



CONSORZIO di BONIFICA dell' EMILIA CENTRALE

Corso Garibaldi n. 42 42121 Reggio Emilia - www.emiliacentrale.it - protocollo@pec.emiliacentrale.it
Tel. 0522-443211 Fax. 0522-443254 C.F. 91149320359

M - PRG.
18.01

Rev. 3
del
01.04.2019

Legge n°205/2017 art.1 comma 518. Primo Stralcio del Piano Nazionale degli interventi
nel settore idrico – sezione "invasi"

REALIZZAZIONE DI UNA CASSA DI ESPANSIONE PER LAMINAZIONE DELLE PIENE E ACCUMULO IDRICO A SCOPO IRRIGUO CAVO BONDENO IN COMUNE DI NOVELLARA (RE) - CODICE 518/5

Importo: **€. 10.000.000,00** Ente Finanziatore: **Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**

Tipologia Progetto

Riferimento Legislativo

Comune

Fattibilità

Definitivo

Esecutivo

Contabilità

**Legge n.205/2017 e
Legge n. 145/2018**

NOVELLARA (RE)

X

ALLEGATI:

Allegato n.

Titolo:

22

**ELABORATI PER AUTORIZZAZIONE
ALL'INVASO DI CUI ALLA DGR.
3109/1990 (AGENZIA REGIONALE
PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E
LA PROTEZIONE CIVILE)**

Oggetto:

.1

**STUDIO IDRAULICO PER
COLLASSO ARGINALE DELLA
CASSA**

Il Progettista Generale:

Dott. Ing. Matteo Giovanardi



mgiovanardi@emiliacentrale.it

Collaboratori alla Progettazione:

Geom. Andrea Autunni

Dott. Ing. Elena Mocci

Geom. Stefano Bernardi

Dott. Agr. Aronne Ruffini

Geom. Riccardo Nicolini

Dott. Ing. Preti Valentina

P.I. Mauro Bigliardi

Dott. Agr. Baricca Matteo

P.I. Guido Ruini

Dott. Geol. Alessandro Fontanesi

P.I. Roberto Pinotti

Il Responsabile del Procedimento:

Dott. Ing. Pietro Torri



ptorri@emiliacentrale.it

Area Progettazione:
SLPP

Codice Progetto:
105/18/00

Codice CUP:
G33H18000060001

Codice CIG:

Redatto:

Verificato:

Nome File:

Note:

Data Progetto Originale: **16-12-2019**

Data Aggiornamento: **16/06/2021**

UNI EN ISO 9001:2015

UNI EN ISO 14001:2015

OHSAS 18001:2007



SOMMARIO

1	PREMESSA.....	2
2	AREA OGGETTO DI STUDIO.....	3
2.1	Sintesi del sistema di canali dell'area oggetto di studio	3
2.2	Sintesi dello stato idrologico-idraulico attuale in caso di piena centennale nel Cavo Bondeno	4
3	SINTESI STATO DI PROGETTO	6
4	DATI UTILIZZATI E MODELLO DI CALCOLO	11
4.1	Modello digitale del terreno	11
4.2	Software utilizzato.....	11
4.2.1	GEOMETRIA IMPLEMENTATA	11
4.2.2	SCABREZZA E CONDIZIONI AL CONTORNO.....	12
4.2.3	MODELLAZIONE DELLE BRECCIE ARGINALI.....	13
5	ANALISI ESEGUITE E RISULTATI.....	19
5.1	Breccia Nord	19
5.2	Breccia Centro	27
5.3	Breccia Sud	30
6	CONCLUSIONI.....	33

1 PREMESSA

La presente relazione è stata redatta a seguito delle richieste di integrazioni documentali da parte della Regione Emilia-Romagna – Servizio sicurezza territoriale e protezione civile di Reggio Emilia nell’ambito del Procedimento Autorizzatorio Unico Regionale (PAUR) relativo al progetto “Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno” localizzato nel Comune di Novellara (RE).

Nell’elaborato vengono mostrati i risultati delle analisi idrauliche finalizzate alla definizione dei potenziali scenari di evento conseguenti a rotture dei rilevati arginali della cassa di espansione in progetto.

Le analisi idrauliche sono avvenute in regime di moto vario e campo di moto bidimensionale, ipotizzando lo scenario di collasso arginale concomitante al livello di massimo invaso nella cassa d’espansione.

Gli scenari analizzati fanno riferimento a tre punti differenti di rottura delle arginature.

Per ogni scenario analizzato, la presente relazione ha l’obiettivo di descrivere la potenziale intensità del processo in termini di estensione delle inondazioni, dei tempi di permanenza, dei tiranti idrici e delle velocità di deflusso.

2 AREA OGGETTO DI STUDIO

Di seguito si fornisce un'estrema sintesi dei principali canali di bonifica che caratterizzano l'area e che risultano interessati, chi maggiormente chi in parte minore, dalla propagazione dei deflussi prodotti dal collasso delle arginature della cassa in progetto.

Nel paragrafo 2.2 vengono riportati brevi estratti degli elaborati di progetto già depositati nell'ambito del PAUR; l'attenzione è rivolta ai risultati delle analisi idrologiche ed idrauliche dello stato di fatto del Cavo Bondeno. In particolare, si richiamano le esondazioni per tracimazione dagli argini del Cavo Bondeno.

2.1 SINTESI DEL SISTEMA DI CANALI DELL'AREA OGGETTO DI STUDIO

L'area oggetto di studio si colloca in destra idraulica del Cavo Bondeno e a nord dell'Allacciante Cartoccio. Nel tratto di interesse entrambi i canali risultano pensili, con sommità arginali a quota paria circa 21.50 m slm. La campagna circostante è posta a quote di 18.50-19.00 m slm e degrada in direzione sud-ovest nord-est con pendenza di circa 0.1%.

I terreni sono serviti dai seguenti canali principali (Figura 1):

- Dugale Vittoria. Con funzione scolante, nasce in prossimità del confine nord-ovest di Novellara. Per i primi 2.5 km circa si sviluppa fondamentalmente in direzione nord-ovest. Sottopassa il Canale Minara e successivamente incontra Strada della Vittoria dove devia verso nord-est costeggiandola alla sua destra fino in prossimità della linea ferroviaria e della SP 42. Qui sottopassa Strada della Vittoria e prosegue in direzione nord-ovest per circa 300 m, fino ad immettersi nel Cavo Baciocca. Quest'ultimo sottopassa la ferrovia e la SP 42 e si immette nel CABR.
- Allacciante Vittoria. Il cavo nasca dall'Allacciante Cartoccio ed ha sia una funzione di irrigazione che di scolo. Esso si sviluppa alla sinistra di Strada della Vittoria e si immette nel Dugale Vittoria in prossimità della linea ferroviaria.
- Collettore Acque Basse Reggiane - CABR Il cavo costituisce il recapito finale dei territori serviti dal Dugale Vittoria, Cavo Baciocca ed Allacciante Vittoria. Come verrà mostrato successivamente, esso costituisce il recapito finale delle acque esondate dalla cassa in progetto.
- Canale della Minara. Utilizzato principalmente per l'irrigazione, nasce dall'Allacciante Cartoccio e si sviluppa principalmente in direzione nord-est. Nell'area di studio risulta pensile. Come si vedrà nei capitoli successivi costituisce una barriera per la propagazione degli allagamenti verso est.
- Cavo Bondeno ed Allacciante Cartoccio. Il primo sviluppa in direzione nord-est, il secondo, suo affluente, in direzione nord-ovest. Nell'area in esame entrambi i canali risultano pensili rispetto alla campagna circostante. Ai fini delle analisi qui riportate essi si configurano come barriere alla propagazione degli allagamenti.
- Dugale Olmo. Il dugale si sviluppa in destra idraulica del Canale Minara. Sottopassa la linea ferroviaria e la SP 42.



Figura 1 - Inquadramento dei principali cavi che interessano l'area di studio.

2.2 SINTESI DELLO STATO IDROLOGICO-IDRAULICO ATTUALE IN CASO DI PIENA CENTENNALE NEL CAVO BONDENO

Di seguito si riporta un estratto della relazione idrologica ed idraulica presentata in ambito di PAUR.

Il Cavo Bondeno è uno dei principali adduttori irrigui del sistema sotteso dalla derivazione sul Fiume Po a Boretto (RE), a servizio di un bacino agricolo dell'estensione di oltre 10.000 ha. Le analisi idrologiche ed idrauliche mostrano che **allo stato attuale per precipitazioni con tempi di ritorno maggiori di 50 anni, il Cavo Bondeno, in particolare in corrispondenza della linea ferroviaria Reggio-Guastalla, parallela alla S.P. 42 Novellara Guastalla, non riesce a contenere i volumi di piena provocando allagamenti nei terreni**

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

circostanti. La Figura 2 mostra l'estensione degli allagamenti simulati a seguito di precipitazioni con tempo di ritorno 100 anni nello stato di fatto. Come si nota l'area interessata dagli allagamenti è quella che si estende tra il Cavo Bondeno ed il Canale della Minara.

Come mostrato successivamente corso della relazione, tale area è anche quella maggiormente interessata dagli scenari di collasso dei rilevati della cassa in progetto.

Preme far notare che lo scenario mostrato in Figura 2 è conseguente ad un sormonto arginale, gli scenari analizzati nella presente relazione fanno invece riferimento ad ipotesi ben più estreme di collasso arginale.

