cui all'art. 2, comma 3 della l. 447/1995, secondo quanto definito dall'art. 16 del D.P.G.R. n. 2/R/2014 e secondo gli indirizzi riportati nell'allegato 4 dello stesso decreto; b) gli approfondimenti e le elaborazioni afferenti alla corretta gestione delle terre e rocce da scavo e dei sedimenti fluviali, come individuati nel contributo istruttorio di ARPAT, riportato in premessa; (la presente prescrizione 1. è soggetta a verifica di ottemperanza a cura di ARPAT, che ne comunicherà gli esiti anche al Settore VIA regionale) 2. ai fini della richiesta di autorizzazione e di omologazione delle opere idrauliche in progetto, il proponente deve, sulla base del livello almeno definitivo della progettazione, fornire al Genio Civile gli approfondimenti idraulici e geotecnici indicati nei contributi del genio civile agli atti del procedimento e riportati in premessa al presente provvedimento; (la presente prescrizione 2. è soggetta a verifica di ottemperanza a cura di Settore Genio civile Valdarno inferiore, che ne comunicherà gli esiti anche al Settore VIA regionale)	

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area d'interesse è situata in Provincia di Livorno, in Comune di Bibbona e riguarda il tratto di Fosso della Madonna che va dal manufatto di attraversamento che conduce al Podere Fonte Nuova (poco a valle dell'abitato di Bibbona, con accesso dalla SP 15 della Camminata) fino alla Nuova Aurelia SS1 e del tronco di Fosso Alberelli dalla SP14 alla confluenza con il Fosso della Madonna.

I tratti sopra indicati riguardano l'estensione della modellazione idraulica eseguita, mentre gli interventi previsti nel primo lotto vanno dalla sezione 141 fino alla 139 per quanto riguarda opere minori di risagomatura ed adeguamento arginale, mentre le lavorazioni di adeguamento degli argini della cassa d'espansione sono compresi fra la sezione 139 e la sezione 128, posta in corrispondenza del ponticello a valle della cassa (Via Vicinale dei Poggiali).

Il lotto 2, ad oggi stralciato era invece a carico del Fosso della Madonna fra la sezione 128 fino alla sezione 111 in corrispondenza del ponte sulla S.P. Vecchia Aurelia, con alcuni interventi di

minore rilevanza nel tratto compreso fra la S.P. Vecchia Aurelia e la S.S. 1 Nuova Aurelia, con interventi di livellamento arginale.

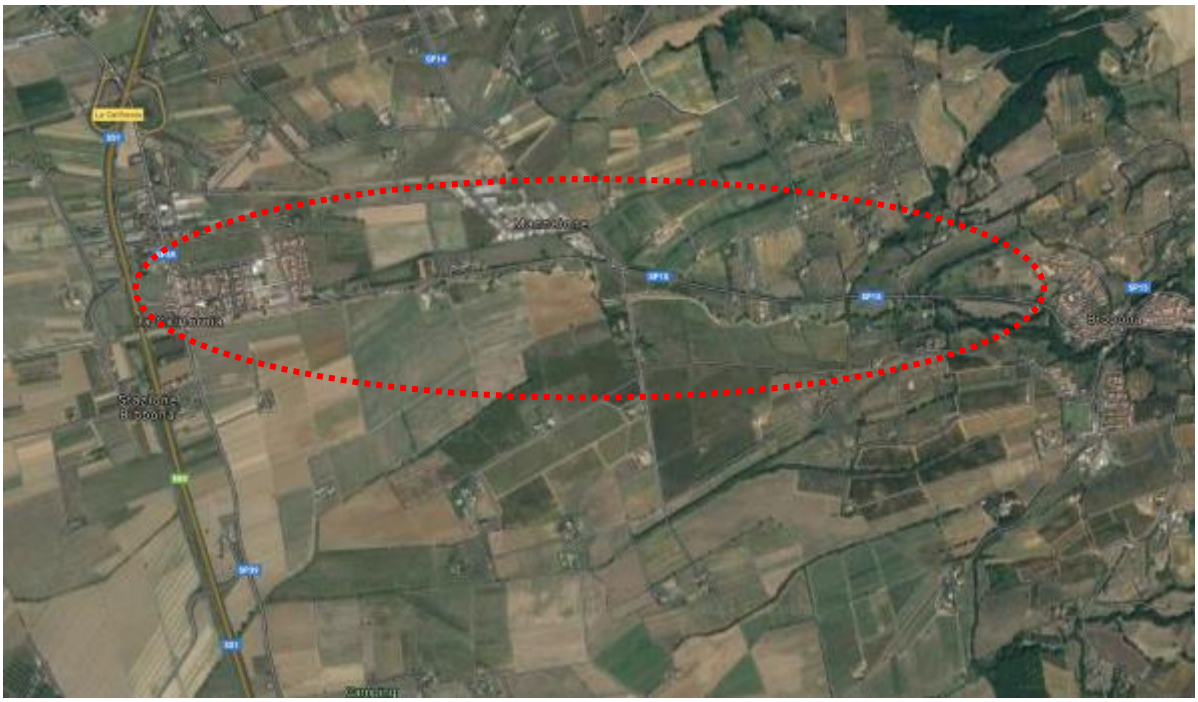

Figura 1 – Inquadramento generale dell'area

Il terzo stralcio funzionale, anch'esso ad oggi sospeso, riguardava invece il Fosso degli Alberelli, nel tratto da circa 100 m a monte della S.P. 14 fino alla confluenza con il Fosso della Madonna, con interventi di riprofilatura delle sezioni ed adeguamento di alcuni attraversamenti.

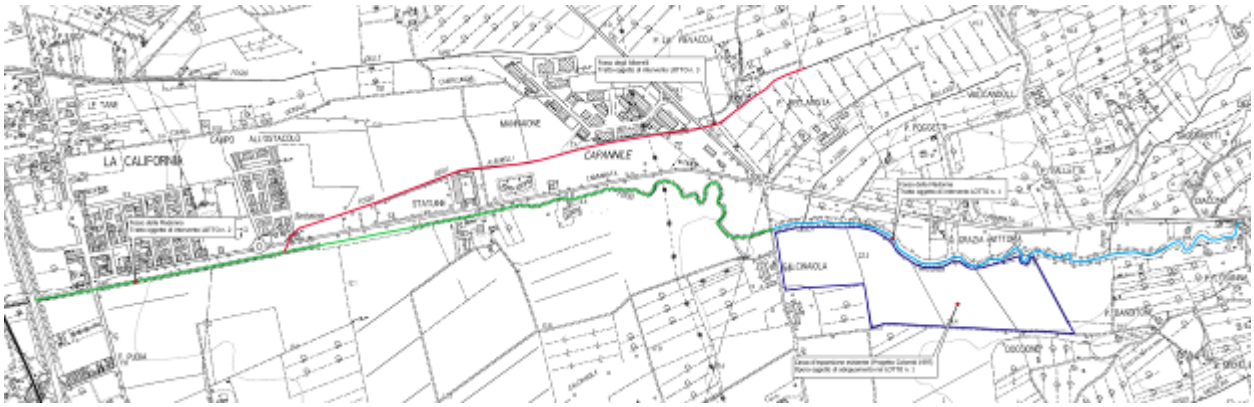

Figura 2 – Suddivisione dell'intervento in tre stralci funzionali di cui solo il primo è oggetto della presente progettazione

Tanto il Fosso della Madonna che i suoi affluenti principali ricadono nel reticolo idrografico della Regione Toscana, così come definito dalla LR 79/2012 e s.m.i..

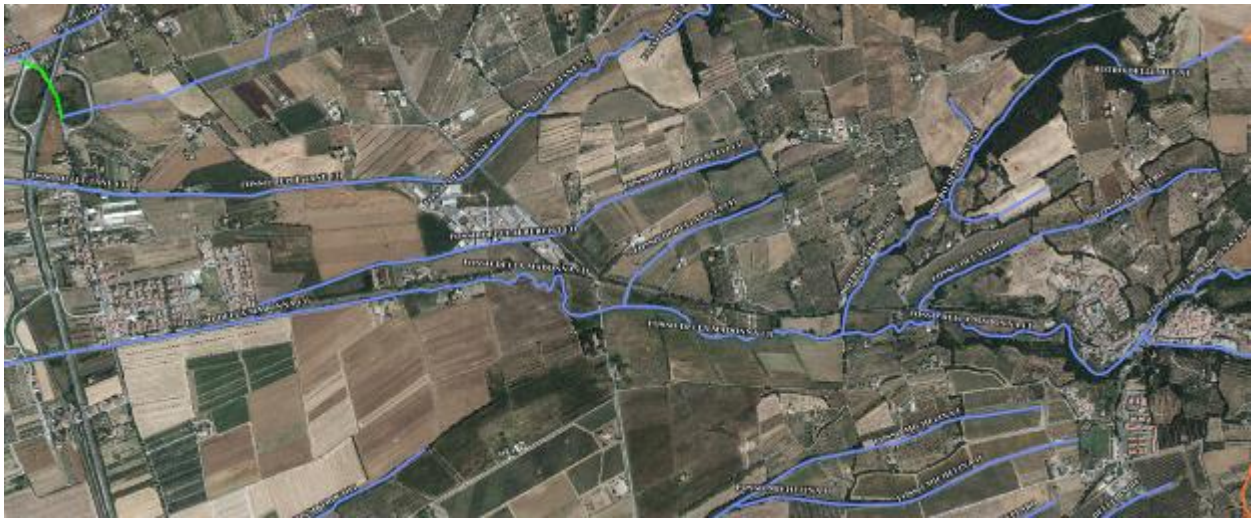

Figura 3 – Inquadramento rispetto al reticolo di cui alla L.R: 79/2012 e smi

3. DESCRIZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI

Il Fosso della Madonna scorre nella sua parte iniziale prevalentemente nella campagna piana di Bibbona, per poi lambire nel tratto terminale l'abitato della California e Marina di Bibbona.

Figura 4 – Fosso della Madonna nel tratto a monte della Vecchia Aurelia

A valle e nel tratto in corrispondenza del ponte sulla Aurelia il Fosso della Madonna corre su di un letto antropizzato che ha una forma rettilinea e regolare; salendo verso monte si trova un primo manufatto di attraversamento per accesso ad abitazione privata.

In alveo sono presenti alcuni sottoservizi di tipo principale quali attraversamenti di metanodotto e attraversamenti di linee elettriche. In corrispondenza di alcuni ponti sono collegate delle adduzioni idriche e telefoniche di secondaria importanza.

Figura 5 – Ponticello per accesso ad abitazione (sez. Hec Ras 116)

Proseguendo verso monte sono presenti due ulteriori attraversamenti, molto vicini l'uno all'altro, entrambi per accesso ad abitazioni private e contraddistinti nella modellazione idraulica con le sezioni 120 e 121.

Procedendo ulteriormente verso monte è presente un ponticello ad arco, che consente l'accesso alla Via Vicinale dei Poggiali, e rappresentato dalla sezione 128.

Figura 6 – Ponticello per accesso ad abitazione (sez. Hec Ras 120)

Figura 7 – Ponticello per accesso ad abitazione (sez. Hec Ras 121)

Figura 8 – Metanodotto con attraversamento aereo dell'alveo

Figura 9 – Sezione 128 modello Hec Ras

La cassa d'espansione oggetto di adeguamento è ubicata in sinistra idraulica a monte del ponticello di Via Vicinale dei Poggiali ed è compresa fra le sezioni 139 e 128 del Fosso della Madonna; l'opera, realizzata sulla base del progetto dell'Ing. Colombi, prevede una compartimentazione in due moduli, interconnessi da un argine intermedio dotato di sfioratore in gabbioni ed una tubazione di fondo.

Il modulo di monte è alimentato da uno sfioratore ad arco in gabbioni, in corrispondenza della sezione 137, mentre lo scarico è attuato a mezzo di tubazione di fondo fra posto in corrispondenza della sezione 130.1.

L'opera idraulica, realizzata a fine anni 90, non risulta adeguata alle più recenti disposizioni normative che prevedono la portata duecentennale, ed anche le portate di riferimento sono da considerarsi più alte, in virtù dell'incremento del trend di piovosità, come da aggiornamento delle LSPP del 2012.

Figura 10 – Interno cassa d'espansione esistente

Figura 11 – Sfioratore in gabbioni in ingresso esistente

Figura 12 – Pali dell'elettricità esistenti all'interno della cassa d'espansione

Il Fosso degli Alberelli si presenta con sezione in terra a forma prevalentemente trapezia, con attraversamenti stradali e campestri non adeguati e caratterizzati da accumuli di sedimenti; a valle della S.P. 14 in destra idraulica è presente una zona artigianale-industriale che presenta alcuni manufatti e pertinenze subito a ridosso della sponda.

L'andamento planimetrico del corso d'acqua è piuttosto regolare, salvo subire una brusca deviazione in corrispondenza della confluenza, con immissione nel fosso della Madonna con angolo di circa 60°.

La confluenza avviene subito a valle dell'attraversamento con la Strada Provinciale della Camminata n. 85, realizzato con manufatto a volta in mattoni, con luce di deflusso particolarmente ridotta rispetto alla sezione di deflusso di monte.

In generale tutto il tratto è interessato da vegetazione di tipo arbustivo, con prevalenza di canneto, con pochi esemplari arborei isolati presentì lungo le sponde, soprattutto in destra idraulica.

Figura 13 – Attraversamento del Fosso degli Alberelli con la SP della Camminata

Figura 14 – Fosso Alberelli - Presenza di manufatti in sponda destra a valle della SP 14

Figura 15 – Fosso Alberelli - Zona artigianale industriale in riva destra a valle della SP 14

Figura 16 – Attraversamento della SP 14 con manufatto completamente occluso da sedimenti

Tutto il tratto d'interesse è caratterizzato da una pericolosità P3 e P2 ai sensi del P.G.R.A. dell'Autorità di Distretto dell'Appennino Settentrionale, così come confermato dalle verifiche idrauliche di stato attuale condotte nel presente progetto definitivo.

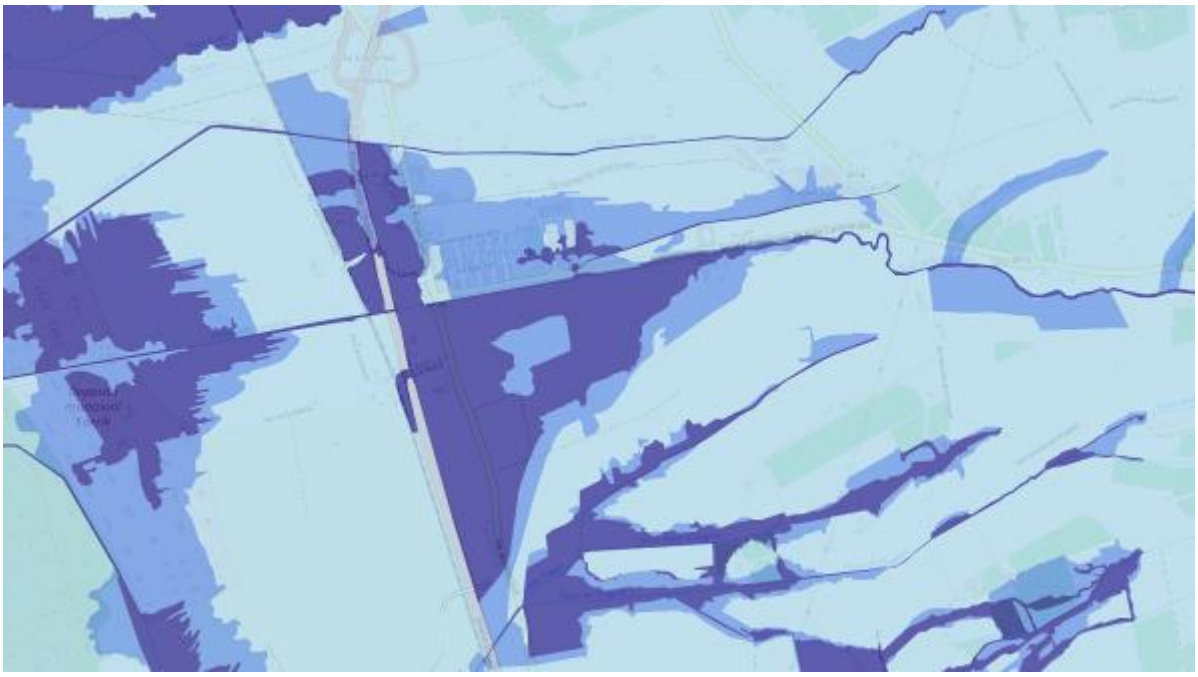

Figura 17 – Inquadramento PGRA vigente

4. PROGETTO DELLA CASSA D'ESPANSIONE DELL'ING. COLOMBI DEL 1997

Come detto il progetto riguarda l'adeguamento funzionale dell'opera di regolazione realizzata dall'Amministrazione Provinciale di Livorno sulla base del progetto redatto dall'Ing. Colombi nel 1997. Il progetto, finalizzato alla riduzione del rischio idraulico per l'abitato della California e per la viabilità primaria e la linea ferroviaria esistente, consisteva nella realizzazione di un'area ad esondazione controllata e più precisamente da due casse d'espansione in serie, separate da un rilevato arginale dotato di manufatto sfioratore e scarico di fondo in località Calcinaiola.

Le portate di piene stimate dall'Ing. Colombi e con cui è stata dimensiona l'opera presentano un picco di piena di 38.25 mc/s per la Tr 10 anni, 69.60 mc/s per la Tr 100 anni e 83.40 mc/s per la Tr 200 anni in corrispondenza dell'immissione del Fosso delle Bugne, ovvero nei pressi del manufatto di sfioro. Le verifiche idrauliche condotte dall'Ing. Colombi presentavano criticità in tutto il tronco analizzato, con sezioni e manufatti non adeguati al transito della portata di piena, tanto da rendere necessaria la regolazione del corso d'acqua con casse di laminazione. Il progetto dell'Ing. Colombi ha previsto la compartimentazione dell'area di esondazione controllata in due moduli, separati da un rilevato arginale dotato di manufatto sfioratore e scarico di fondo munito di paratoie; la scelta di realizzare due moduli fu dettata da esigenze altimetriche al fine di mantenere contenuta l'altezza degli argini circondariali.

La restituzione della cassa avviene mediante scarico a gravità, munito di paratoia a ventola e affiancato da uno stramazzo di sicurezza, con arginature aventi larghezza in sommità di 2.0 m e scarpa 1:1.25, con una banca di 3.0 metri in fregio al corso d'acqua per la manutenzione del Fosso della Madonna.

La superficie delle casse è stata estesa a circa 9.5 ettari con un volume di invaso di 112.000 mc per l'evento centennale e di circa 250.000 mc per il tempo di ritorno duecentennale. Il volume del rilevato messo in opera risulta invece circa 15.700 mc.

I calcoli condotti dall'Ing. Colombi hanno portato alla definizione della quota di sfioro in ingresso a 24.78 m slm, con una lunghezza dello sfioratore di 20 m, mentre lo stramazzo intermedio e quello di sicurezza con lunghezza rispettivamente di 10 e 9 metri.

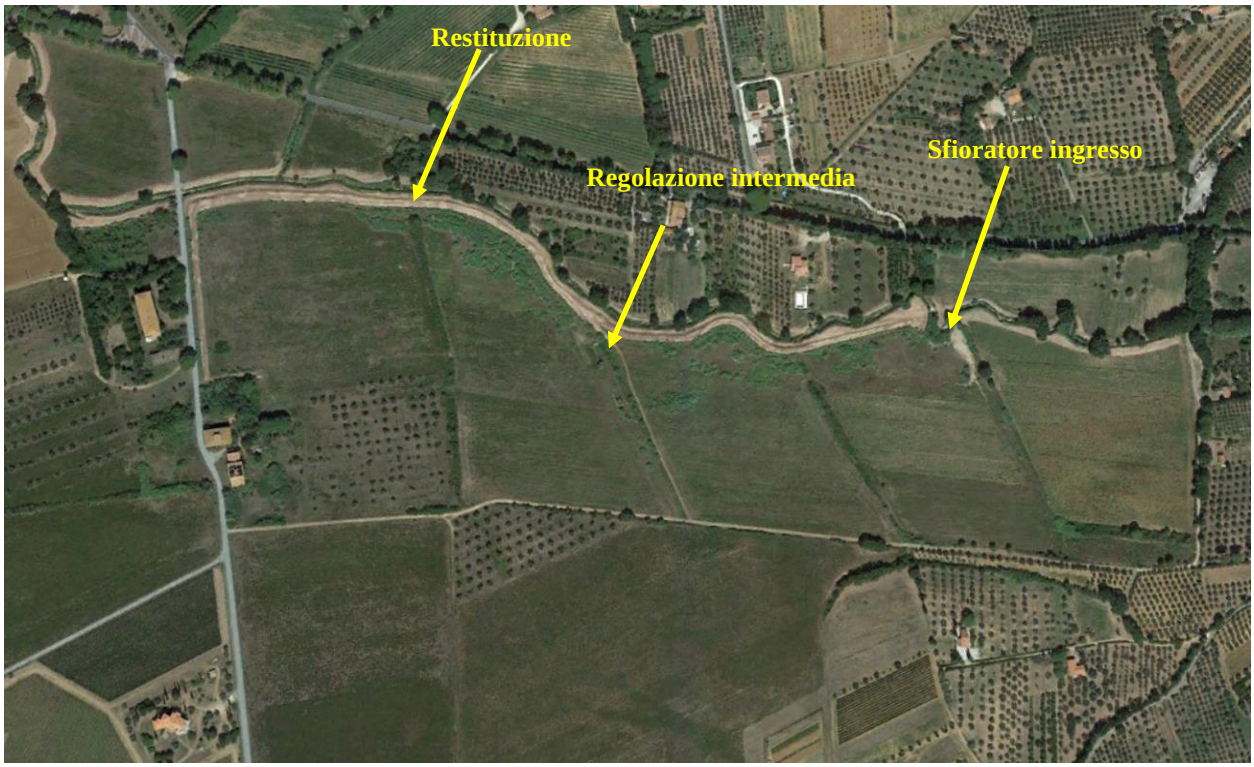

Figura 18 – Vista aerea della cassa d'espansione esistente, realizzata sulla base del progetto Ing. Colombi 1997

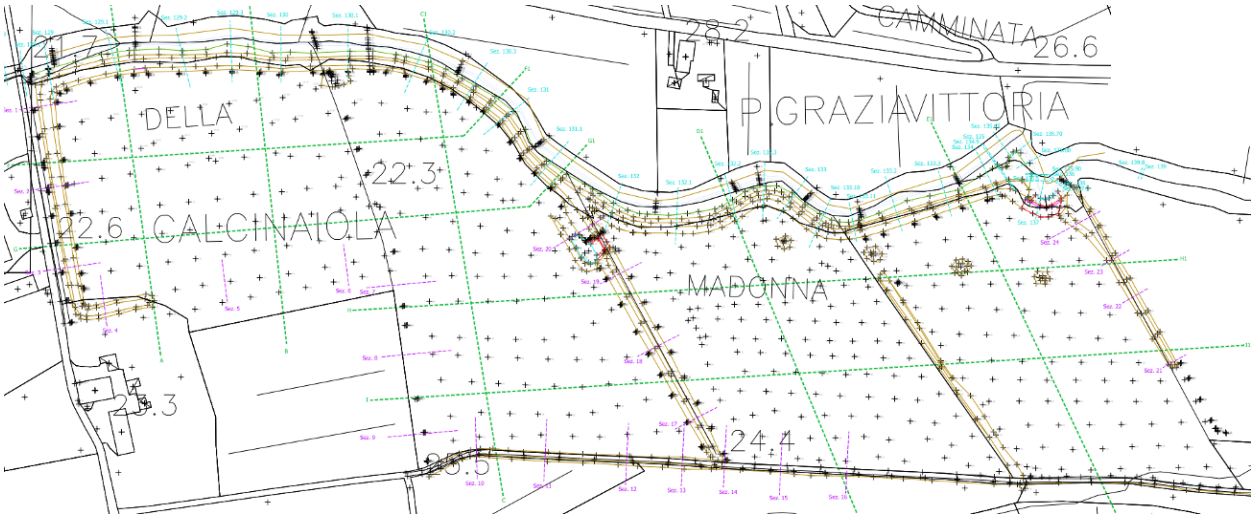

Figura 19 – Rilievo stato di fatto con rappresentazione su piano quotato dei manufatti della cassa d'espansione esistente

Da un punto di vista catastale il progetto prevedeva l'acquisizione da parte della Regione Toscana delle sole aree interessate dai rilevati (arginature circondariali) e delle piste di servizio, risultate complessivamente pari a 1.315 ettari, mentre per le aree soggette ad esondazioni (pari a 9.5 ettari) viene previsto un compenso "una tantum" a fronte degli eventuali mancati raccolti.

Le aree interne non sono state pertanto espropriate, ma i terreni sono stati asserviti ad allagamento, potendo gli stessi essere condotti a fini agricoli, in virtù della scarsa frequenza di allagamento.

5. INQUADRAMENTO URBANISTICO

Il Regolamento Urbanistico è lo strumento con il quale l'Amministrazione Comunale disciplina le trasformazioni degli assetti insediativi, infrastrutturali ed edilizi del proprio territorio. Esso traduce le direttive e gli indirizzi operativi in norme operative e prescrizioni, fino alla scala del singolo lotto e del singolo edificio, precisando almeno i seguenti elementi: destinazioni d'uso, tipi di intervento, assetto morfologico e principio insediativo, strumenti d'attuazione.

Il Regolamento Urbanistico del Comune di Bibbona vigente, al netto di varianti che non hanno interessato le aree oggetto di progetto, è aggiornato all'approvazione del Consiglio Comunale del 30.3.2018.

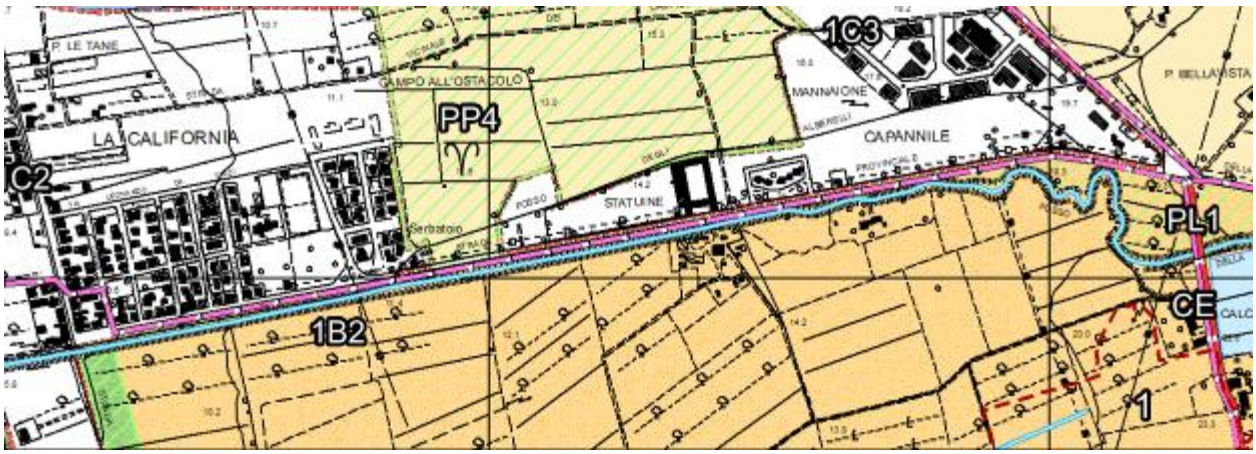

Figura 20 - Estratto della Tavola 1A Territorio Aperto dell'RU del Comune di Bibbona in rapporto alla parte terminale del Fosso della Madonna e del Fosso degli Alberelli

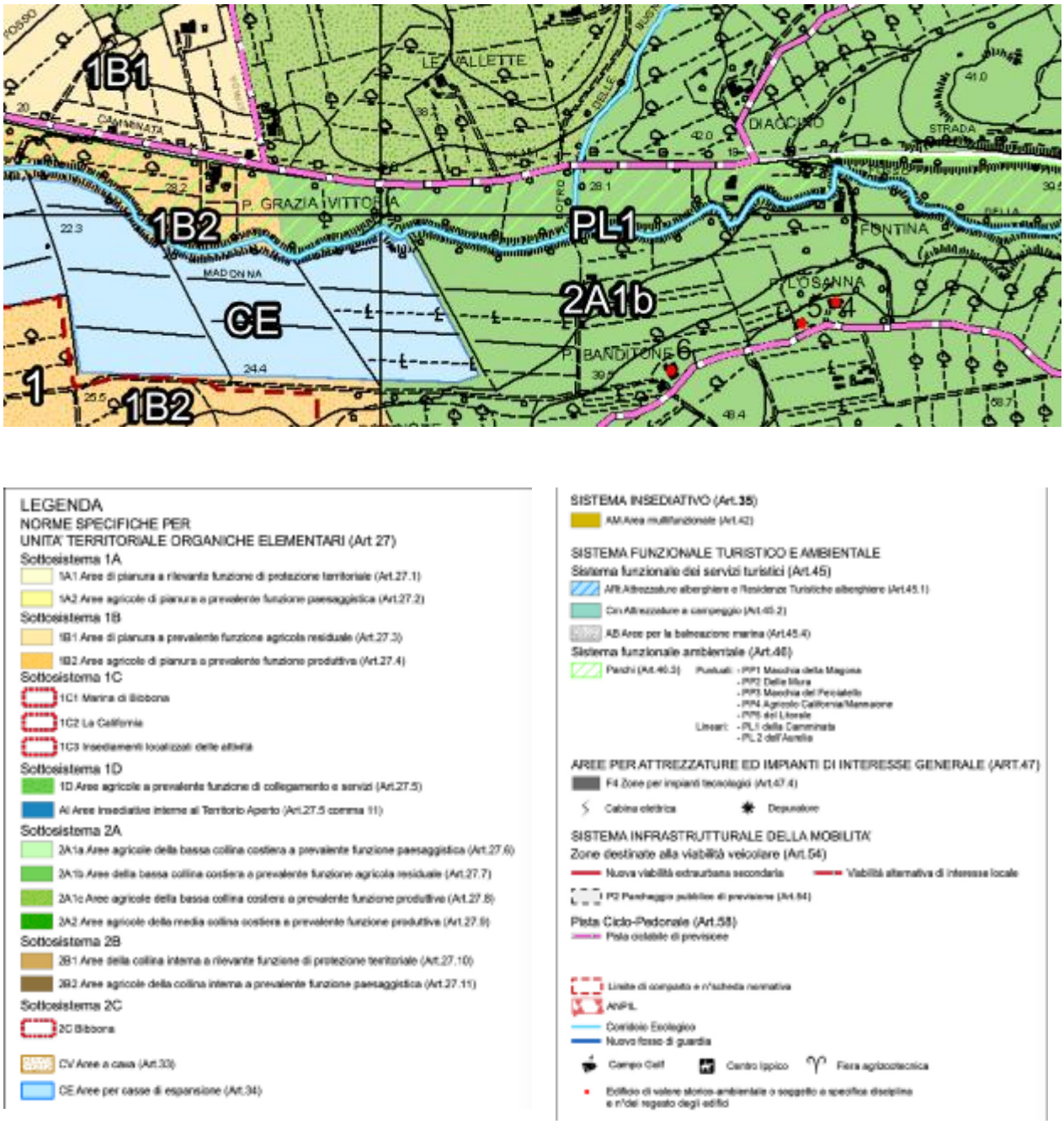

Figura 21 - Estratto della Tavola 1B Territorio Aperto dell'RU del Comune di Bibbona in rapporto alla parte iniziale del Fosso della Madonna