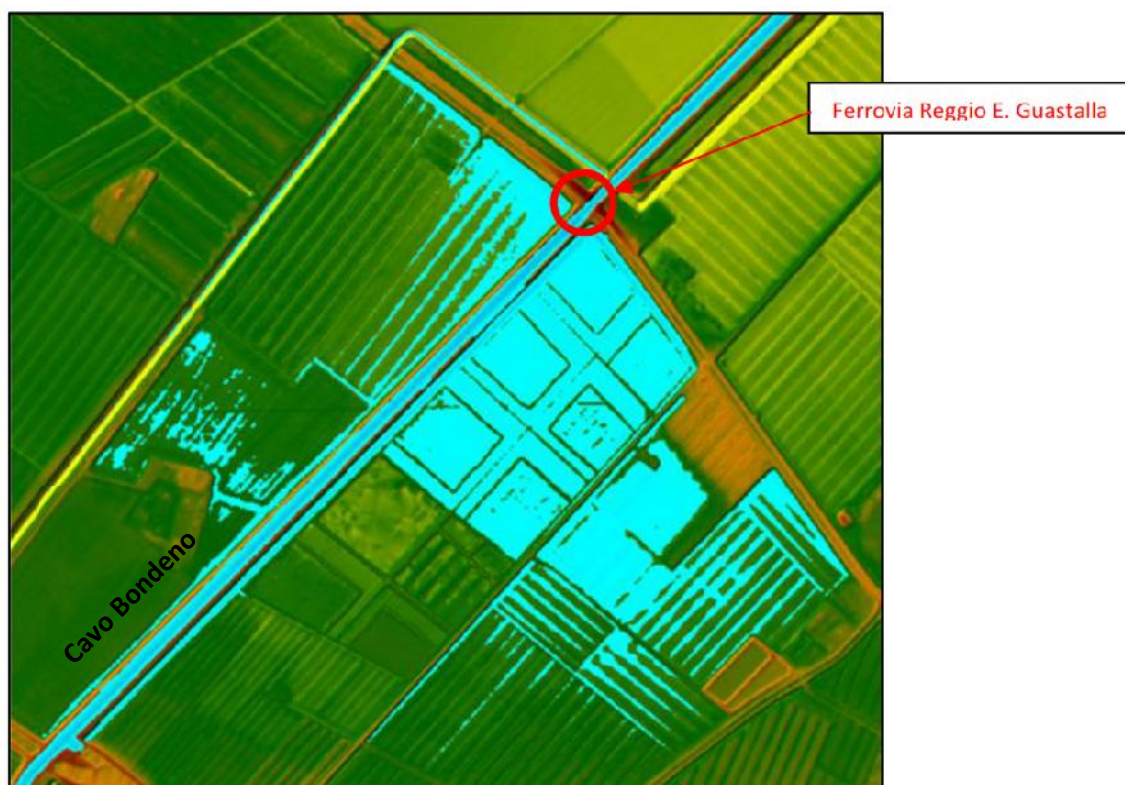


Figura 2 – Stato attuale – Stima dell'estensione delle aree allagate derivanti da modellazione idrologico – idraulica per tempi di ritorno pari a 100 anni nei pressi del ponte sulla ferrovia Ferrovia Reggio E. – Guastalla. Per dettagli si rimanda alla relazione idrologica ed idraulica allegata al materiale già depositato nell'ambito del PAUR.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

3 SINTESI STATO DI PROGETTO

Il progetto si pone l'obiettivo di adeguare il Cavo Bondeno ad eventi di piena generati da piogge aventi tempo di ritorno 100 anni e contestualmente aumentarne la capacità di accumulo per volumi destinati all'utilizzo irriguo.

L'opera si inserisce in un ambito di pianura e consiste nella realizzazione di una cassa di espansione che funziona sia come volume di laminazione delle piene del suddetto cavo che di accumulo di risorsa idrica destinata all'irrigazione. Il massimo volume idrico stoccabile nella cassa è di 1'000'000 di mc.

La Figura 3 mostra qualitativamente gli argini in progetto per il contenimento della volumetria: saranno utilizzati gli argini esistenti in destra idraulica del Cavo Bondeno e dell'Allacciante Cartoccio (linea verde in Figura 3) e contestualmente saranno realizzati nuove arginature lungo i lati Nord e Est della cassa (linee tratteggiate rosse in Figura 3).

I nuovi rilevati arginali saranno in terra, a sezione trapezia, con larghezza in sommità pari a 5 m ed altezza media di 2.00-2.50 m. La loro sommità sarà alla medesima quota di quelli esistenti del Bondeno e del Cartoccio, pari a 21.50 m slm. Il nuovo rilevato "lato est" parallelo a Strada della Vittoria presenterà una pendenza media delle scarpate pari ad 1 su 2.5 (Figura 4), con base complessivamente larga circa 19 m. Il rilevato a nord presenterà la medesima pendenza lato interno cassa (1:2.5) ma avrà una pendenza marcatamente inferiore lato campagna (1:10), con una lunghezza alla base di circa 40 m (Figura 5). Preme far notare che date le caratteristiche geometriche di quest'ultimo argine, è plausibile ritenere che un suo collasso rappresenti uno scenario estremamente improbabile.

E' prevista inoltre la realizzazione di un arginello interno alla cassa per stoccaggio di risorsa idrica a fini irrigui con sommità a quota 20.20 m slm (linea arancione in Figura 3). Infine, in fregio al Cavo Bondeno (linea blu in Figura 3), è prevista un'area ribassata di circa 2-2.50 m rispetto al terreno circostante posta a quota 16.50-17.00 m slm.

La vasca si riempirà attraverso il sollevamento di due paratoie presenti nel manufatto di invaso (Figura 6) sul Cavo Bondeno posto nell'angolo sud-ovest, in prossimità dell'immissione dell'Allacciante Cartoccio (freccia blu in Figura 3). Non è prevista nessuna opera trasversale al cavo Bondeno.

Il rilascio del volume accumulato in condizioni di piena lungo il Bondeno potrà avvenire nell'angolo nord-ovest (freccia ciano in Figura 3) all'interno del reticolo di acque basse costituito dal Dugale Vittoria che sottopassa la ferrovia e la S.P. 42 per poi scaricare nel C.A.B.R. per una portata di circa 2.5 mc/s.

Un'altra possibilità è quella di veicolare i volumi nel nuovo "diversivo" del Cavo Baciocca.

Infine, quando le quote idrometriche lo permettono, lo svuotamento della cassa può avvenire anche all'interno dello stesso Cavo Bondeno mediante il manufatto di invaso (freccia blu in figura 3).

Nella configurazione ad uso di laminazione, la quota di massimo invaso sarà di 20.80 m slm a cui corrisponde un volume massimo di 1'000'000 mc.

La cassa si invaserà in tre stadi successivi: il primo volume che si riempirà (circa 150'000 mc) sarà quello posto in fregio all'argine in destra del Cavo Bondeno fino al raggiungimento di una quota pari a circa 19 m.s.l.m. (fase A di Figura 7); successivamente sarà interessata poco più di metà della superficie della vasca fino a

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

quota 20.20 m.s.l.m. (fase B di Figura 7); infine, superato il predetto livello, anche la zona Nord della vasca verrà allagata nella sua interezza fino al livello di massimo invaso di 20.80 mslm (fase C di Figura 7).

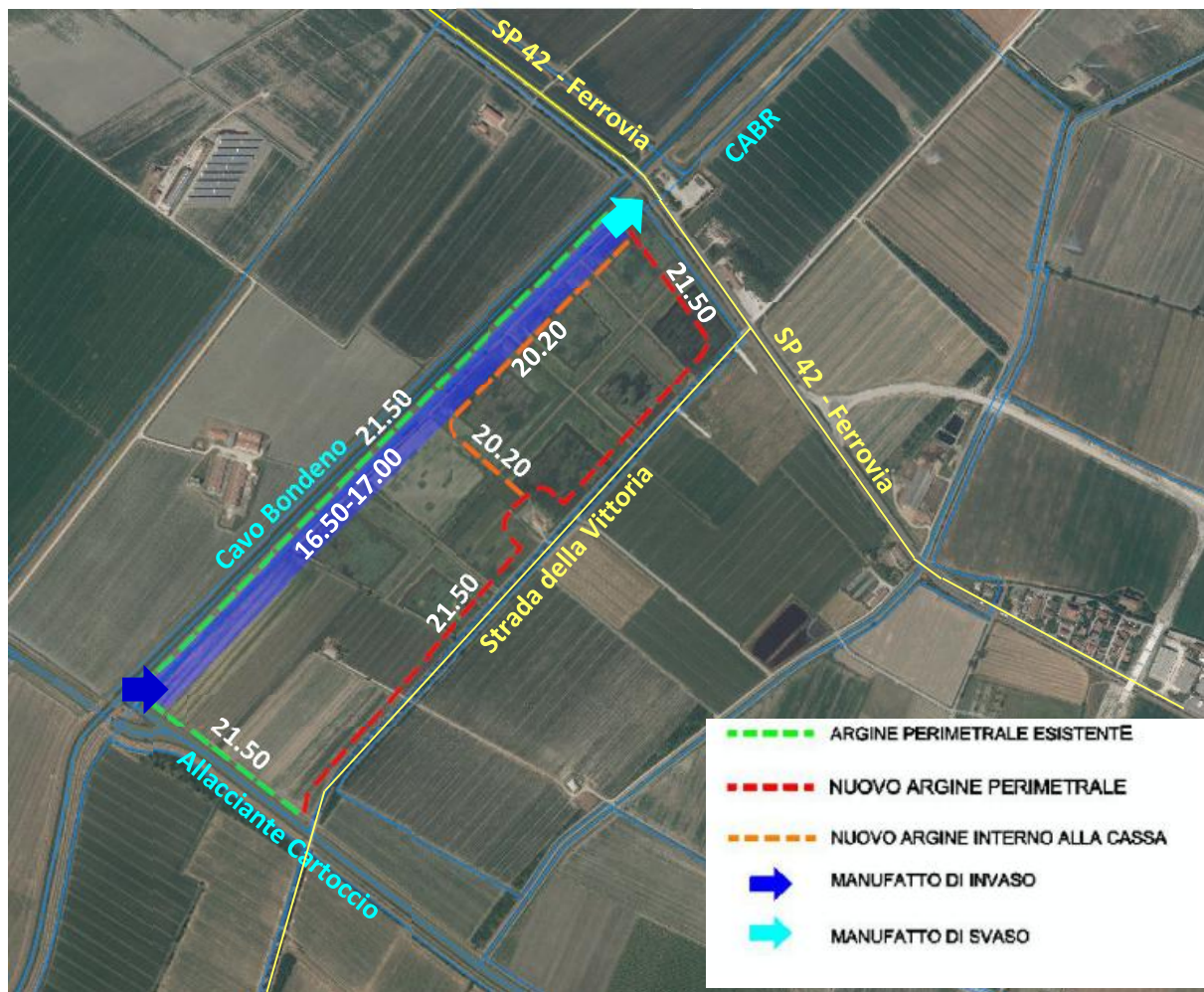


Figura 3 – Inquadramento generale della cassa di espansione in progetto. In verde gli argini esistenti dell'Allacciante Cartoccio e del Cavo Bondeno (quota 21.50 m s.l.m.). In rosso il rilevato arginale in progetto (quota 21.50 m s.l.m.). In arancione il nuovo arginello interno a quota 20.20 m s.l.m. per stoccaggio di risorsa idrica a fini irrigui. L'area evidenziata in blu in fregio al Cavo Bondeno sarà riprofilata a quota 16.50-17.00 m s.l.m. Essa risulta ribassata rispetto al terreno circostante il quale mediamente presenta una quota di 18.50-19.00 m s.l.m.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

SEZIONE TIPO 3 ARGINE EST



Figura 4 - Schema tipologico del nuovo argine perimetrale est e parallelo a Strada della Vittoria.

SEZIONE TIPO 4 ARGINE NORD est

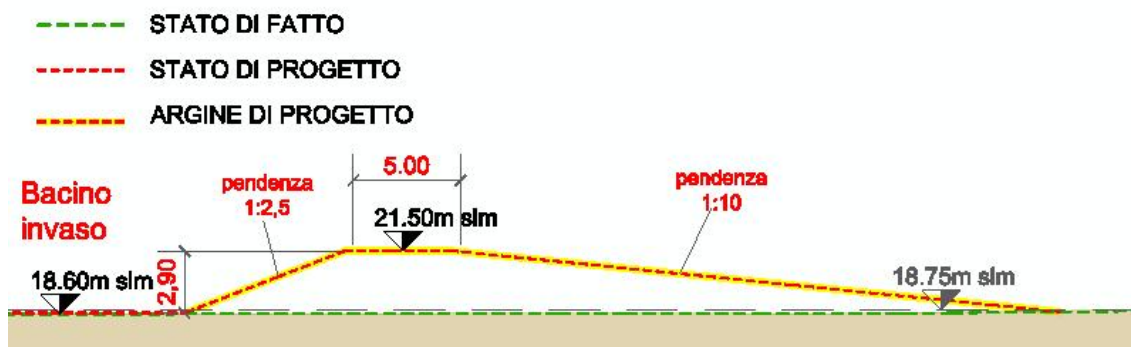


Figura 5 - Schema tipologico del nuovo argine perimetrale a nord-est.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

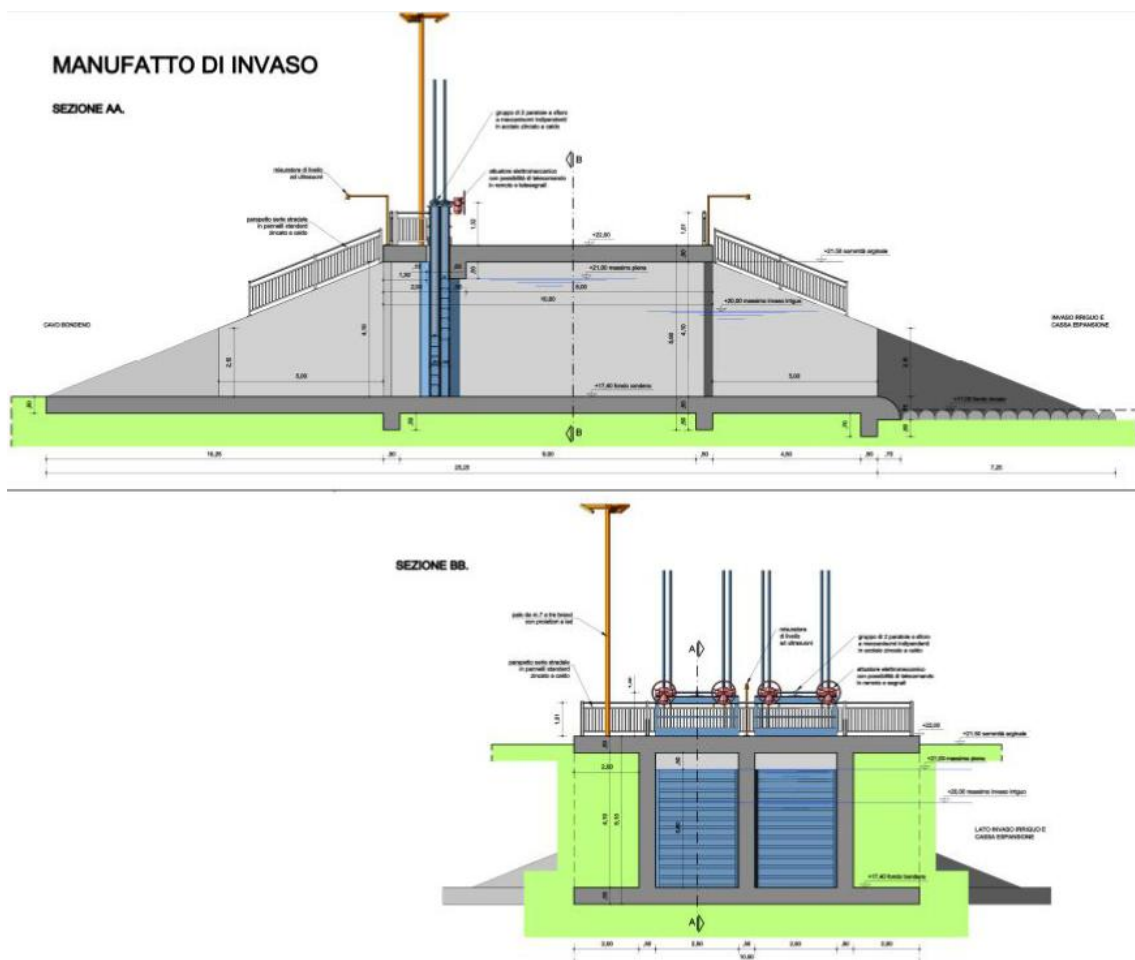


Figura 6 - Manufatto di invaso. I deflussi del Cavo Bondeno defluiranno nella cassa di espansione in progetto tramite il sollevamento di due paratoie. Per dettagli sul manufatto si rimanda agli elaborati presentati in sede di PAUR.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

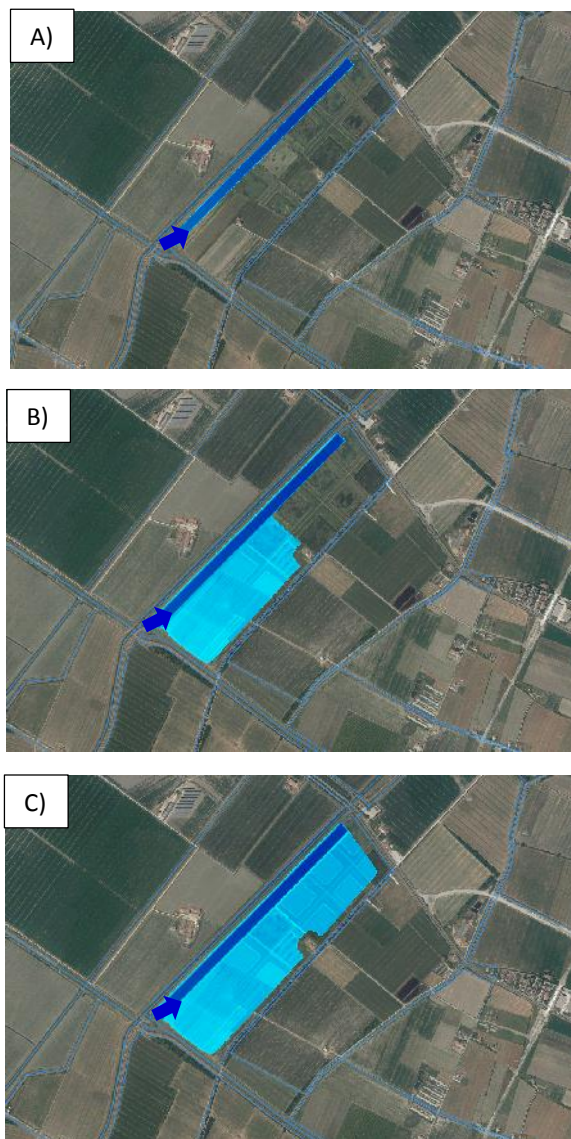


Figura 7 - Rappresentazione degli stadi di riempimento della cassa di espansione. Il primo volume che si riempie è quello posto in fregio all'argine in destra del Cavo Bondeno fino al raggiungimento di una quota pari a circa 19 m.s.l.m. (fase A). Successivamente viene interessata da sud poco più di metà della superficie della vasca fino a quota 20.20 m.s.l.m. (fase B). Superato il predetto livello anche la zona nord della vasca verrà allagata nella sua interezza fino al livello di massimo invaso di 20.80 m slm (fase C).

4 DATI UTILIZZATI E MODELLO DI CALCOLO

4.1 MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

Per le simulazioni si è utilizzato il DTM LIDAR con maglia 1mx1m del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

È necessario che il dato utilizzato abbia una risoluzione tale da consentire una corretta modellazione della rete ed una più possibile realistica rappresentazione delle dinamiche di allagamento. Per tale motivo, al fine di valutare in dettaglio le conseguenze sulla rete scolante del collasso arginale della cassa di espansione, in ambiente GRASS-GIS sono stati implementati nel DTM i canali di bonifica che drenano/irrigano il territorio, in particolare: il Dugale Vittoria, l'Allacciante Vittoria, il Cavo Baciocca, il Canale della Minara ed il CABR.

E' stata inoltre implementata la nuova tangenziale.

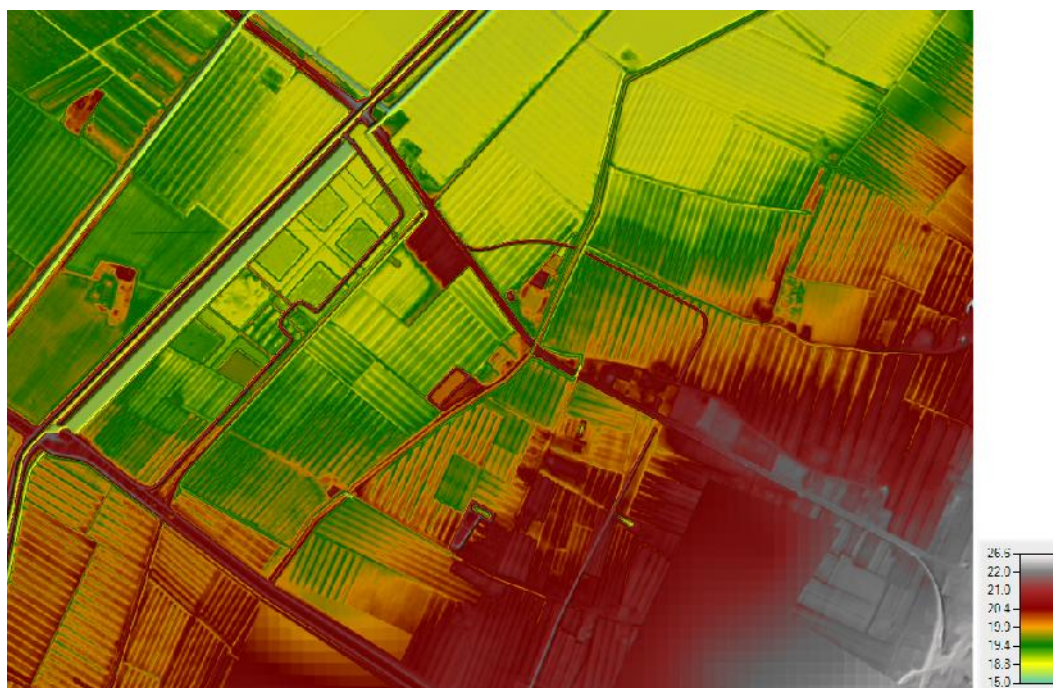


Figura 8 - DTM utilizzato nelle modellazioni idrauliche.