Figura 22 - Estratto della Tavola 3 Sistemi insediativi – UTOE 1C2 La California

Figura 23 - Estratto della Tavola 4 Sistemi insediativi – UTOE 1C3 Insediamenti localizzati delle attività

D Aree per le attività produttive (Art.40)
- D1 Aree produttive di completamento (Art.40.1)
- D2 Aree produttive di completamento derivanti da Piani Attuativi approvati o in via di approvazione (Art.40.2)
- D3 Aree produttive per nuovi insediamenti (Art.40.3)

RQ Aree di Riqualificazione Urbanistica (Art.38)
- RQ1 Area di recupero e riqualificazione urbana (Art.38.1)
- RQ2 Aree di riqualificazione ambientale (Art.38.2)

E Aree agricole interne al sistema insediativo (Art.44)
- E0 Aree produttive agricole interne al sistema insediativo (Art.44.1)
- E1 Aree di frangia e prevalentemente inedificate integrative degli insediamenti (Art.44.2)

6. INQUADRAMENTO ARCHEOLOGICO

A gennaio 2017, su commissione del Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa, è stato realizzato uno *Studio di archeologia preventiva per la realizzazione della cassa di espansione* dallo studio Chirico Colombini Associati. Bibbona nasce in età etrusca e le prime tracce antropiche ritrovate nell'area risalgono all'età eneolitica. La zona di interesse è stata interessata nel tempo da ritrovamenti sporadici ma non associabili a siti, per cui si presume che il Fosso della Madonna abbia trasportato materiale archeologico al di fuori del contesto primario.

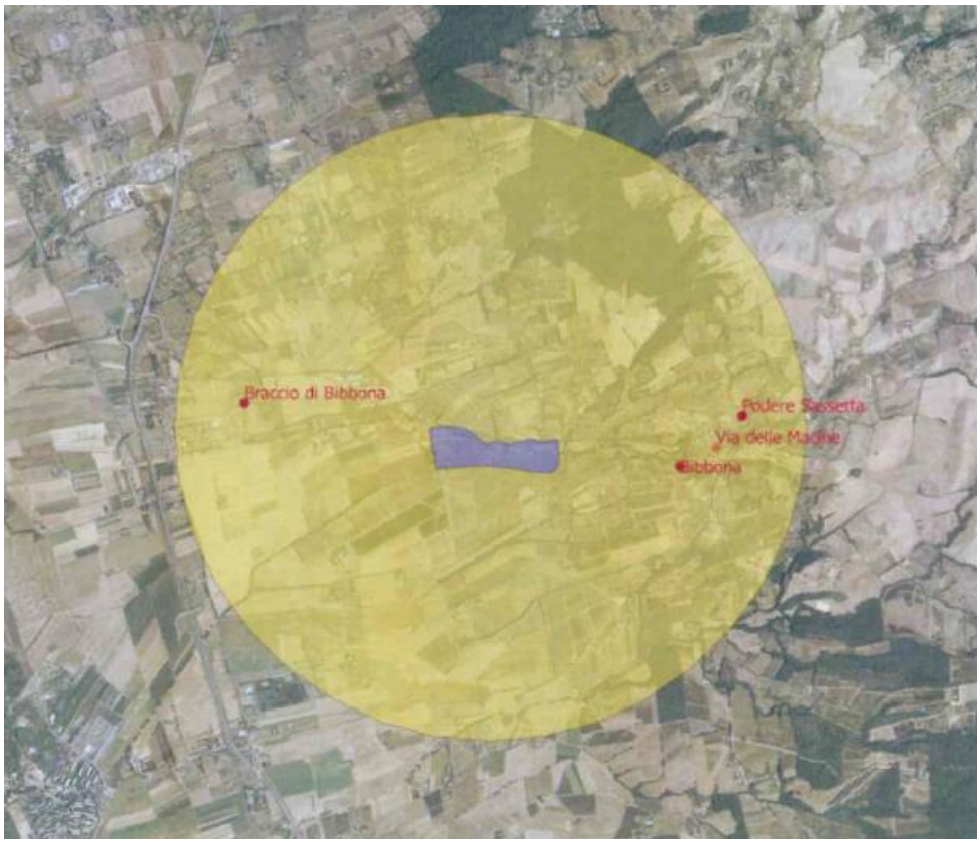

Figura 24 – Ritrovamenti archeologici nell'area di interesse

Tale studio, combinando i dati provenienti da un'analisi del contesto geomorfologico, di quello storico-archeologico, dalla natura dei lavori e da una ricognizione superficiali, attribuisce all'opera un **rischio archeologico medio -basso, pari a 1,5**, in una scala da 1 (rischio minimo) a 3 (rischio massimo). Ciò anche in ragione del fatto che l'area oggetto di intervento è già stata sottoposta a precedenti attività di scavo, al momento della realizzazione dell'attuale cassa di espansione, senza ritrovamenti di sorta

7. VINCOLI E CLASSIFICAZIONI CHE INTERESSANO L'AREA

7.1 Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D. 3267/23 e L.R. 39/00

L'area oggetto di intervento non è caratterizzata da vincolo idrogeologico di cui al R.D: 3267/1923; alcuni tratti delle sponde del Fosso della Madonna e degli Alberelli sono mappati come caratterizzati da area boscata (perimetrazione meramente ricognitiva delle aree boscate – fonte uso suolo regione Toscana 2016. Tuttavia, gli interventi previsti non sono soggetti a autorizzazione poiché eseguiti in alveo in area demaniale idrica.

Figura 25: Estratto della perimetrazione Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D. 3267/23

7.2 Vincoli paesaggistici ex L. 1497/39 ed ex L. 431/85

Dalla consultazione della cartografia del PIT, emerge che i tre lotti di intervento non insistono su aree vincolate dal D.Lgs 42/2004 e s.m.i..

Nei tratti dei corsi d'acqua d'intervento e nell'area della cassa verranno effettuati, come da progetto, delle riprofilature di sezione, dei ringrossi arginali e delle leggere sopraelevazioni che innalzeranno la sommità arginale a quota di sicurezza. Tali interventi in generale non alterano la visione d'insieme della morfologia del corso d'acqua.

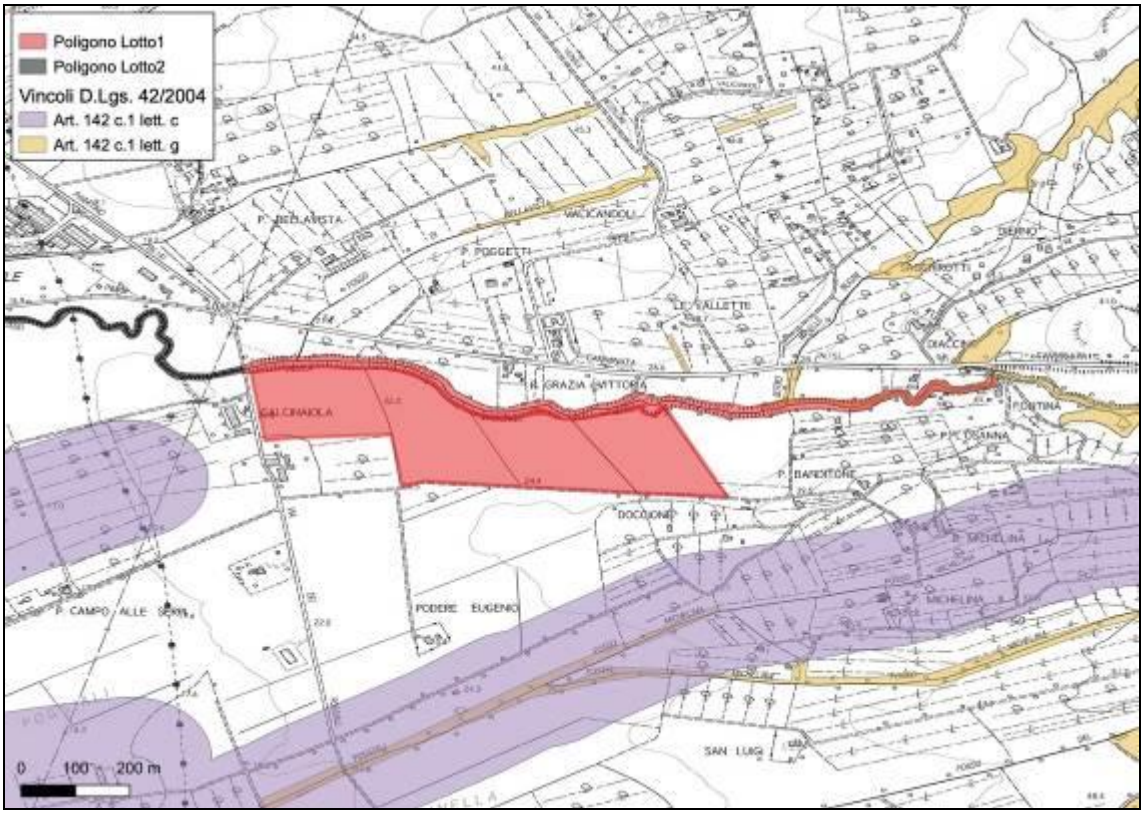

Figura 26 - Localizzazione delle aree vincolate di cui al D.Lgs. 42/2004 e s.m.i. art. 142 in rapporto al Lotto di intervento n. 1.

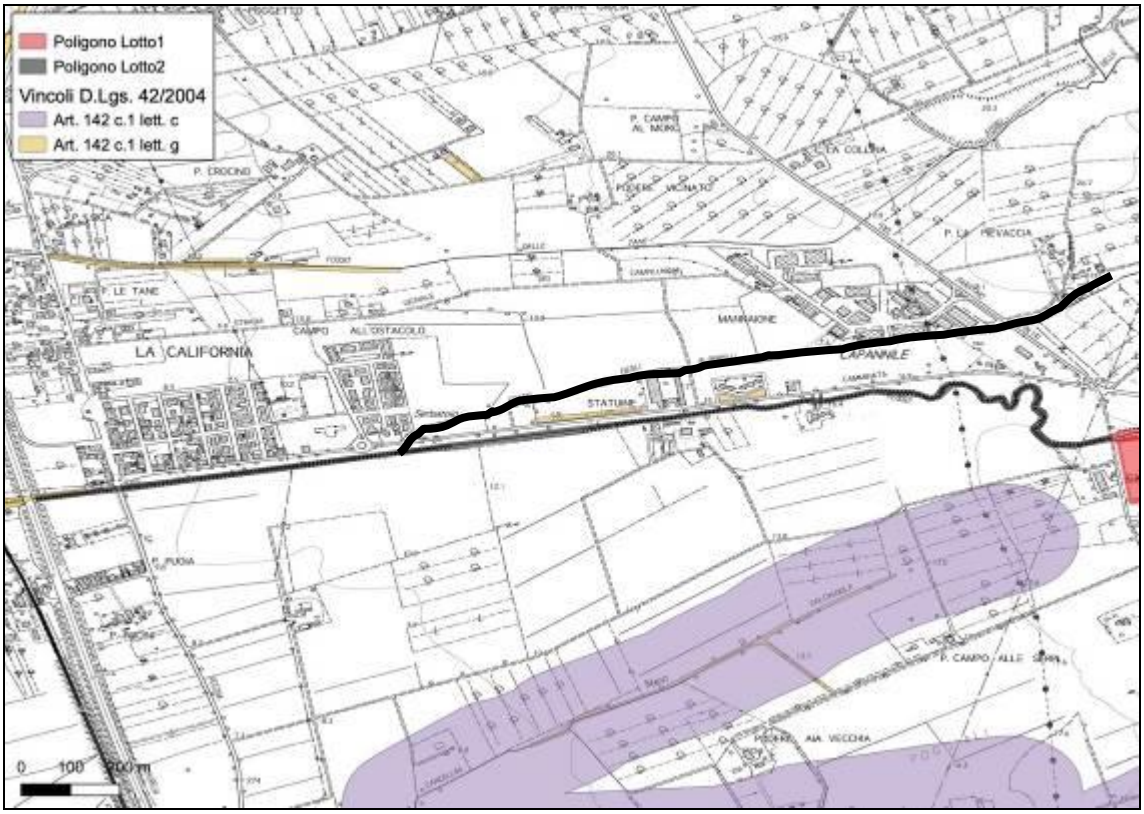

Figura 27 Localizzazione delle aree vincolate di cui al D.Lgs. 42/2004 e s.m.i. art. 142 in rapporto al Lotto di intervento n. 2 e 3 (stralciati)

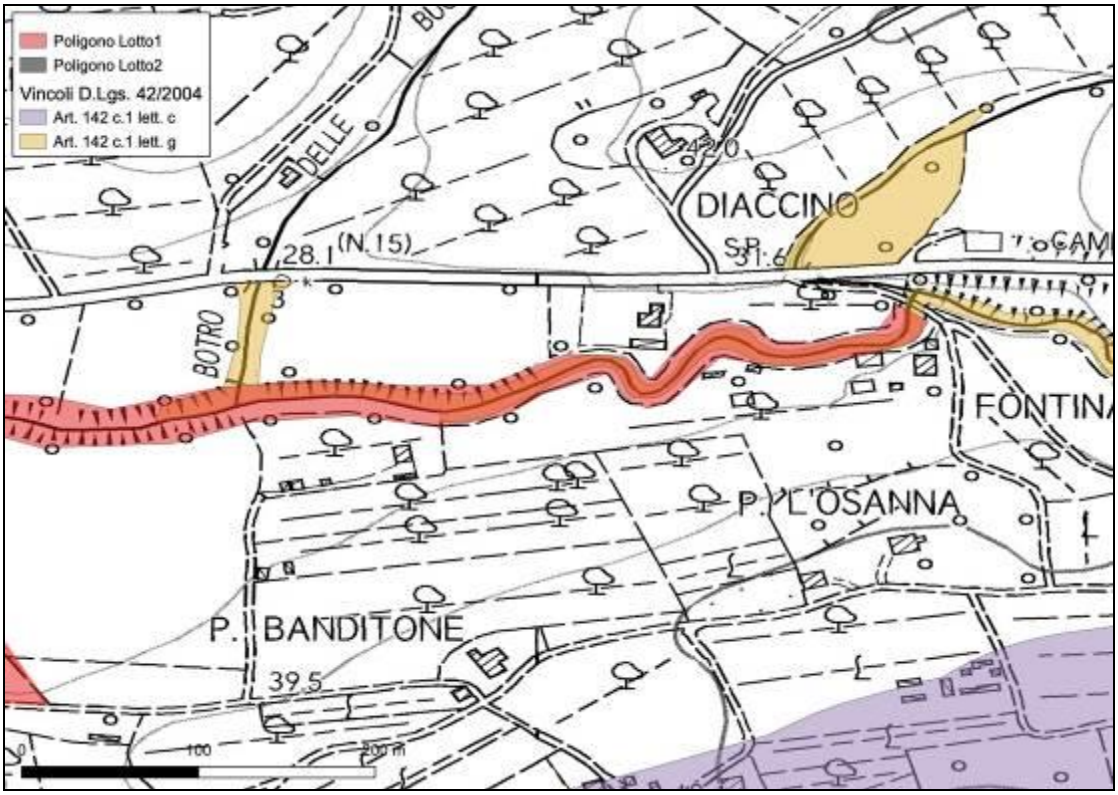

Figura 28 Tratto del Lotto 1: interferenza con le aree vincolate di cui al D.Lgs. 42/2004 e s.m.i. art. 142, comma 1, lettera g.

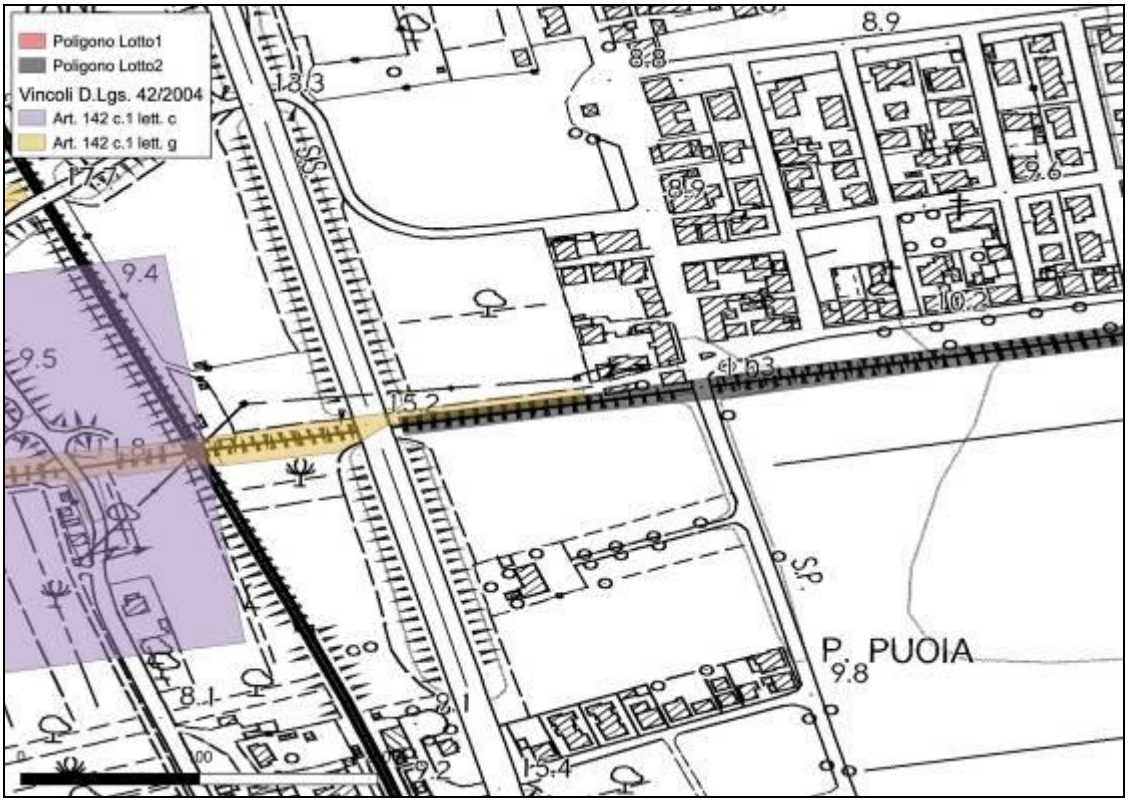

Figura 29 Tratto del Lotto 2: interferenza con le aree vincolate di cui al D.Lgs. 42/2004 e s.m.i. art. 142, comma 1, lettera g (stralciato)

7.3 Il sistema delle aree naturali protette

Le aree oggetto di intervento non risultano essere comprese all'interno dei confini di aree naturali protette a livello nazionale, regionale o locale. Inoltre non sono presenti aree protette neanche nelle zone più a valle rispetto alle aree di intervento, pertanto non si evidenzia connessione alcuna tra aree di intervento ed aree naturali protette. Il territorio oggetto di intervento (Lotto 1) non risulta essere compreso all'interno di aree della Rete Natura 2000. Si precisa però che il Fosso della Madonna nel suo tratto terminale, ossia 4.000 metri più a valle rispetto alle aree di intervento, è compreso all'interno della ZPS IT5160003 Tombolo di Cecina.

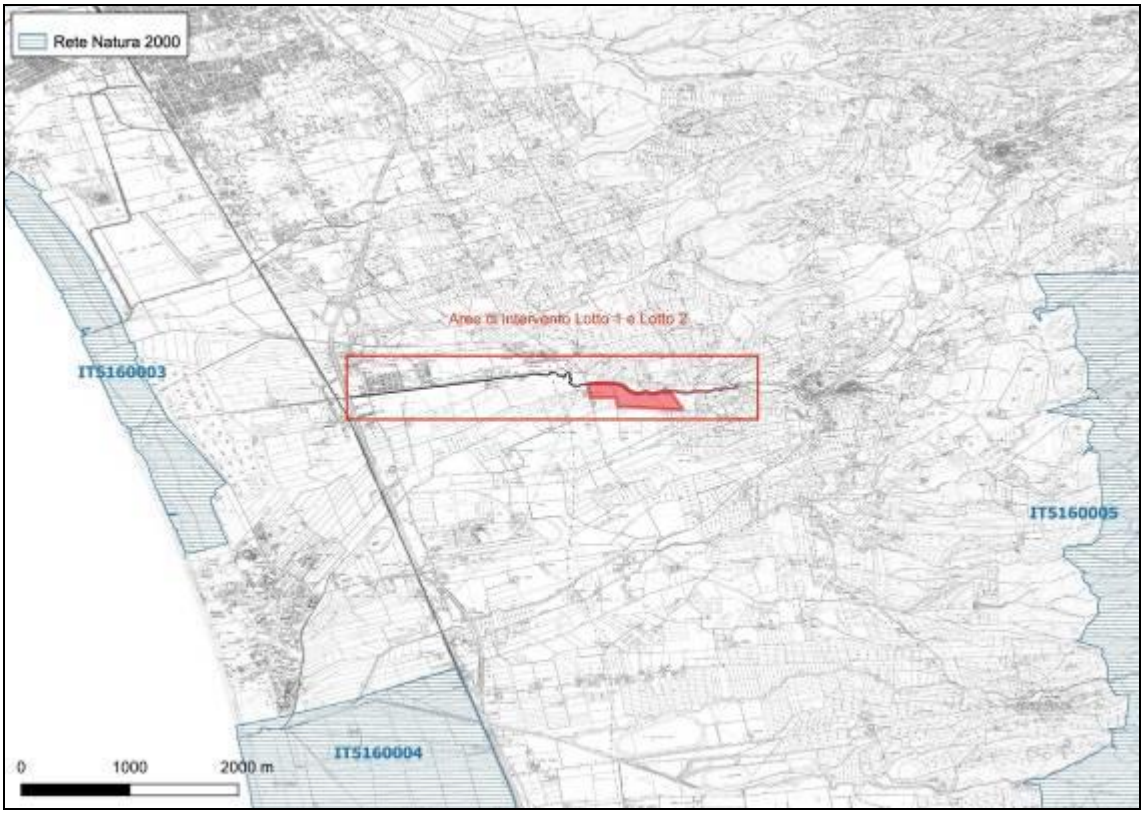

Figura 30 - Le aree Natura 2000 in rapporto alle zone oggetto di progetto

Si prende atto del parere del Settore Tutela della Natura e del Mare, rilasciato sul procedimento di esclusione di assoggettabilità a VIA: "*Considerato che l'intervento si colloca al di fuori dei siti natura 2000 e delle aree protette e precisamente, a distanza di circa 4.000 metri dalla porzione di valle del Lotto 1 e di circa 1.600 m dalla porzione terminale del Lotto 2 e Lotto 3 dalla ZPS IT5160003 Tombolo di Cecina, vista la distanza e la tipologia dell'opera proposta è possibile prevedere che l'intervento non abbia effetti significativi sui siti e quindi non si ritiene*

necessaria la presentazione dello studio di incidenza".

8. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI

Il lotto 1 prevede sostanzialmente attività di approfondimento del sedime della cassa esistente, al fine di aumentarne la capacità di invaso, congiuntamente ad operazioni di rialzo e ringrosso arginale; per alimentare la cassa verrà demolito lo sfioratore di ingresso in gabbioni, con posa di un nuovo sfioratore con nucleo in terra e rivestimento in scogliera cementata, con lunghezza e quota di sfioro adeguata alle nuove portate e derivanti dal dimensionamento idraulico. Anche il manufatto di regolazione intermedio e la restituzione sarà adeguato alle dimensioni derivanti dalla modellazione idraulica, così come le sezioni del Fosso della Madonna fronte cassa d'espansione saranno riprofilate e risagomate per consentire il transito della portata.

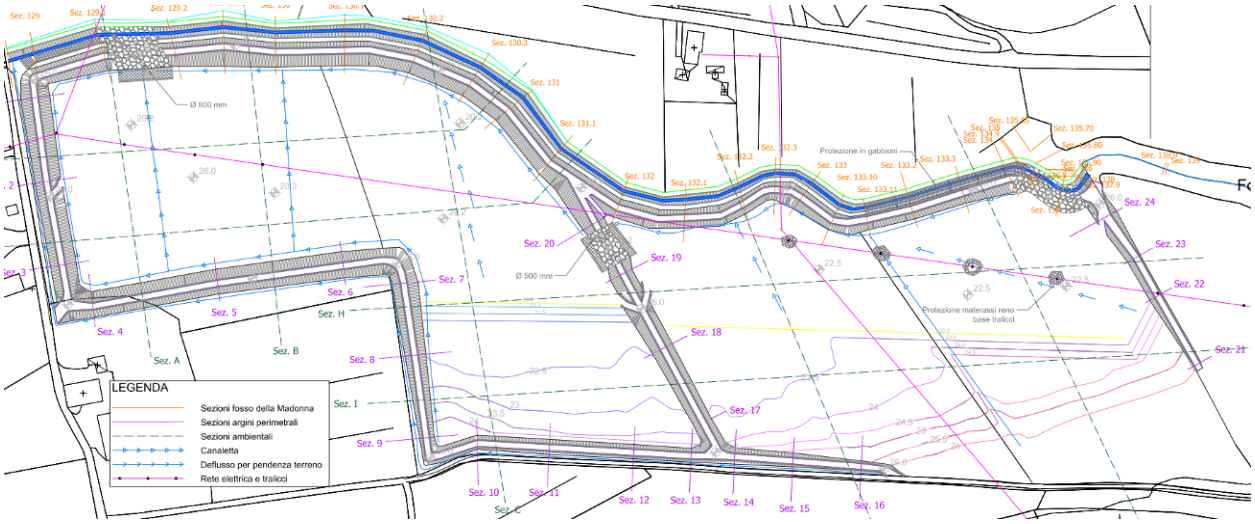

Figura 31 – Planimetria di progetto

Il tratto di Fosso della Madonna a valle dello sfioratore d'ingresso, con presenza di meandro in erosione, sarà leggermente addolcito nel raggio di curvatura e dotato di n. 3 soglie in c.a. rivestito in pietrame locale che, alzando localmente il pelo libero, indurranno un profilo di rigurgito ottimale per caricare lo sfioratore. Si fa presente che già allo stato attuale sono presenti delle briglie in c.a. grezzo funzionali alla regolazione idraulica, che saranno pertanto demolite e riposizionale nella nuova configurazione di progetto. Il volume liquido nel primo comparto della cassa si accumulerà fintanto che non arriva alla quota dello sfioratore del regolatore accedendo alla seconda parte della cassa.

La restituzione dalla cassa è prevista tramite condotta di fondo portellata che attraversando l'argine mette in comunicazione la cassa di espansione al Fosso della Madonna; a tale condotta afferisce tutto il sistema di drenaggio interno della cassa, nonché risulta il punto più depresso dell'area, in modo da ricevere per pendenza naturale le acque accumulate.

Tutto il lotto 1 è stato progettato e dimensionato in modo tale da avere un bilancio di materia nulla e pertanto tutto il volume di terra scavato viene reimpiegato in sito per la formazione di ringrossi e rialzi arginali, nonché nuove arginature circondariali della cassa d'espansione.

Si evidenzia il seguente bilancio di massa per il lotto 1:

- Scotico del terreno vegetale 25 cm con accantonamento in sito del materiale: circa 47.900 mc
- Rinterro dello scotico sui paramenti ed all'interno dell'area di cassa: 47.900 mc
- Scavo a larga sezione per formazione di cassonetto arginale, con accantonamento in ambito di cantiere: circa 8.400 mc
- Scavo di sbancamento per approfondimenti fondo: circa 59.200 mc
- Formazione di ringrossi arginali cassa espansione con materiale da scavi: circa 33.000 mc
- Formazione di rilevato arginale cassa espansione con materiale da scavi: 30.200 mc
- Scavi riprofilatura Fosso Madonna: circa 2.600 mc
- Rinterro per ricolmatura ansa abbandonata: circa 1.600 mc
- Formazione di ringrossi arginali sezioni a monte con materiale da scavi: circa 2.750 mc
- Formazione di rilevato arginale sezioni fronte cassa espansione: circa 2.650 mc
- Volume complessivo in esubero: 0 mc
- Volume di terreno da conferire in sito: 0 mc

Nel dettaglio le lavorazioni previste nel primo lotto possono essere così di seguito sintetizzate:

Zona di intervento sfioratore esistente in ingresso alla cassa

- Demolizione dei gabbioni esistenti, con trasporto e smaltimento del materiale di risulta a centro di recupero;

- Demolizione dei manufatti esistenti in conglomerato cementizio, con trasporto e smaltimento del materiale di risulta a centro di recupero;
- Scavo di sbancamento del fondo cassa alle quote di progetto, con accantonamento del materiale scavato e suo riutilizzo per la formazione del rilevato arginale del nuovo sfioratore;
- Rivestimento del nucleo interno in terra dello sfioratore con geomembrana impermeabile in polietilene ad alta densità, a costituire lo strato di separazione con il materiale di rivestimento soprastante, ricavato mediante posa di scogliera in blocchi ciclopici, intasati con cls C16/20, in modo da rendere monolitico lo sfioratore.