4.2 SOFTWARE UTILIZZATO

Le analisi sono avvenute mediante il software HEC-RAS 2D 5.0.7 dell'Hydrologic Engineering Center della US Army Corps of Engineers. E' stata adottata una modellazione bidimensionale in moto vario, con risoluzione delle equazioni complete di De Saint Venant (Full Momentum).

4.2.1 Geometria implementata

Il modello implementato prevede la schematizzazione dell'intera area mediante una griglia di calcolo 12x12 m. In corrispondenza dei canali, degli argini, della ferrovia e della viabilità sono state inserite le break lines. Queste linee hanno lo scopo di aiutare la creazione automatica della maglia computazionale. Il corso d'acqua si propaga tra le celle coprendo in un primo momento i punti più depressi della maglia, per questo la cella

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

deve avere l'ostacolo da superare lungo i suoi lati e non al suo interno, altrimenti il flusso si diffonderebbe come se l'ostacolo non esistesse. In corrispondenza delle break lines la mesh di calcolo è stata raffittita, in modo tale da riuscire a rappresentare al meglio il reticolo minore.

I sottopassi stradali quali ad esempio il Cavo Baciocca in corrispondenza del sottopasso della ferrovia e della SP 42 oppure il Dugale Vittoria nell'attraversamento di Strada della Vittoria ed i sottopassi dei canali (ad esempio il sifone del Dugale Vittoria al di sotto del Canale della Minara) sono stati inseriti come connection, weir/enbankment e culvert all'interno della mesh.

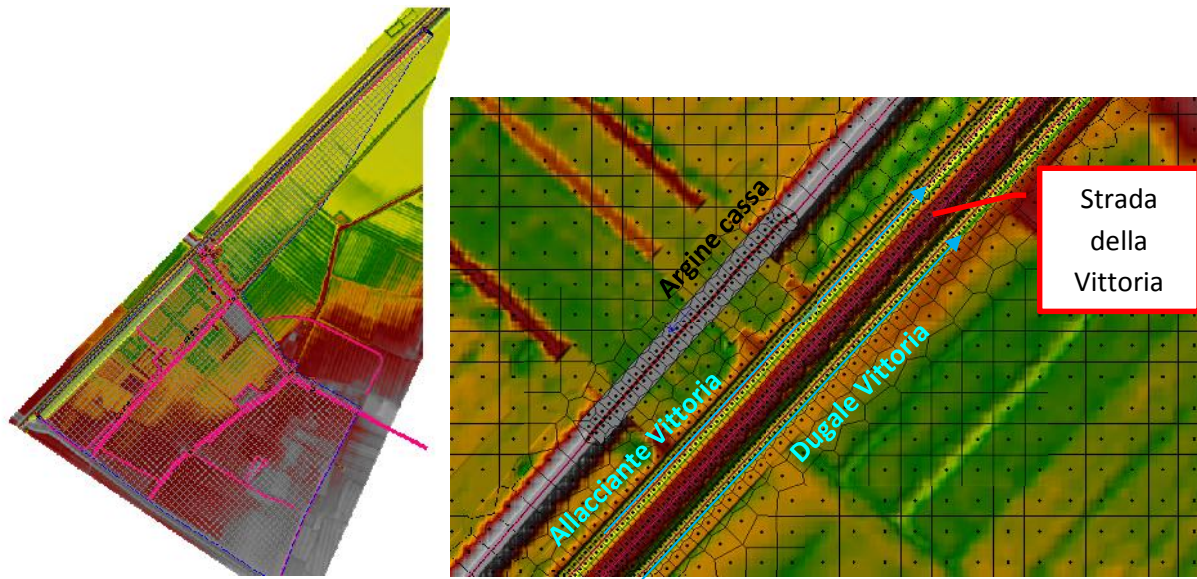


Figura 9 - A sinistra vista di insieme dell'area schematizzata in Hec-Ras (in viola le break lines); a destra esempio di raffittimento della mesh di calcolo tramite break lines in corrispondenza dei cavi e della viabilità.

4.2.2 Scabrezza e condizioni al contorno

Il software permette di variare il coefficiente di Manning tra le diverse geometrie, ma anche di variarlo in base alle zone definite dall'utente all'interno di un'unica geometria. La scabrezza rappresenta un parametro difficile da valutare perché influenzato da molteplici fattori quali, ad esempio, la tipologia di fondo del canale o del tipo di terreno che si sta valutando, la quantità e la tipologia di vegetazione presente, la morfologia del fondo e la presenza eventuale di ostruzioni sul percorso compiuto dal corso d'acqua, etc.

I valori di coefficiente di Strickler utilizzati nel modello sono stati scelti facendo riferimento al manuale del software HEC-RAS in base al tipo di terreno considerato:

- Canali: $25 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- Viabilità: $70 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- Terreno: $15 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$

Nei modelli idraulici realizzati sono state utilizzate per tutti gli scenari considerati le medesime condizioni al contorno: una che simulava il riempimento della cassa (in corrispondenza del manufatto di invaso dal Bondeno - Figura 10) le altre in corrispondenza dei cavi a valle della SP (CABR, Minara e Dugale Olmo). Come si vedrà solamente quella del CABR sarà "utilizzata" nelle modellazioni in quanto gli altri cavi sopramenzionati non vengono interessati dai deflussi.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

In corrispondenza del manufatto di invaso è stato imposto un idrogramma in ingresso, con portate e volumi fino al riempimento desiderato della cassa di laminazione.

In corrispondenza del CABR, a scopo cautelativo, è stato imposto un livello di 17.50 m s.l.m., corrispondente ad un riempimento del canale pari a 2/3 dell'altezza della sezione. Negli altri canali sopramenzionati è stata imposta l'altezza di moto uniforme con cadente 0.0003.

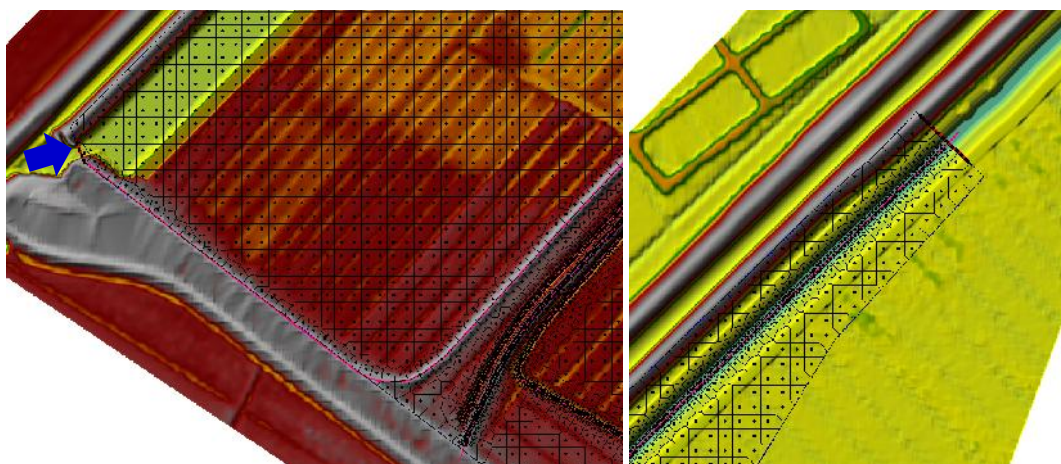


Figura 10 – Dettaglio delle condizioni al contorno in corrispondenza del manufatto di invaso (a sinistra) e del CABR (a destra).

4.2.3 Modellazione delle brecce arginali

La stima della posizione, delle dimensioni e dei tempi di sviluppo di una breccia arginale sono aspetti estremamente cruciali ed altrettanto delicati ed incerti.

I parametri di collasso influenzano la stima della portata di picco, le aree allagate nonché eventuali tempi di allerta disponibili per le località limitrofe.

In letteratura esistono molteplici studi e formulazioni a riguardo (analisi comparative con cedimenti storici, equazioni di regressione, metodi basati su tassi di erosione, etc.) ciascuno sviluppato in un determinato campo di validità e caratterizzato da propri limiti e punti di forza.

Ci sono diversi fattori scatenanti che possono portare al cedimento di un argine (un sifonamento, una tracimazione, un terremoto, un movimento franoso, etc.).

Quando si esegue un'analisi di collasso arginale, è necessario in prima fase stimare le caratteristiche della breccia. Una volta stimate, è possibile utilizzare HEC-RAS per calcolare l'idrogramma attraverso la breccia e simulare la propagazione dell'onda nel dominio di calcolo.

Nel presente studio la stima delle dimensioni delle brecce si è basata sul confronto di differenti formulazioni di letteratura e scegliendo i valori ritenuti maggiormente cautelativi.

Le formulazioni adottate schematizzano una breccia secondo la rappresentazione di Figura 11. I parametri fondamentali (anche utilizzati come input nel modello idraulico) sono la larghezza alla base, l'inclinazione dei lati ed il tempo di formazione. Tali caratteristiche dipendono, a seconda dell'autore, da diversi fattori quali ad esempio il livello idrometrico a monte, l'altezza del rilevato, il volume dell'invaso, etc. In

Tabella 1 ed in Tabella 2 sono mostrate alcune formulazioni per la stima delle possibili caratteristiche della breccia.

La cassa di espansione in oggetto presenta dei rilevati arginali di altezza variabile tra circa 2.00 e 3.00 m; secondo diverse formulazioni riportate in

Tabella 1, la larghezza della breccia che si potrebbe formare potrebbe variare da 0.5 a 5 volte l'altezza del rilevato, **cioè da 1.0 a 15 m, con tempi di formazione tra 6 minuti e 4 ore.**

Adottando altre formulazioni, ad esempio quelle riportate in Tabella 2, si ottengono valori differenti: utilizzando Johnson and Illes (1976) si avrebbe una **breccia di larghezza compresa 1.5 m e 9 m**, utilizzando le linee guida FERC (1987) la larghezza massima varrebbe circa **15 m con un tempo di sviluppo di 6 minuti**. Un'altra formulazione adottata in letteratura è quella di Froehlich (2008) - Figura 12.

Il suo campo di validità e' per opere di sbarramento come le dighe di altezza 3.05-92.96 m e per volumi di invaso compresi tra 13'900 mc e $660 \cdot 10^6$, (a rigore pertanto non potrebbe essere utilizzata nel caso in esame) ma è stata comunque considerata come confronto con altre formulazioni in virtù del suo largo utilizzo e delle differenti grandezze che compaiono nella formulazione, quali ad esempio il volume defluito attraverso la breccia (grandezza che non compare nelle sopracitate formulazioni).

A seguito di prime simulazioni di tentativo, come confermato dai risultati dettagliati nel Capitolo seguente, il volume che potrebbe fuoriuscire da una breccia potrebbe valere 450'000 mc oppure 560'000 mc a seconda della posizione in cui si ipotizza avvenire il collasso.

Applicando Froehlich (2008), a seconda del volume esondato, **le caratteristiche della breccia sarebbero: larghezza variabile tra 17.81 m e 23.15 m e tempo di formazione di 2.09 ore.**

Alla luce dell'ampia variabilità dei risultati, si è ritenuto cautelativo adottare una larghezza delle brecce di 20 m ed un tempo di sviluppo di 0.5 ore.

E' stato ipotizzato un loro sviluppo su tutta l'altezza dell'arginatura, dal livello di massimo dell'arginatura di 21.50 m slm fino al piano campagna (quota di circa 19 m slm).

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

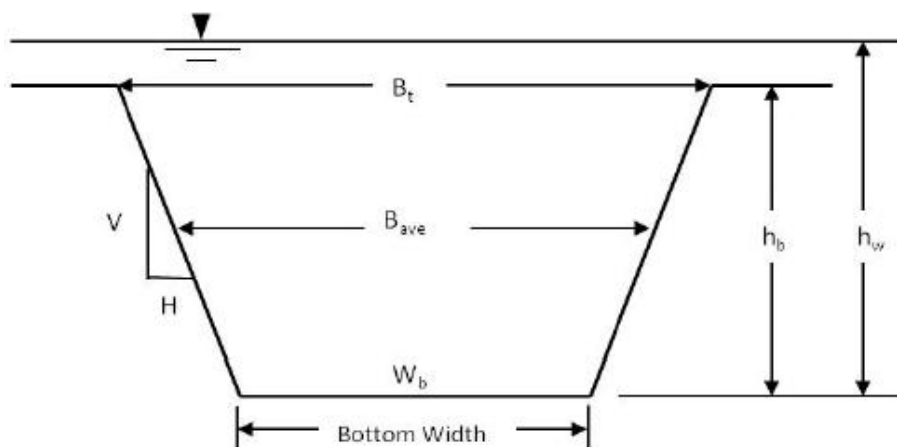


Figura 11 – Rappresentazione schematica delle principali caratteristiche di una breccia.

Tabella 1 - Range di possibili valori delle caratteristiche delle brecce (Fonte: manuale Hec-Ras – “Using Hec-Ras For Dam Break Studies”).

Dam Type	Average Breach Width (B_{ave})	Horizontal Component of Breach Side Slope (H) (H:V)	Failure Time, t_f (hours)	Agency
Earthen/Rockfill	(0.5 to 3.0) x HD	0 to 1.0	0.5 to 4.0	USACE 1980
	(1.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0	0.1 to 1.0	FERC
	(2.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0 (slightly larger)	0.1 to 1.0	NWS
	(0.5 to 5.0) x HD*	0 to 1.0	0.1 to 4.0*	USACE 2007
Concrete Gravity	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	USACE 1980
	Usually $\leq 0.5 L$	Vertical	0.1 to 0.3	FERC
	Usually $\leq 0.5 L$	Vertical	0.1 to 0.2	NWS
	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	USACE 2007
Concrete Arch	Entire Dam	Valley wall slope	≤ 0.1	USACE 1980
	Entire Dam	0 to valley walls	≤ 0.1	FERC
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	NWS
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	USACE 2007
Slag/Refuse	(0.8 x L) to L	1.0 to 2.0	0.1 to 0.3	FERC
	(0.8 x L) to L		≤ 0.1	NWS

*Note: Dams that have very large volumes of water, and have long dam crest lengths, will continue to erode for long durations (i.e., as long as a significant amount of water is flowing through the breach), and may therefore have longer breach widths and times than what is shown in Table 3. HD = height of the dam; L = length of the dam crest; FERC - Federal Energy Regulatory Commission; NWS - National Weather Service

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo
Bondeno Comune di Novellara (RE)

Tabella 2 – Riassunto delle equazioni di regressione per la stima delle dimensioni e del tempo di formazione di una breccia riportate in Wahl 1998 (Fonte: manuale Hec-Ras – “Using Hec-Ras For Dam Break Studies”).

Table 2 - Breach Parameter relations based on dam-failure case studies. For explanations of symbols see the Notation section at the end of this report.		
Reference	Number of Case Studies	Relations Proposed (S.I. units, meters, m ³ /s, hours)
Johnson and Illes (1976)	20	$0.5h_d \leq B \leq 3h_d$ for earthfill dams
Singh and Snorrason (1982, 1984)		$2h_d \leq B \leq h_d$ $0.15 \text{ meters} \leq d_{\text{on top}} \leq 0.61 \text{ meters}$ $0.25 \text{ hours} \leq t_f \leq 1.0 \text{ hours}$
MacDonald and Langridge-Monopolis (1984)		Earthfill dams: $V_{\text{er}} = 0.0261(V_{\text{out}}^* h_w)^{0.769}$ [best-fit] $t_f = 0.0179(V_{\text{er}})^{0.564}$ [upper envelope] Non-earthfill dams: $V_{\text{er}} = 0.00348(V_{\text{out}}^* h_w)^{0.852}$ [best-fit]
FERC (1987)		B is normally 2-4 times h_d B can range from 1-5 times h_d $Z = 0.25$ to 1.0 [engineered, compacted dams] $Z = 1$ to 2 [non-engineered, slag or refuse dams] $t_f = 0.1$ - 1 hours [engineered, compacted earth dams] $t_f = 0.1$ - 0.5 hours [non-engineered, poorly compacted]
Froehlich (1987)	43	$\bar{B}^* = 0.47K_o(S^*)^{0.25}$ $K_o = 1.4$ overtopping; 1.0 otherwise $Z = 0.75K_c(h_w^*)^{1.57} (\bar{W}^*)^{0.73}$ $K_c = 0.6$ with corewall; 1.0 without a corewall $t_f^* = 79(S^*)^{0.47}$
Reclamation (1988)		$B = (3)h_w$ $t_f = (0.011)B$
Singh and Scarlatos (1988)	52	Breach geometry and time of failure tendencies $B_{\text{top}}/B_{\text{bottom}}$ averages 1.29
Von Thun and Gillette (1990)	57	B, Z, t_f guidance (see discussion)
Dewey and Gillette (1993)	57	Breach initiation model; B, Z, t_f guidance
Froehlich (1995b)	63	$\bar{B} = 0.1803 K_o V_w^{0.32} h_b^{0.19}$ $t_f = 0.00254 V_w^{0.55} h_b^{(-0.90)}$ $K_o = 1.4$ for overtopping; 1.0 otherwise

Froehlich (2008): In 2008, Dr. Froehlich updated his breach equations based on the addition of new data. Dr. Froehlich utilized 74 earthen, zoned earthen, earthen with a core wall (i.e., clay), and rockfill data sets to develop a set of equations to predict average breach width, side slopes, and failure time. The data that Froehlich used for his regression analysis had the following ranges:

- **Height of the dams:** 3.05 – 92.96 meters (10 – 305 feet)
(with 93% < 30 meters, and 81% < 15 meters)
- **Volume of water at breach time:** $0.0139 - 660.0 \text{ m}^3 \times 10^6$ (11.3 - 535,000 acre-feet)
(with 86% < $25.0 \text{ m}^3 \times 10^6$, and 82% < $15.0 \text{ m}^3 \times 10^6$)

Froehlich's regression equations for average breach width and failure time are:

$$B_{ave} = 0.27 K_o V_w^{0.32} h_b^{0.04}$$

$$t_f = 63.2 \sqrt{\frac{V_w}{gh_b^2}}$$

where:

- B_{ave} = average breach width (meters)
- K_o = constant (1.3 for overtopping failures, 1.0 for piping)
- V_w = reservoir volume at time of failure (cubic meters)
- h_b = height of the final breach (meters)
- g = gravitational acceleration (9.80665 meters per second squared)
- t_f = breach formation time (seconds)

Froehlich's 2008 paper states that the average side slopes should be:

- 1.0 H:1V overtopping failures
- 0.7 H:1V otherwise (i.e., piping/seepage)

While not clearly stated in Froehlich's paper, the height of the breach is normally calculated by assuming the breach goes from the top of the dam all the way down to the natural ground elevation at the breach location.

Figura 12 - Formulazioni di Froehlich (2008) per la stima delle caratteristiche della breccia.

Le simulazioni sono avvenute ipotizzando tre differenti punti di rottura (Figura 13).

Nel modello sono state implementate degli elementi di connessione tipo weir interni alla 2D flow area di lavoro. Questa connessione interna prevede la possibilità, da parte dell'utente, di simulare la creazione di una breccia nella struttura creata. Il programma prevede l'inserimento di parametri che definiscono le caratteristiche geometriche della breccia e i suoi tempi di formazione.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo
Bondeno Comune di Novellara (RE)



Figura 13 - Individuazione qualitativa delle breccie implementate in Hec-Ras.

5 ANALISI ESEGUITE E RISULTATI

Le simulazioni sono avvenute imponendo un riempimento iniziale della cassa di espansione pari al massimo invaso di progetto (20.80 m slm e volume massimo di 1'000'000 mc) e successivamente imponendo la formazione della breccia nei rilevati arginali.

Per ogni scenario analizzato, si è cercato di descrivere la potenziale intensità del processo in termini di estensione del campo di inondazione, dei tempi di permanenza, dei tiranti idrici e delle velocità di deflusso. I risultati sono riportati sia in forma di planimetrie di allagamento che in termini di idrogrammi di portata con evidenziati i valori al colmo delle portate ed i volumi in uscita dalle brecce ipotizzate.

5.1 BRECCIA NORD

La Figura 15 mostra i livelli massimi simulati nello scenario considerato a prescindere dell'istante di simulazione in cui si sono verificati. L'idrogramma in uscita dalla breccia è mostrato in Figura 16, assieme al tempo di sviluppo e alla velocità attraverso essa. Le simulazioni suggeriscono una portata al colmo pari a 61 mc/s ed un volume complessivo esondato di circa 450'000 mc. La portata massima si registra nel momento in cui la breccia raggiunge la sua massima estensione, cioè dopo 30 minuti dall'inizio del collasso. Dopo circa 2 ore la portata si è più che dimezzata (26 mc/s), dopo 4 ore vale circa 6 mc/s. Le velocità di picco nella breccia valgono circa 1.8 m/s.