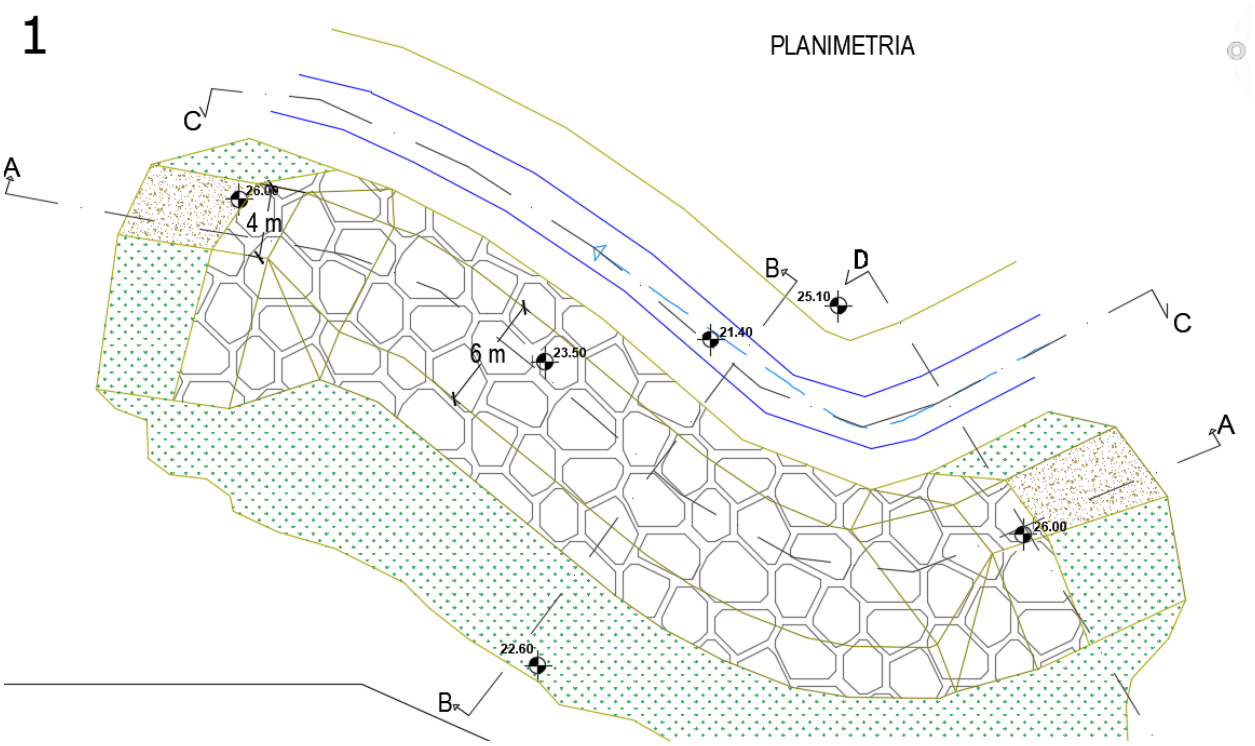

Figura 32 – Planimetria di progetto nuovo sfioratore

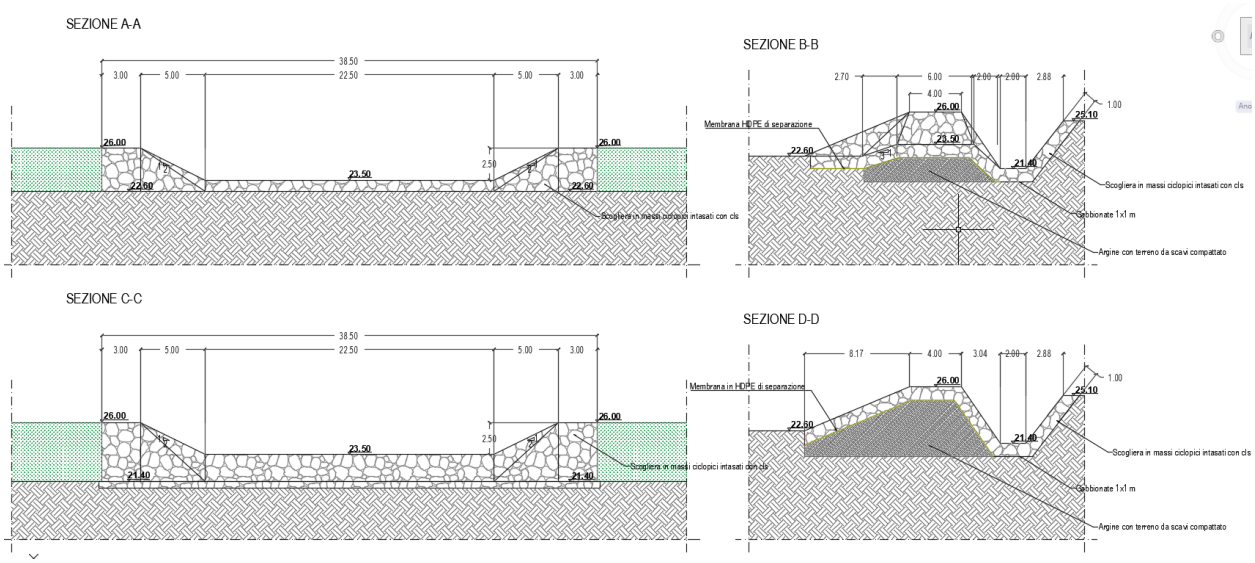

Figura 33 – Sezioni di progetto nuovo sfioratore

Zona di intervento manufatto di connessione fra comparti

- Demolizione dei gabbioni esistenti, con trasporto e smaltimento del materiale di risulta a centro di recupero;
- Demolizione dei manufatti esistenti in conglomerato cementizio, con trasporto e smaltimento del materiale di risulta a centro di recupero;
- Posa in opera di tubazione di fondo per la connessione dei due comparti in cls con lunghezza 12 m, dotata di getti in cls rompitratta in corrispondenza dei giunti;
- Realizzazione di manufatti in c.a. per l'alimentazione e lo scarico della tubazione di fondo;
- Scavo di sbancamento del fondo cassa alle quote di progetto, con accantonamento del materiale scavato e suo riutilizzo per la formazione del nuovo rilevato arginale intermedio;
- Rivestimento del nucleo interno in terra dello sfioratore con geomembrana impermeabile in polietilene ad alta densità, a costituire lo strato di separazione con il materiale di rivestimento soprastante, ricavato mediante posa di scogliera in blocchi ciclopici, intasati con cls C16/20, in modo da rendere monolitica l'opera;
- Protezione del fondo a monte ed a valle dello sfioratore intermedio con massi ciclopici, posti a raso nel terreno, avente funzione antierosiva.

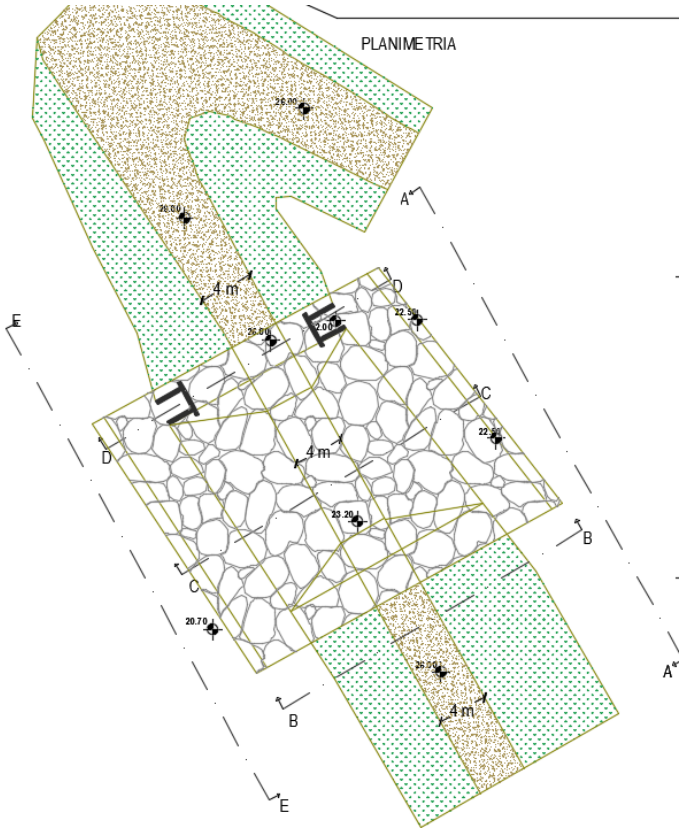

Figura 34 – Planimetria di progetto sfioratore intermedio

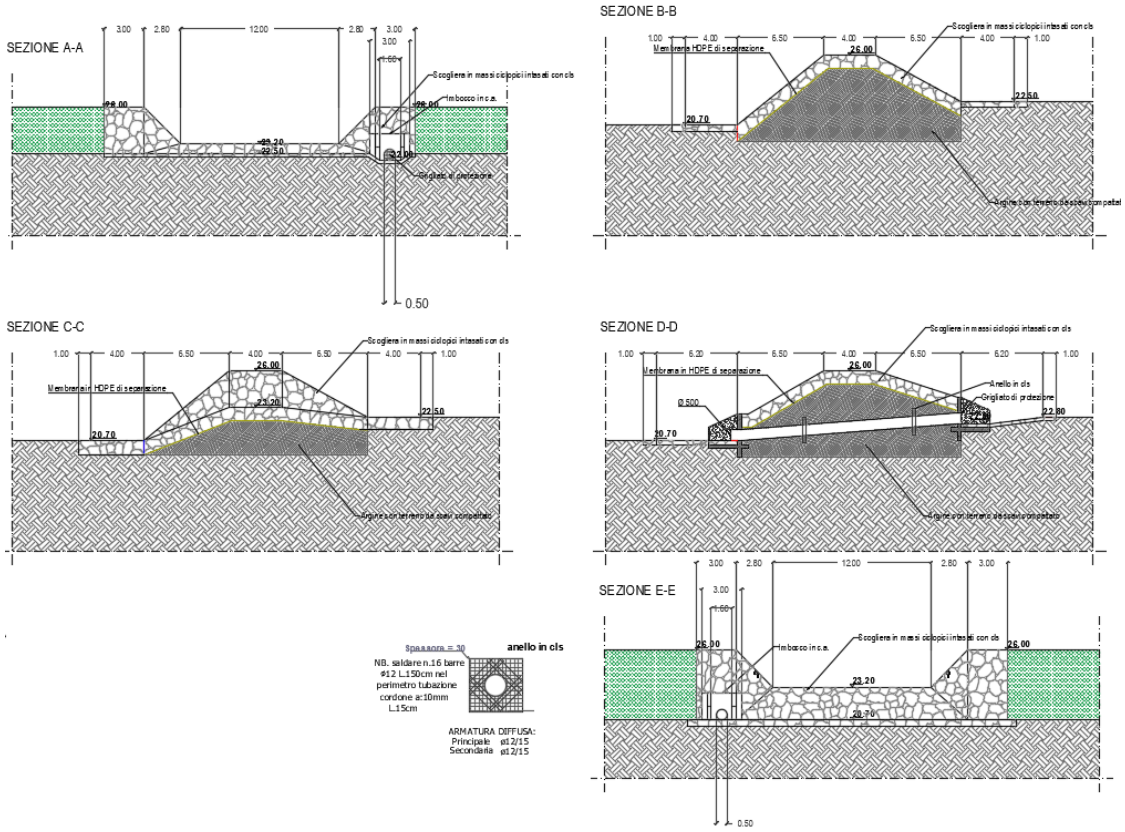

Figura 35 – Sezioni di progetto sfioratore intermedio

Zona di intervento scarico di fondo esistente

- Scavo di sbancamento dell'argine per la messa a luce della tubazione di scarico, con accantonamento del materiale scavato per il suo successivo riutilizzo;
- Demolizione della tubazione e dei manufatti di regolazione esistenti e conferimento del materiale di risulta a centro di recupero;
- Ripristino del rilevato arginale con il materiale proveniente dagli scavi.

Zona di intervento nuovo scarico di fondo e sfioratore sommitale

- Scavo di sbancamento dell'argine esistente per la predisposizione della nuova tubazione di fondo di scarico;
- Scavo di sbancamento del fondo cassa alle quote di progetto, con accantonamento del materiale scavato e suo riutilizzo per la formazione del rilevato arginale;
- Posa di tubazione di fondo per scarico in cls con lunghezza circa 36 m, dotata di getti in cls rompitratta in corrispondenza dei giunti e di paratoia monodirezionale lato corso d'acqua per evitare rientri in cassa;
- Realizzazione di strutture in c.a. per imbocco/sbocco tubazione di fondo;
- Realizzazione di rilevato arginale con materiale proveniente dagli scavi secondo le quote di progetto, in modo da realizzare in sommità un avvallamento che costituisce lo sfioratore sommitale di emergenza;
- Rivestimento del nucleo interno in terra dello sfioratore con geomembrana impermeabile in polietilene ad alta densità, a costituire lo strato di separazione con il materiale di rivestimento soprastante, ricavato mediante posa di scogliera in blocchi ciclopici, intasati con cls C16/20, in modo da rendere monolitica l'opera;
- Protezione del fondo a monte ed a valle della tubazione di scarico e della zona di sfioro sommitale, con massi ciclopici posti a raso nel terreno, avente funzione antierosiva.

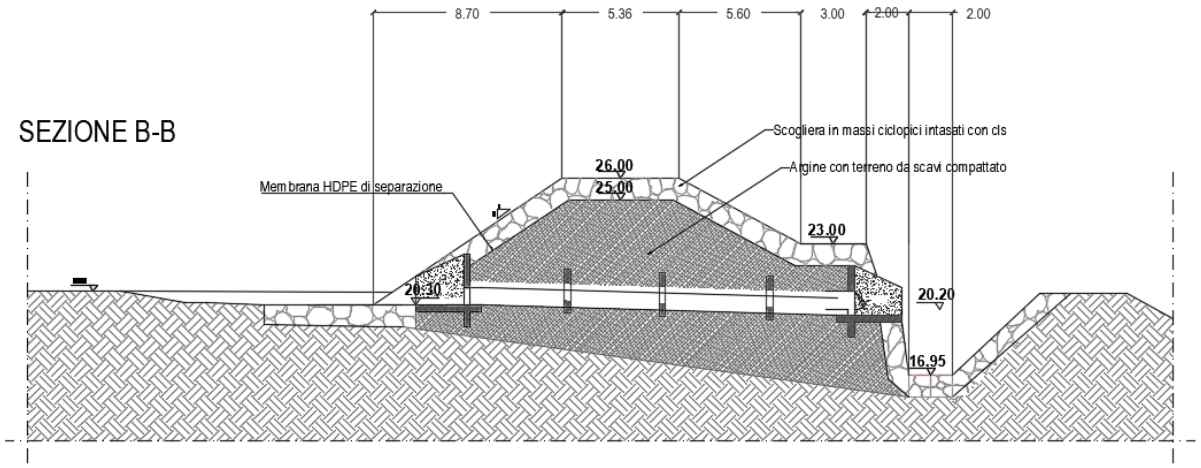

Figura 36 – Sezioni di progetto manufatto di restituzione

<u>Interventi per adeguamento dei rilevati arginali cassa d'espansione</u>

- Scotico superficiale del piano campagna spinto ad una profondità media di 25 cm, per l'asportazione della coltre vegetale di terreno, con accumulo e accantonamento del materiale all'interno delle pertinenze di cantiere. A sagoma di progetto del rilevato completato il materiale sarà risteso sui paramenti arginali, per favorirne il rinverdimento ed il riattecchimento della coltre vegetale;
- Scavo a sezione obbligata per la realizzazione del cassonetto dei nuovi rilevati circondariali (da sezione 4 a sezione 16), con accantonamento del materiale per il suo riutilizzo;
- Scavo di sbancamento del fondo della cassa d'espansione per raggiungere le quote di progetto, con accantonamento del materiale per il suo riutilizzo;
- Formazione di ringrossi arginali e nuovi rilevati arginali, con utilizzo del materiale proveniente dagli scavi;
- Realizzazione di affossature di primo e secondo ordine all'interno della cassa d'espansione, ed alla base dei rilevati, in modo da regimare correttamente le acque di sgrondo.