La Figura 17 e la Figura 18 mostrano il campo delle velocità simulate a differenti istanti temporali e scale.

Come in tutte le simulazioni eseguite, il rilevato ferroviario e la SP 42 costituiscono una barriera alla propagazione dei deflussi verso nord. Essi non vengono mai tracimati.

I deflussi fuoriusciti dalla breccia risalgono l'Allacciante ed il Dugale Vittoria, ed allagano le zone sia in destra che in sinistra di Strada della Vittoria da nord verso sud. Le simulazioni suggeriscono modeste tracimazioni di Strada della Vittoria, dell'ordine di 5-10 cm centimetri. Già dopo circa 2.30 ore dall'inizio dello sviluppo della breccia non vengono più segnalati sormonti della strada.

Gli allagamenti in destra a Strada Vittoria si propagano per rigurgito del Dugale Vittoria mediante il sottopasso stradale. Le modellazioni suggeriscono una massima estensione degli allagamenti dopo circa 4.5 ore dall'inizio della breccia. Le aree allagate ad est di Strada della Vittoria mostrano tiranti massimi di 30-40 cm (Figura 18). Gli argini del Canale della Minara costituiscono una barriera alla propagazione dei deflussi verso est. Nelle fasi successive, tutti gli allagamenti vengono "assorbiti" attraverso i cavi Dugale Vittoria, Allacciante Vittoria e Baciocca e convogliati nel CABR. Le simulazioni suggeriscono una portata al colmo nel CABR di circa 13 mc/s.

Ad Ovest della Strada della Vittoria, in corrispondenza di una abitazione posta circa baricentrica all'argine lato Est della cassa, si registrano livelli massimi di circa 70-100 cm dopo 2 ore dall'inizio della breccia, che dopo 4 ore si riducono a 30-40 cm e si annullano completamente dopo 10 ore.

Le abitazioni in prossimità dell'intersezione del Canale Minara e della linea ferroviaria non vengono interessate dai deflussi, ma solamente lambite.

La Figura 19 mostra i livelli idrometrici a diversi istanti temporali di simulazione. Dopo circa 12 -16 ore dall'inizio dello sviluppo della breccia gli allagamenti delle aree tra Strada Vittoria ed il Canale della Minara risultano quasi completamente assorbiti.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

La Figura 20 mostra i livelli idrometrici massimi delle sezioni mostrate in Figura 14 a prescindere dell'istante temporale in cui essi si siano verificati.

In corrispondenza della Ferrovia il livello massimo simulato risulta 20.29-20.30 m slm, circa 60 cm al di sotto del livello della linea ferroviaria nel suo punto più depresso (in corrispondenza di Strada della Vittoria – Sezione B).

Nella sezione C, il livello idrometrico massimo simulato vale 19.59 m slm, rispetto ai 20.65 m slm della sommità della linea ferroviaria.

Nella sezione D si apprezza la tracimazione lungo Strada della Vittoria; tale tracimazione non avviene nella sezione E.

Nella sezione F si nota l'argine del Canale Minara che costituisce una barriera per la propagazione degli allagamenti verso est.



Figura 14 - Traccia planimetrica delle sezioni di Figura 20.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

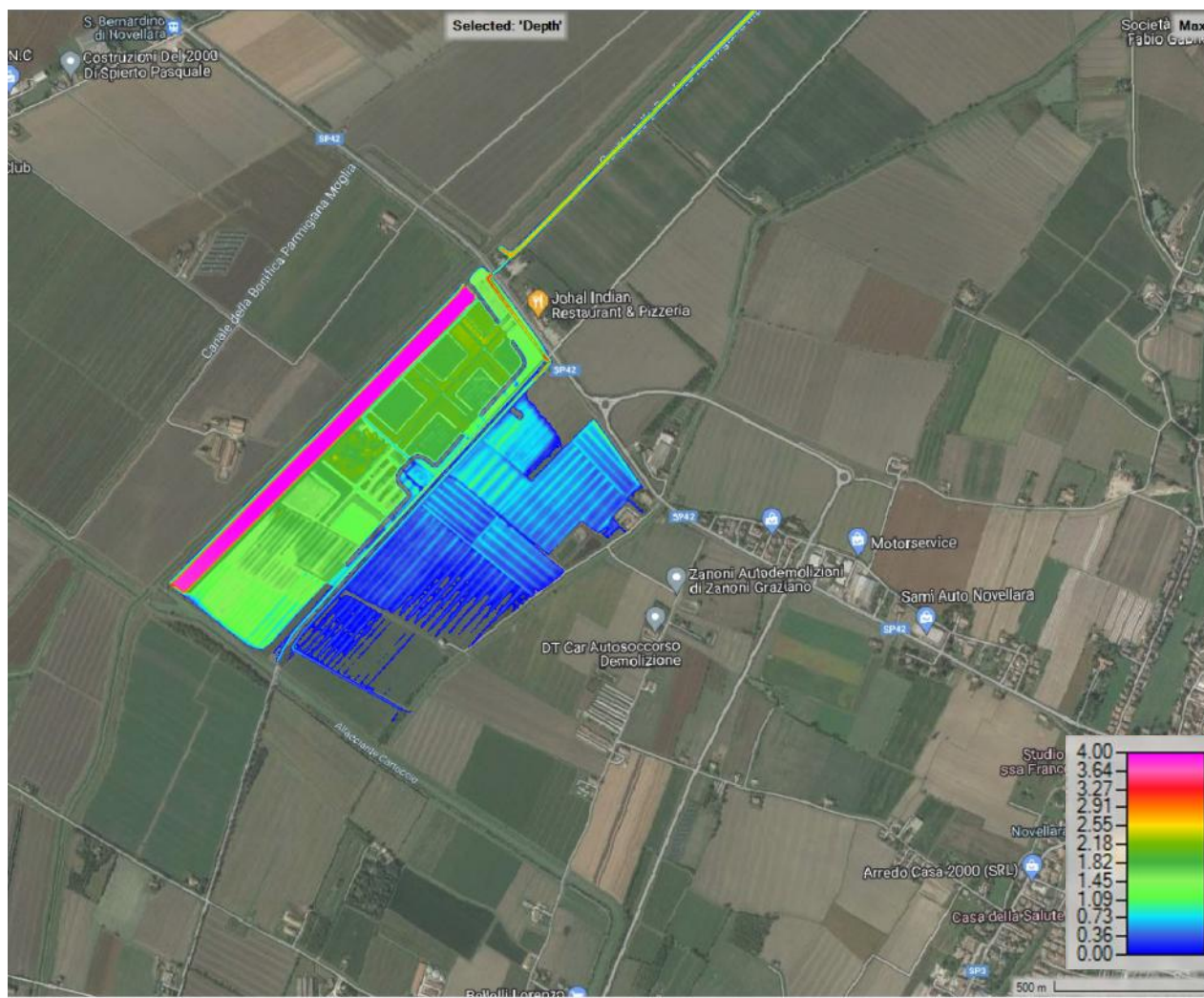


Figura 15 – Tiranti idrici massimi simulati – Scenario di collasso dell'argine nord – posizione “Nord” in Figura 13 - nell'ipotesi di livello nella cassa d'espansione pari al massimo invaso 20.80 m slm.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

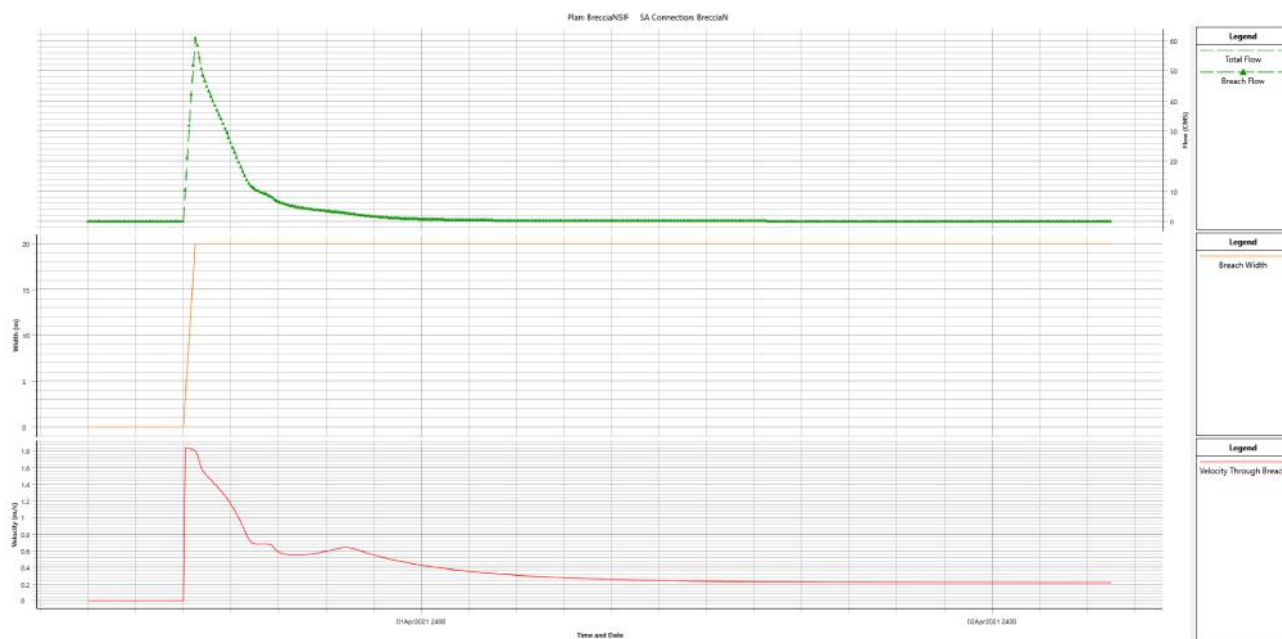
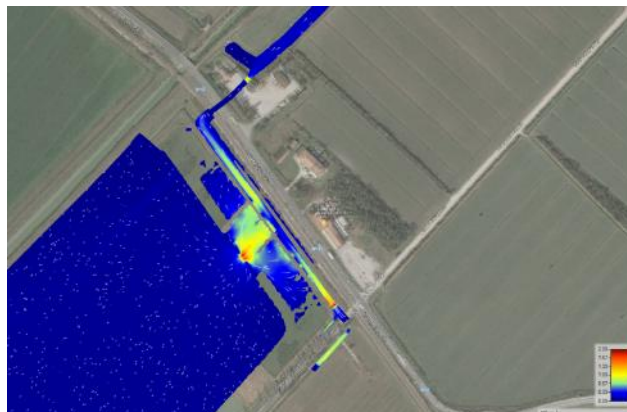


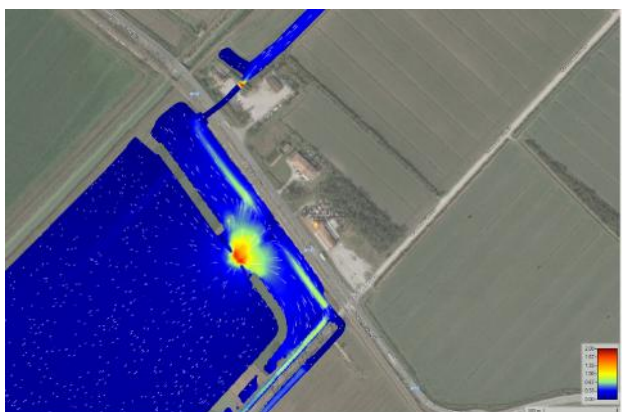
Figura 16 – Portata, larghezza e velocità attraverso la breccia - Simulazione di collasso dell'argine nord – posizione “Nord” in Figura 13 - nell'ipotesi di livello nella cassa d'espansione pari al massimo invaso 20.80 m s.l.m.