La configurazione di progetto prevede un'arginatura lato Fosso della Madonna con sommità 26.00 m slm, larghezza in testa di 4.0 m, per consentire il transito dei mezzi d'opera, pendenza delle scarpate 3:2 e banca orizzontale transitabile lato fiume.

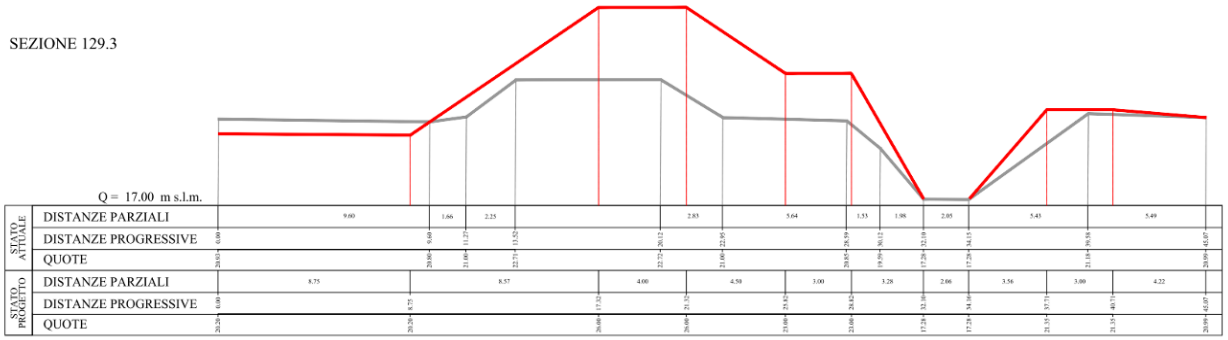

Figura 37 – Sezioni stato sovrapposto arginature cassa espansione lato Fosso Madonna

Interventi sul Fosso della Madonna

- Demolizione delle soglie in cls esistenti, con trasporto e smaltimento del materiale di risulta a discarica e loro sostituzione con soglie di fondo in massi ciclopici cementati, necessarie all'ottimizzazione dello sfioro in cassa;
- Ricolmatura con materiale proveniente da scavi dell'ansa relitta di Fosso della Madonna a valle dello sfioratore in ingresso alla cassa;
- Scavi di riprofilatura e risezionamento delle sezioni del Fosso della Madonna, secondo le sagome di progetto;
- Formazione di rialzi arginali, con utilizzo del materiale proveniente dagli scavi, per il contenimento in alveo delle piene;
- Posa di massi ciclopici di protezione del fondo e delle sponde, con funzione antierosiva, nei punti di maggior sollecitazione della corrente, ovvero nel tratto a cavallo dello sfioratore in ingresso alla cassa.

Si evidenzia che gli interventi di adeguamento del Fosso della Madonna iniziano dalla sezione 141 verso valle; nella modellistica idraulica, ai fini di considerare eventuali futuri adeguamenti, nelle sezioni di monte sono state inserite delle levees laterali per contenere in alveo tutta la portata duecentennale.

A completamento dell'intervento si prevede la protezione dei basamenti dei pali della linea ENEL interna alla cassa con materassi RENO, posti a raso in modo da evitare erosioni del fondo che possano instabilizzare i manufatti.

9. SINTESI DELLA MODELLAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA

9.1 Modellazione idrologica

L'analisi idrologica, redatta dagli scriventi a supporto della variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Bibbona, ha previsto una schematizzazione della trasformazione degli afflussi in deflussi superficiali con il metodo del Curve Number. L'analisi idrologica è stata implementata tramite il software HEC-HMS 4.7.1, ed è stata svolta con riferimento agli eventi caratterizzati da tempi di ritorno di 30 e 200 anni. L'analisi idrologica è stata condotta tenendo conto delle *linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) aggiornate nel 2012*, dall'Università di Firenze (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale) nell'ambito dell'accordo di collaborazione con la Regione Toscana di cui alla DGRT 1133/2012. I parametri delle LSPP aggiornate sono disponibili e consultabili al link http://www.sir.toscana.it/lspp-2012. Le curve di possibilità pluviometrica definiscono i parametri dell'espressione monomia per l'altezza di precipitazione:

$$h = a\, t^n$$

dove h è l'altezza di precipitazione espressa in mm, t è la durata di pioggia ed a e n sono i parametri caratteristici delle curve. Per l'area in esame si è fatto riferimento in prima battuta alla stazione pluviometrica di Bibbona (TOS11000009), che per vicinanza è la più significativa. I parametri della curva sono riportati nella tabella sottostante:

Stazione di Bibbona	a	n
Tr = 200 anni	82.777	0.32465
Tr = 30 anni	59.513	0.26117

Tabella 1 – Parametri della curva di possibilità pluviometrica

L'andamento temporale dell'evento pluviometrico è stato schematizzato ricorrendo ad uno ietogramma sintetico, che pur non rappresentando il reale andamento dell'evento di pioggia, introduce, nelle procedure di trasformazione afflussi-deflussi, una variabilità temporale della pioggia in grado di produrre risultati tali da ritenersi cautelativi.

Per lo studio in questione, tra gli ietogrammi noti in letteratura, si è deciso di utilizzare sia quello ad intensità costante (in modo da determinare la durata critica) che quello tipo Chicago con picco di scroscio a 0.5 volte la durata dell'evento. Piogge ad intensità costante sono state utilizzate anche per determinare idrogrammi di piena inseriti in testa alle simulazioni di progetto, al fine di verificare il comportamento dell'opera nei riguardi di eventi che potessero massimizzare i volumi invasati.

Per la determinazione dei deflussi netti corrispondente allo scorrimento superficiale dei bacini si è utilizzato il metodo del Curve Number (CN) del Soil Conservation Service. Il metodo si basa sul concetto che il flusso superficiale è nullo fino al raggiungimento di un valore di soglia di infiltrazione iniziale Ia, da letteratura tecnica legata alla capacità di ritenzione potenziale S dalla relazione:

$$Ia = 0.2 \cdot S$$

dove S è definita dall'espressione:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \quad [mm]$$

Per la trasformazione afflussi deflussi si è optato invece per l'utilizzo dell'idrogramma unitario del SCS, considerando il tempo di ritardo come 0.6 volte il tempo di corrivazione. La valutazione del tempo di corrivazione è stata effettuata mediando i valori che si ottengono dalle molteplici formulazioni impiegate in letteratura:

- formula di Ventura:

$$T_c = 0.127 \left(\frac{A}{i_B}\right)^{0.5}$$

- formula di Pasini:

$$T_c = 0.108 \frac{(AL)^{0.33}}{i^{0.5}}$$

– formula di Pezzoli:

$$T_c = 0.055 \frac{L}{i^{0.5}}$$

– formula di Ferro:

$$T_c = 0.675\, A^{0.5}$$

dove A è la superficie del Bacino in km^2, L la lunghezza dell'asta principale in km, i la pendenza media del corso d'acqua, i_B la pendenza media del bacino, z la quota media del bacino. I parametri riassuntivi dei parametri idrologici per i vari sottobacini analizzati sono riassunti nelle tabelle sottostanti. I parametri idrologici così ottenuti sono sintetizzati nella tabella seguente.

Fosso della Madonna	A (km2)	**CN III**	Tc (h)	R
Mad_1	8.54	80	1.78	0.75
Mad_3	1.47	80	0.98	0.44
Mad_2	1.02	81	1.03	0.48
Mad_4	0.99	79	1.43	0.96
Alb	0.99	81	1.04	0.64
Mad_5	2.32	79	1.99	1.99
Tan-1	6.31	76	1.82	0.84
Tan-2	3.13	81	2.10	1.80
Fosso_delle_Basse	3.06	81	2.27	1.41

Tabella 2 –Parametri idrologici

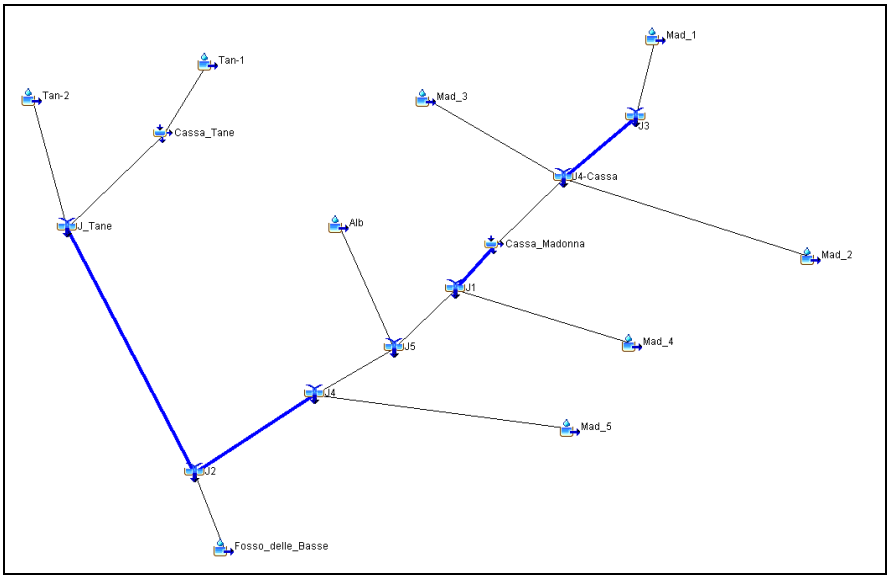

Figura 38 - Modellazione idrologica del Fosso della Madonna con il software Hec-Hms

Nelle tabelle seguenti sono sintetizzati i risultati ottenuti, in termini di valori di picco di portata al variare di durata di pioggia, tempo di ritorno e tipologia di ietogramma adottato. Nel caso degli ietogrammi Chicago, che massimizzano il picco di portata, è stata adottata una durata di pioggia pari a 4 ore, in conformità con Regolamento Urbanistico del Comune di Bibbona (relazione idrologica e idraulica, novembre 2016).

ID	S (kmq)	Tr200 4h -Chicago	Tr30 4h -Chicago	Tr500 4h -Chicago
Mad_1	8.54	79.82	42.27	99.73
J3	8.54	79.82	42.27	99.73
Madonna_2	8.54	79.44	42.2	99.08
Mad_3	1.47	20.41	11.09	25.34
Mad_2	1.02	13.87	7.61	17.18
J4-Cassa	11.03	98.60	51.81	122.91
Alberelli	0.99	12.00	6.60	15.50

Tabella 3 - Valori di picco degli idrogrammi di piena per ietogramma Chicago

ID	S (kmq)	1h	2h	3h	4h	6h	9h	12h
Mad_2	1.04	7.77	8.85	8.3	7.54	6.18	4.91	4.13
Mad_3	1.47	10.82	12.37	11.58	10.51	8.64	6.87	5.79
Mad_1	8.54	46.83	58.86	60.02	57.02	49.46	39.43	33.37
J3	8.54	46.83	58.86	60.02	57.02	49.46	39.43	33.37
Madonna_2	8.54	46.61	58.77	59.67	56.83	49.37	39.43	33.35
Mad_3	1.47	12.77	13.5	12.27	10.81	8.8	6.91	5.8
Mad_2	1.02	8.84	9.43	8.59	7.58	6.18	4.84	4.06
J4-Cassa	11.03	58.08	75.74	77.98	74.18	64.05	51.06	43.18
Alberelli	0.99	7.50	8.50	8.00	7.20	5.90	4.70	3.90

Tabella 4 - Valori di picco degli idrogrammi di piena Tr 200 per ietogramma costante

I risultati ottenuti dalla modellazione idrologica, in termini di idrogrammi di piena in corrispondenza della cassa di espansione sono riportati nei grafici seguenti nel caso di ietogramma costante, mentre il dimensionamento idraulico delle opere è stato fatto con riferimento alla portata di picco ricavata con ietogramma Chicago della durata di 4 ore.

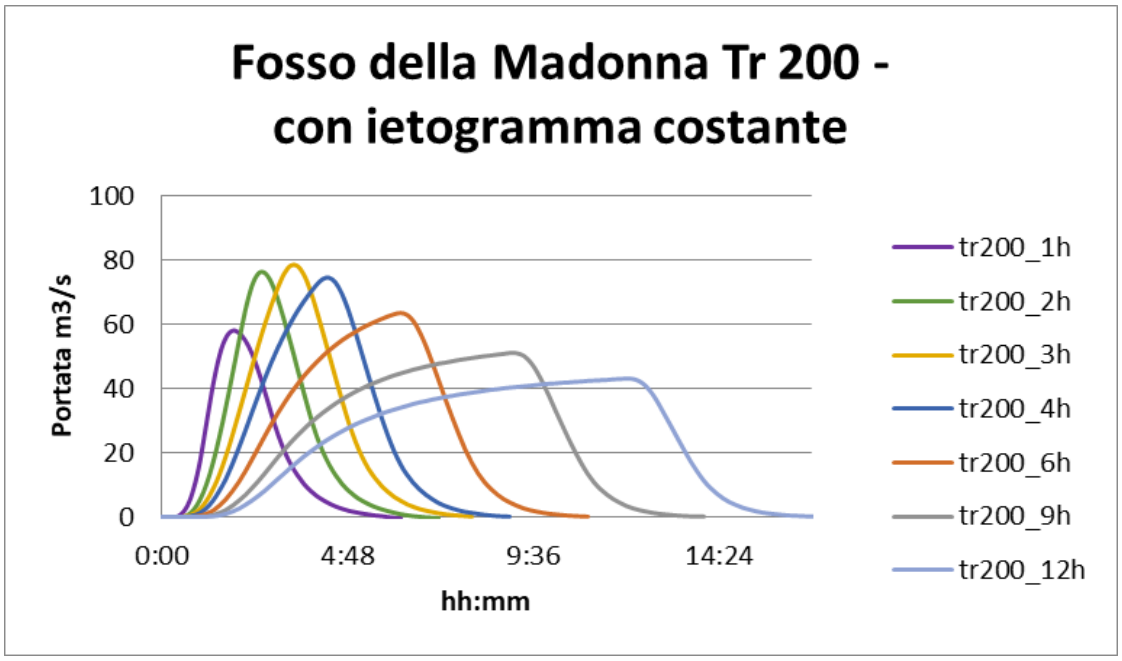

Figura 39 – Idrogrammi Tr 200 Fosso della Madonna alla sezione J4_Cassa, ietogramma costante

9.2 Modellazione idraulica

Le verifiche idrauliche sono state realizzate con un modello accoppiato di tipo monodimensionale all'interno del canale e puramente bidimensionale per la propagazione dei volumi esondati sul piano campagna, implementato con il software HEC RAS 6.1, che è un modello fisicamente basato in grado di conservare e distribuire i volumi d'acqua in base all'effettiva morfologia e topografia del territorio analizzato. Il sistema schematizzato prevede tutto il Fosso della Madonna d'interesse nonché il Fosso degli Alberelli, con confluenza tramite Junction.