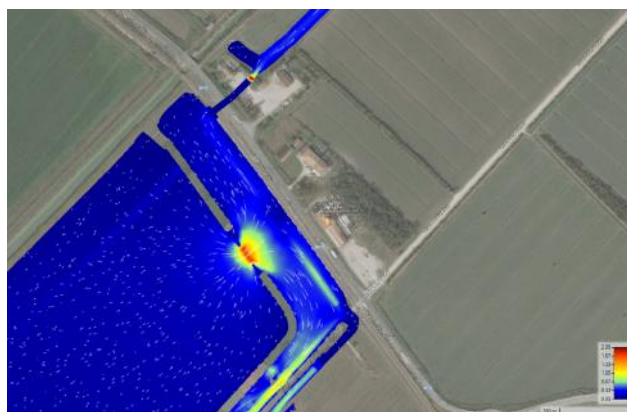
Tempo simulazione = livello di massimo invaso a 20.80 m slm



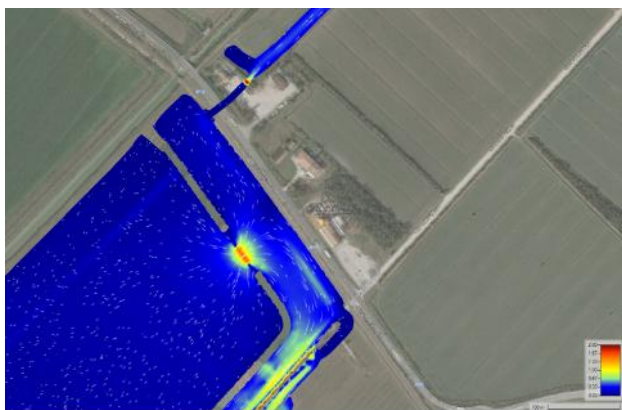
Tempo simulazione=+10 minuti da inizio formazione breccia



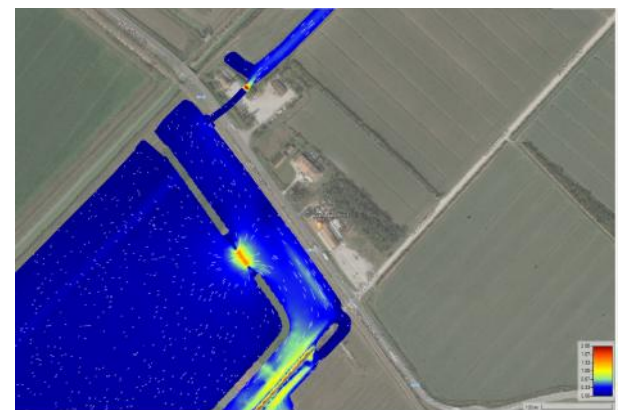
Tempo simulazione=+20 minuti da inizio formazione breccia



Tempo simulazione=+30 minuti da inizio formazione breccia (breccia completamente sviluppata)



Tempo simulazione=+40 minuti da inizio formazione breccia



Tempo simulazione=+50 minuti da inizio formazione breccia

Figura 17 - Rappresentazione del campo di velocità simulate in alcuni istanti temporali - Simulazione di collasso dell'argine nord – posizione "Nord" in Figura 13 - nell'ipotesi di livello nella cassa d'espansione pari al massimo invaso 20.80 m slm.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)



Tempo simulazione=+30 minuti da inizio formazione breccia (breccia completamente sviluppata)



Tempo simulazione=+60 minuti da inizio formazione breccia



Tempo simulazione=1.5 ore da inizio formazione breccia



Tempo simulazione=2 ore da inizio formazione breccia



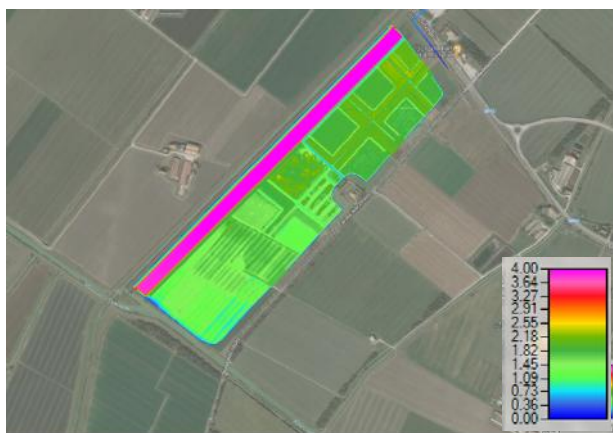
Tempo simulazione=4.5 ore da inizio formazione breccia
– Corrisponde circa al momento di estensione massima delle aree allagate



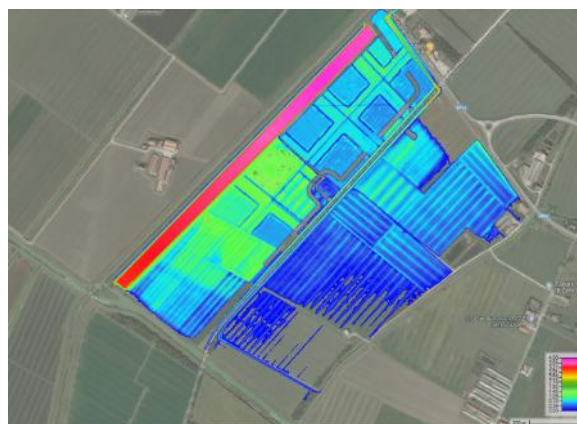
Tempo simulazione=10 ore da inizio formazione breccia

Figura 18 – Rappresentazione del campo di velocità simulate in alcuni istanti temporali - Simulazione di dell'argine nord – posizione "Nord" in Figura 13 - nell'ipotesi di livello nella cassa d'espansione pari al massimo invaso 20.80 m slm.

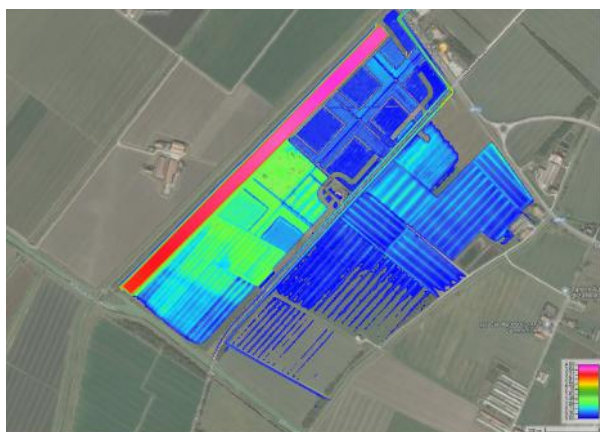
Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)



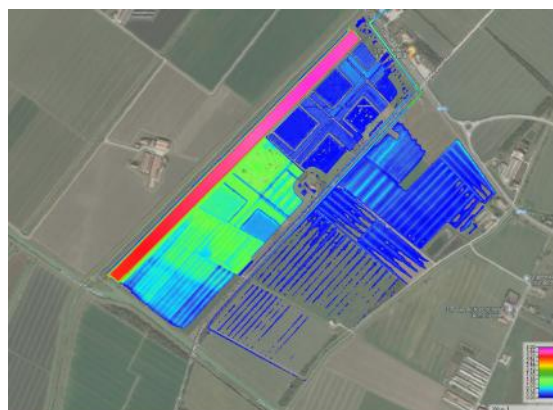
Tempo simulazione = livello di massimo invaso a 20.80 m slm



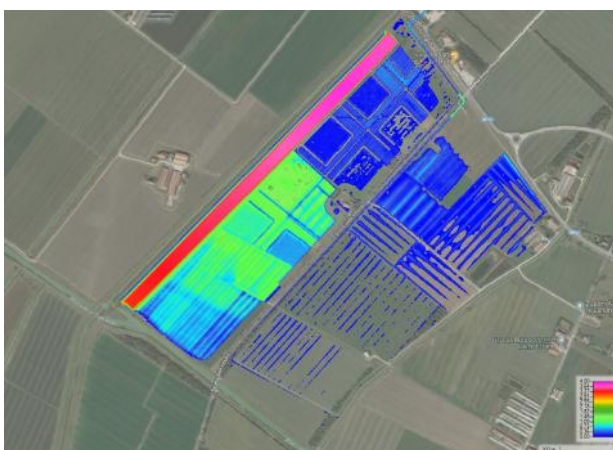
Tempo simulazione=4.5 ore da inizio formazione breccia
– Corrisponde circa al momento di estensione massima delle aree allagate



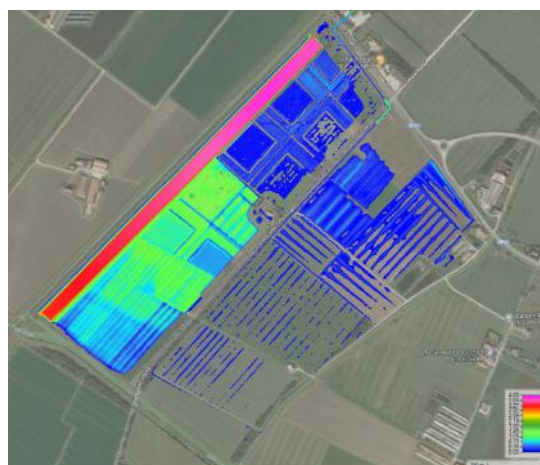
Tempo simulazione=8 ore da inizio formazione breccia