In conformità con il Regolamento Urbanistico del Comune di Bibbona in stato attuale sono state condotte le simulazioni con idrogramma di piena Tr30 anni e Tr200 anni e durata di pioggia 4 ore, derivante dalla schematizzazione delle piogge con ietogramma di tipo Chicago, nonché per eventi ad intensità costante. I risultati in termini di battente evidenziano due fattori:

- La scarsa efficienza della cassa che viene riempita solo parzialmente dall'onda di piena;
- Il propagarsi delle esondazioni verso l'abitato de La California con valori di battente che superano i 50 cm;

- I volumi d'acqua che entrano in cassa d'espansione dallo sfioratore di testa per Tr 200 anni Tp 4 ore ammontano a 293.000 mc;
- Il livello massimo in cassa è pari a 25.12 m slm nel comparto di monte e 22.75 m slm in quello di valle;
- La portata Tr 200 anni Tp 4h in transito nel Fosso della Madonna a valle della cassa d'espansione è pari a 74.37 mc/s.

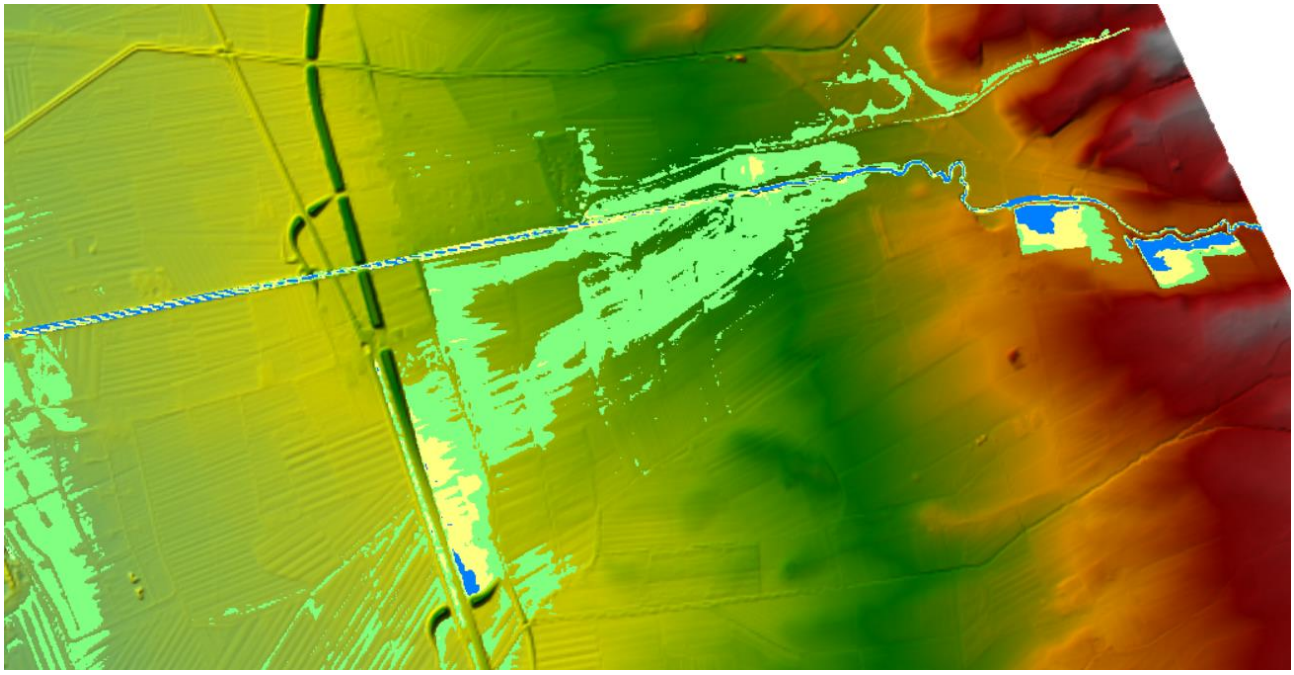

Figura 40 - Stato attuale: Funzionamento parziale della cassa d'espansione, i cui volumi sono solo in parte occuparti dall'onda di piena, Tr 30 anni

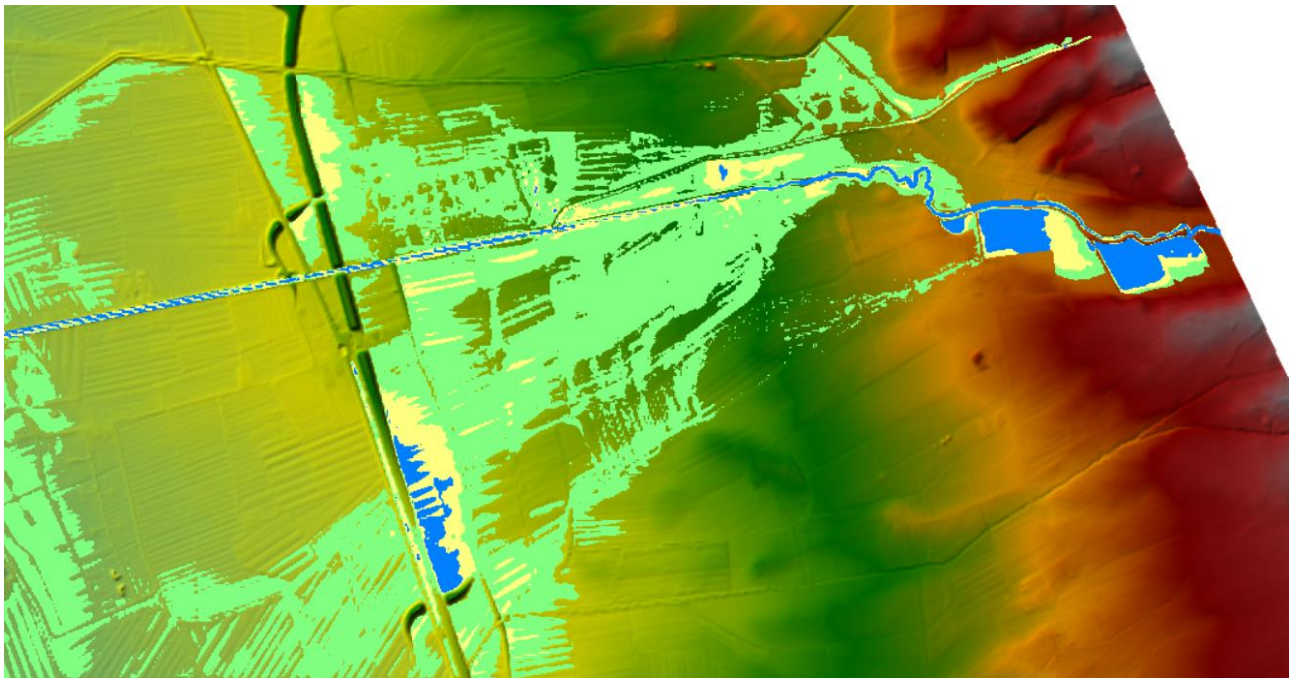

Figura 41 - Stato attuale: Funzionamento parziale della cassa d'espansione, i cui volumi sono solo in parte occuparti dall'onda di piena, Tr 30 anni

Per le verifiche in stato di progetto è stata effettuata una modellazione mediante il software Q-Qgis 3.10 dei volumi di scavo e riporto previsti, ottenendo così un modello digitale del terreno di progetto.

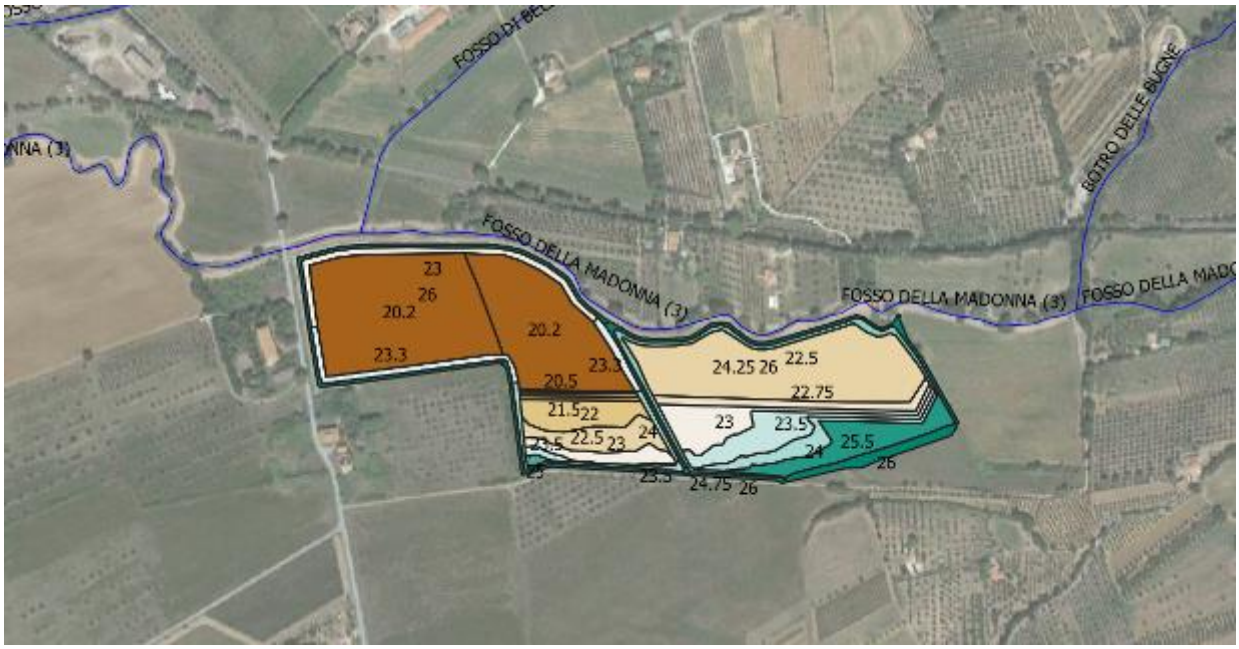

Figura 42 - Elaborazione modello digitale del terreno mediante Q-Gis 3.10

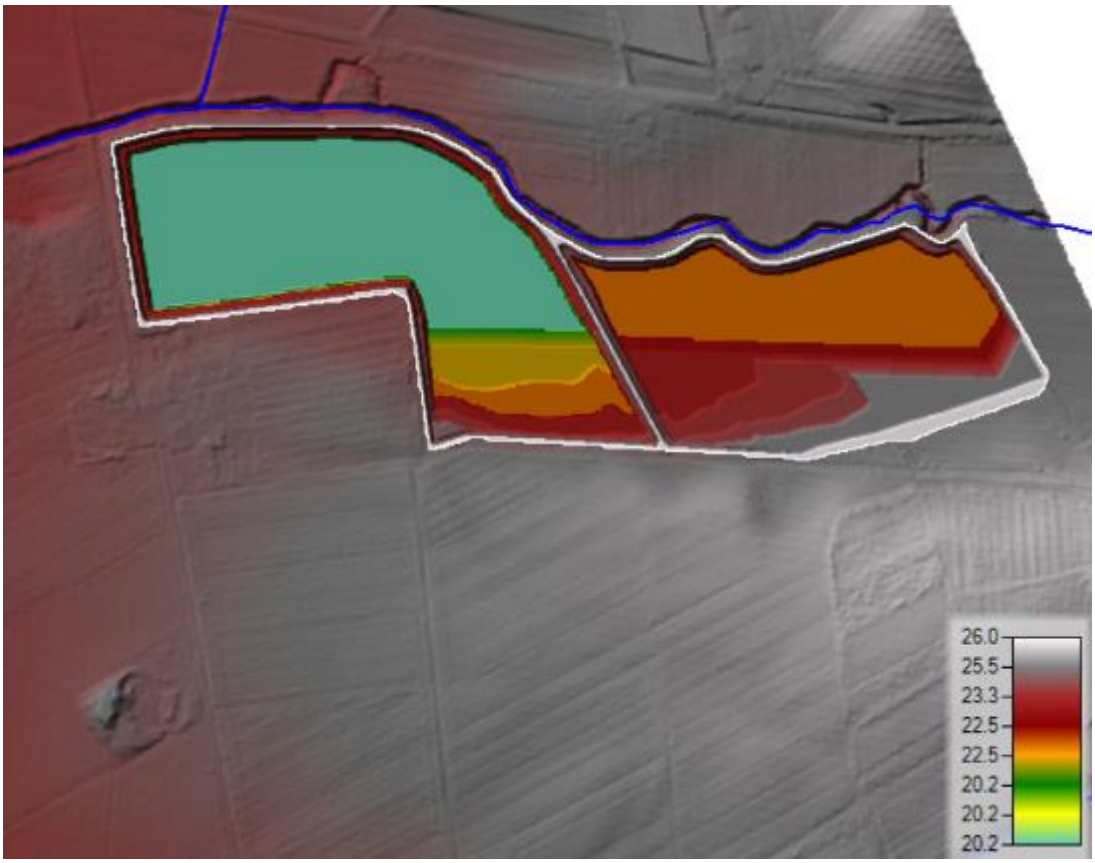

Figura 43 - DTM di progetto ottenuto mediante le elaborazioni Qgis

L'aggiornamento dello schema progettuale prevede arginature ad una quota di 26.00 m slm, larghezza in testa 4.0 m e pendenza 3:2; la cassa d'espansione in stato di progetto è stata quindi schematizzata mediante due celle bidimensionali (2d flow area) collegate tra di loro da uno sfioratore intermedio con soglia a stramazzo di lunghezza 12 metri, quota di 23.20 m slm e condotta di fondo Φ 500 mm.

Lo sfioratore in ingresso è posto nel comparto più a monte e ha una luce a stramazzo di circa 22.50 metri a quota 23.5 m slm; nel comparto di valle sono presenti invece lo sfioratore di restituzione, con quota sommitale di 25 m slm e lunghezza 15 m e condotta di diametro Φ 800 mm.

Sono state eseguite le simulazioni idrauliche variando sia gli idrogrammi in ingresso che la durata stessa della simulazione, per valutare il comportamento della cassa nelle diverse condizioni, come descritto nei paragrafi seguenti.

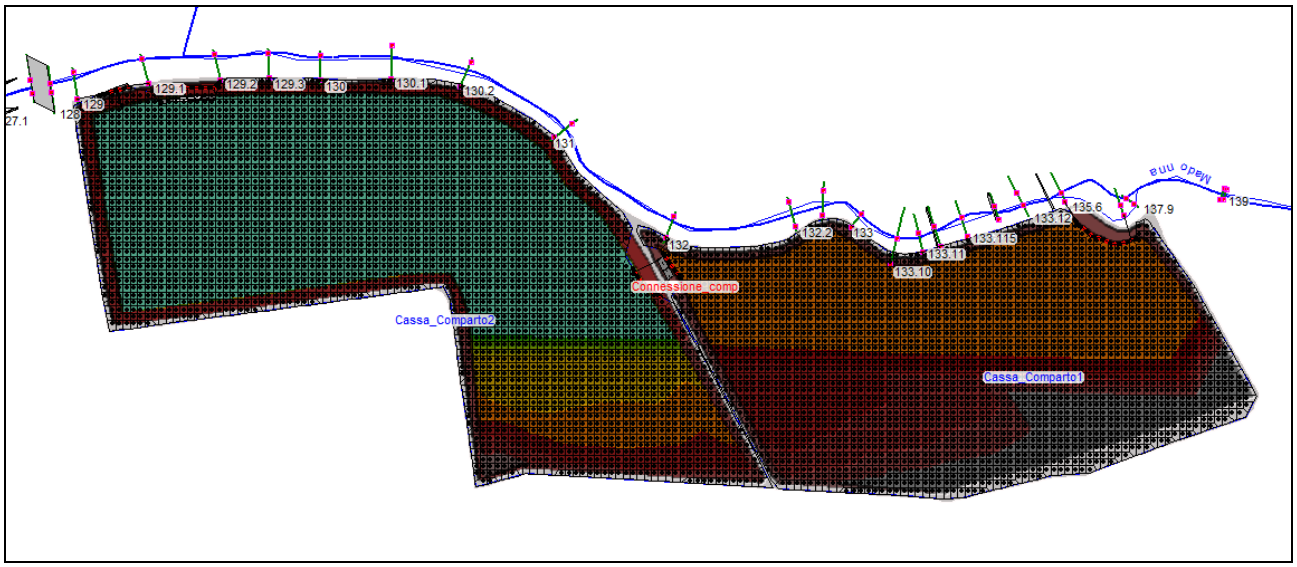

Figura 44 - Simulazione della cassa mediane il software Hec-Ras

Il comportamento della cassa con portata di picco massima è stato valutato mediante l'idrogramma Tr 200 con durata di pioggia 4 ore, derivante dall'analisi idrologica con ietogramma di tipo Chicago.

I risultati del comportamento della cassa in termini di altezza d'acqua e volumi invasati sono sintetizzati di seguito.

Simulazione con portata di picco massima: Tr 200, Tp 4h, Ietogramma Chicago	
Quota massima pelo libero Comparto 1	25.23 m slm
Quota massima pelo libero Comparto 2	25.21 m slm
Volume in ingresso dallo sfioratore di testa [m^3]	320.000 mc

Tabella 5 - Parametri di funzionamento della cassa durante l'evento di piena

Inoltre il volume d'acqua d'esondazione in destra idraulica a valle della cassa (dove si trova l'abitato de La California) si riduce sensibilmente, mentre gli sfiori in sinistra sono maggiori.

Rispetto a questo scenario i battenti previsti nell'areale de La California risultano inferiori a 50 cm, con velocità contenute entro il metro al secondo e pertanto la magnitudo associata è moderata.

In stato di progetto la portata Tr 200 anni Tp 4h in transito nel Fosso della Madonna a valle della cassa d'espansione è pari a 42.18 mc/s, con una riduzione pertanto di oltre 30 mc/s rispetto allo stato attuale.

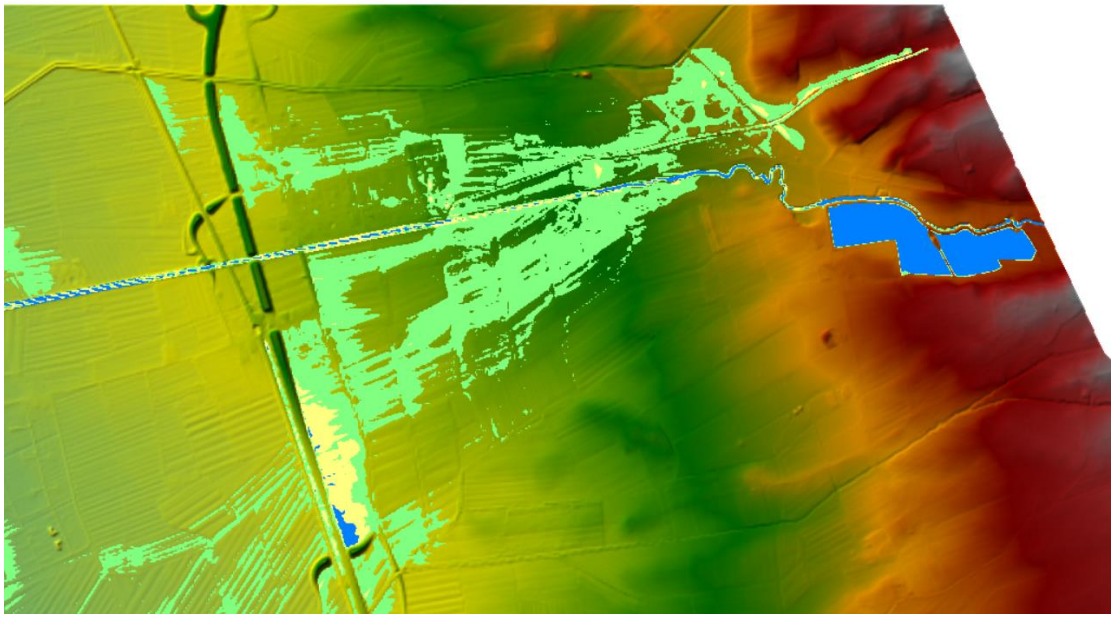

Figura 45 - Battenti idraulici massimi Tr 200 in stato di progetto Lotto 1

L'idrogramma che massimizza i volumi di piena è stato ottenuto con ietogramma costante e durata di pioggia pari a 9 ore. I risultati ottenuti in termini di altezza d'acqua e volumi invasati sono sintetizzati di seguito.

Simulazione con portata di picco massima: Tr 200, Tp 9h, Ietogramma costante	
Quota massima pelo libero Comparto 1	25.43 m slm
Quota massima pelo libero Comparto 2	25.40 m slm
Volume in ingresso dallo sfioratore di testa [m^3]	498.000 mc

Tabella 6 - Parametri di funzionamento della cassa durante l'evento di piena

Dalle due simulazioni, per portate di picco e volumi di piena massimi, appena illustrate possiamo concludere che la cassa d'espansione in progetto è in grado di assolvere alla sua funzione di laminazione della portata di piena e riduzione del volume esondato sul piano campagna.

Per valutare i tempi di svuotamento della cassa, ossia il tempo che impiega la restituzione a far defluire il volume d'acqua invasato al corso d'acqua una volta che l'evento pluviometrico intenso è terminato, è stata eseguita una simulazione allungando di alcuni giorni il tempo di calcolo oltre la fine dell'evento pluviometrico. La simulazione è stata eseguita con idrogramma Tr 200, Tp 9 ore, ietogramma costante. I risultati ottenuti sono sintetizzati nella figura seguente.

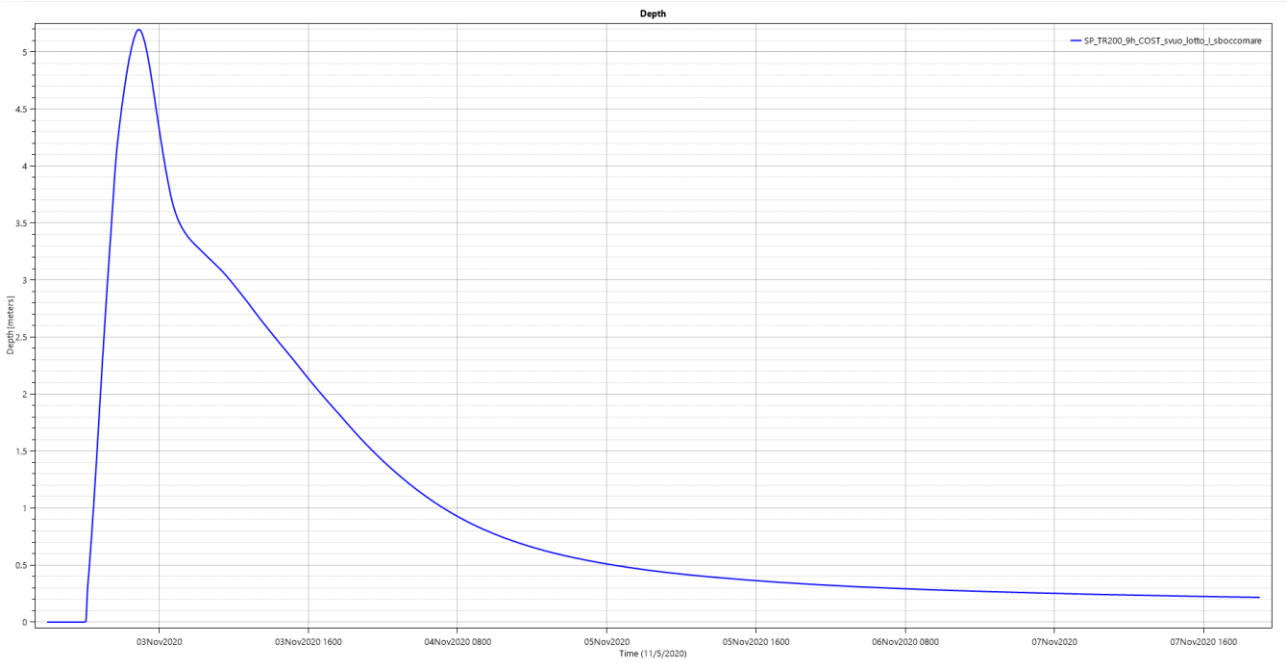

Figura 46 – Simulazione di svuotamento della cassa al termine dell'evento di piena

Dall'analisi dell'immagine soprastante risulta un picco di altezza invasata dopo circa 5.30 ore dall'inizio dell'evento, con un valore massimo di 5.2 m stoccati; dopo 12 ore dall'inizio della simulazione il tirante è sceso a 3.4 m, mentre dopo 24 ore di simulazione il tirante è pari a 2.1 m. dopo 36 ore 1.25 m. e dopo 48 ore 0.80 m. Il tempo di svuotamento si aggira pertanto intorno a complessivi 4 giorni, anche se tiranti sotto il metro si verificano già a partire da 40 ore dall'inizio dell'evento. Questo diagramma di svuotamento è utilizzato per le verifiche di filtrazione arginale, come specificato in relazione geotecnica.

È stata eseguita una simulazione con idrogramma derivante da ietogramma di tipo Chicago e tempo di ritorno trentennale (Tr 30 anni), con lo scopo di valutare il comportamento della cassa e dei relativi sfioratori per portate inferiori rispetto a quella di progetto. I risultati sono presentati nella tabella seguente:

Simulazione con portata di picco massima: Tr 30, Tp 4h, Ietogramma Chicago	
Quota massima pelo libero Comparto 1	24.37 m slm
Quota massima pelo libero Comparto 2	23.11 m slm
Volume in ingresso dallo sfioratore di testa [m^3]	201.000 mc

Tabella 7 - Parametri di funzionamento della cassa durante l'evento di piena Tr 30 anni

Per portata trentennale possiamo concludere quindi che la cassa d'espansione in progetto (lotto1) assolve comunque alla sua funzione di laminazione dell'onda di piena e consente una drastica riduzione delle esondazioni a valle del manufatto. Le esondazioni in destra sono completamente assenti mentre in sinistra sono ancora presenti pur essendo molto ridotte rispetto allo stato attuale.

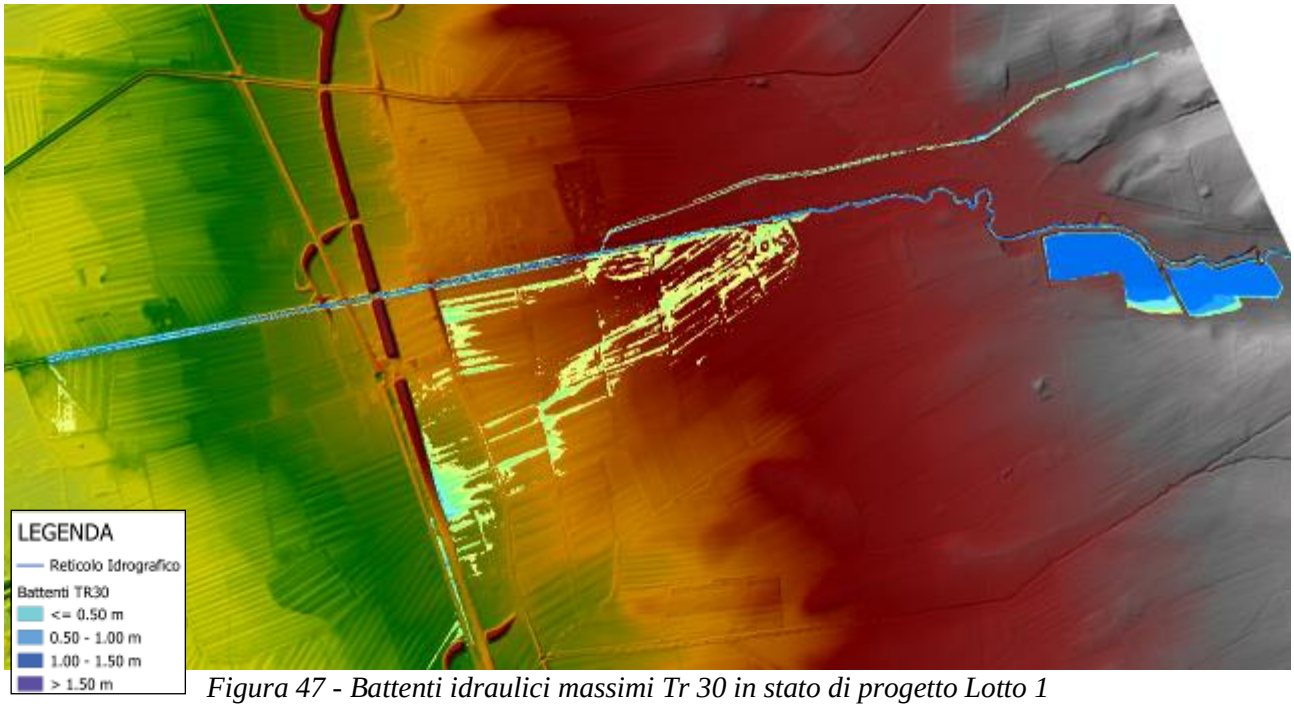

Figura 47 - Battenti idraulici massimi Tr 30 in stato di progetto Lotto 1