Tempo simulazione=12 ore da inizio formazione breccia



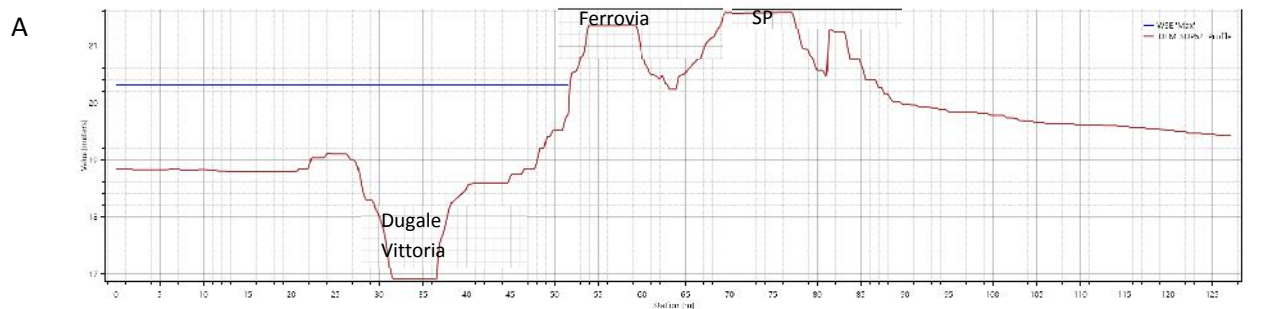
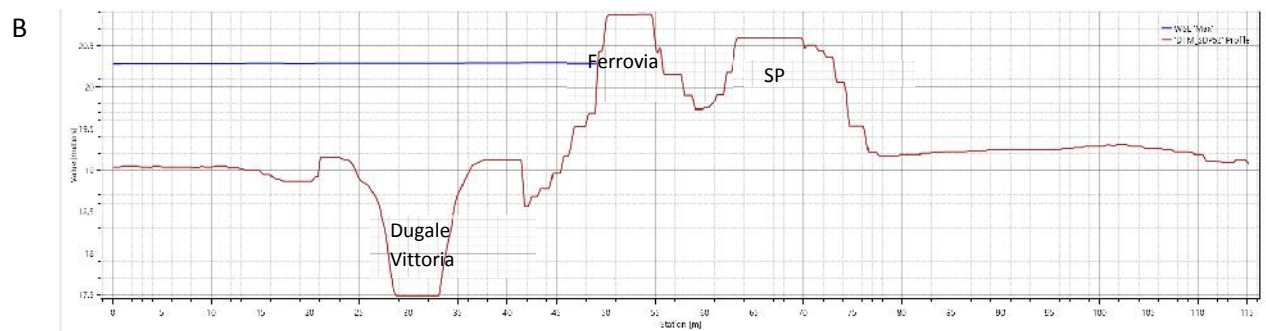
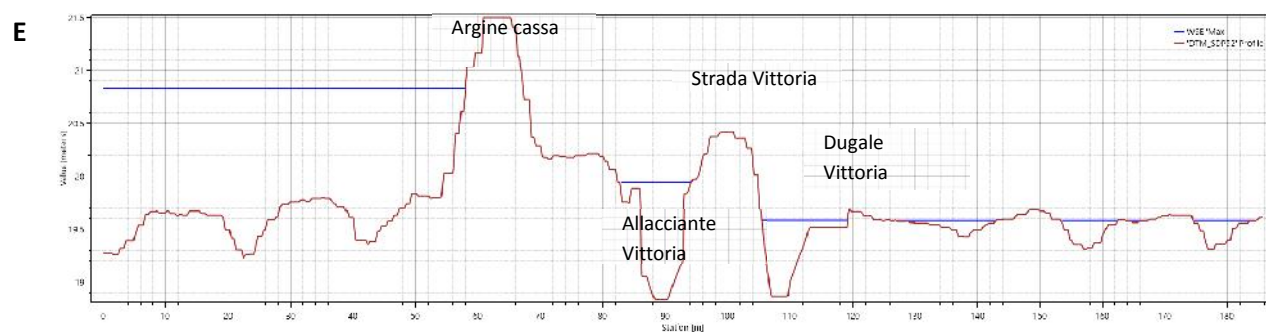
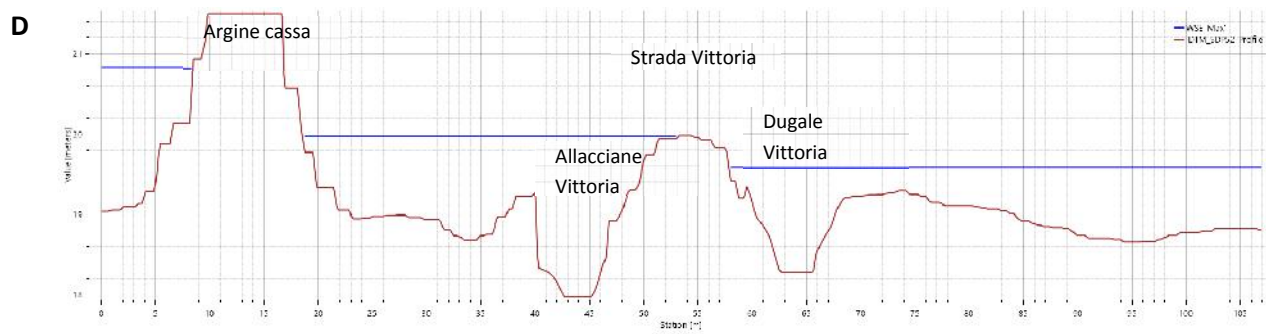
Tempo simulazione=16 ore da inizio formazione breccia



Tempo simulazione=24 ore da inizio formazione breccia

Figura 19 - Rappresentazione del tirante idrometrico in diversi istanti temporali di simulazione - Simulazione di collasso dell'argine nord – posizione "Nord" in Figura 13 - nell'ipotesi di livello nella cassa d'espansione pari al massimo invaso 20.80 m slm.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)



Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

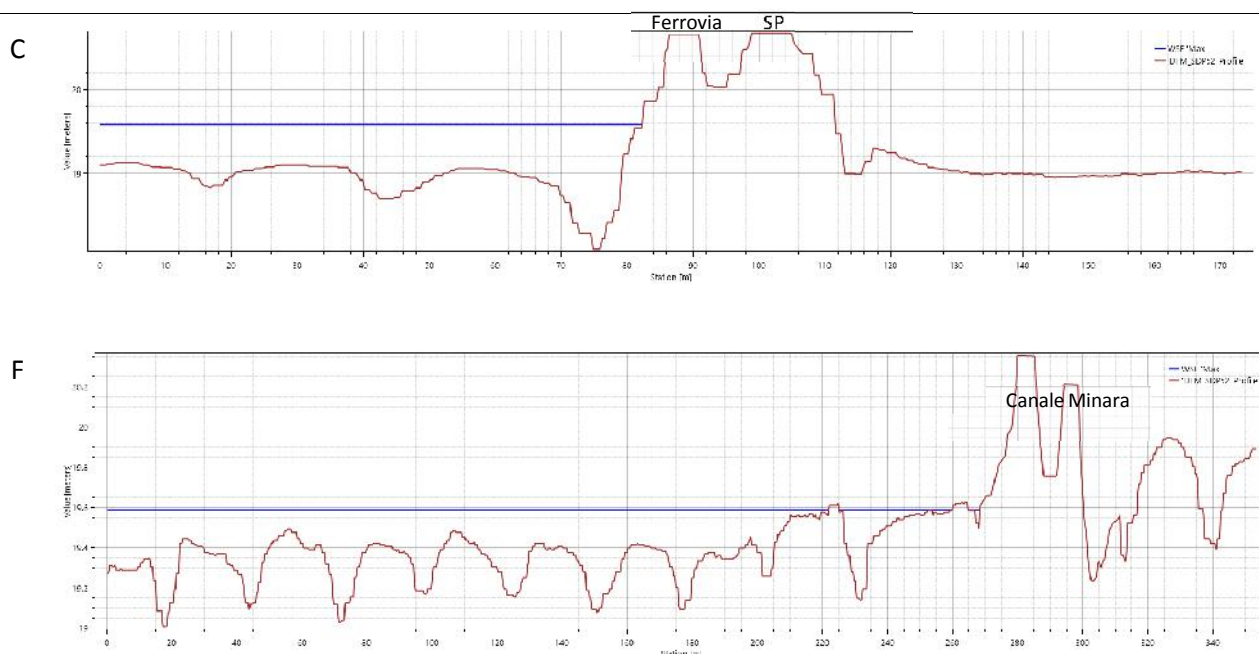


Figura 20 - Tiranti idrici massimi simulati nelle sezioni indicate in Figura 14– Scenario di collasso dell'argine nord – posizione "Nord" in Figura 13 - nell'ipotesi di livello nella cassa d'espansione pari al massimo invaso 20.80 m s.l.m.

5.2 BRECCIA CENTRO

La Figura 21 mostra i livelli massimi simulati nello scenario considerato a prescindere dell'istante di simulazione in cui si sono verificati. Le aree allagate risultano del tutto comparabili con quelle del caso precedente (Figura 15).

L'idrogramma in uscita dalla breccia è mostrato in Figura 22, assieme al tempo di sviluppo e alla velocità attraverso essa.

Le simulazioni suggeriscono una portata attraverso la breccia del tutto analoga al caso precedente, con portata al colmo pari a $Q_{\text{colmo}}=61$ mc/s ed un volume complessivo di circa 450'000 mc. Anche in questo scenario dopo circa 2 ore la portata risulta dimezzata (25 mc/s), dopo 3 ore risulta pari a 8 mc/s.

Rispetto al caso precedente, come conseguenza della posizione della breccia, Strada della Vittoria viene "immediatamente" interessata dai deflussi e tracimata. Le simulazioni mostrano tracimazioni massime di Strada della Vittoria dell'ordine di 10-15 cm centimetri.

A titolo esemplificativo, in Figura 23, viene mostrato il campo delle velocità dopo 30 minuti dall'inizio della breccia. A differenza del caso precedente, gli allagamenti delle aree tra Strada della Vittoria ed il Canale Minara sono legati in buona parte alla tracimazione sopra la strada, non per il rigurgito del Dugale Vittoria.

Analogamente all'estensione massima, la durata degli allagamenti risulta confrontabile a quella del caso precedente.

La Figura 24 mostra i livelli idrometrici in alcune sezioni (per la traccia delle sezioni si veda Figura 14).

Le aree allagate tra Strada della Vittoria ed il Canale Minara mostrano tiranti idrometrici leggermente superiori di circa 6 cm rispetto al caso precedente.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

Tale aumento è legato al maggior volume defluito in tale area per effetto della differente posizione della breccia.

Al contrario, le aree tra l'argine nord e la linea ferroviaria mostrano una marcata diminuzione del livello massimo, passando da 20.30 m slm dello scenario precedente a 19.73 m slm, aumentando il franco rispetto alla linea ferroviaria.

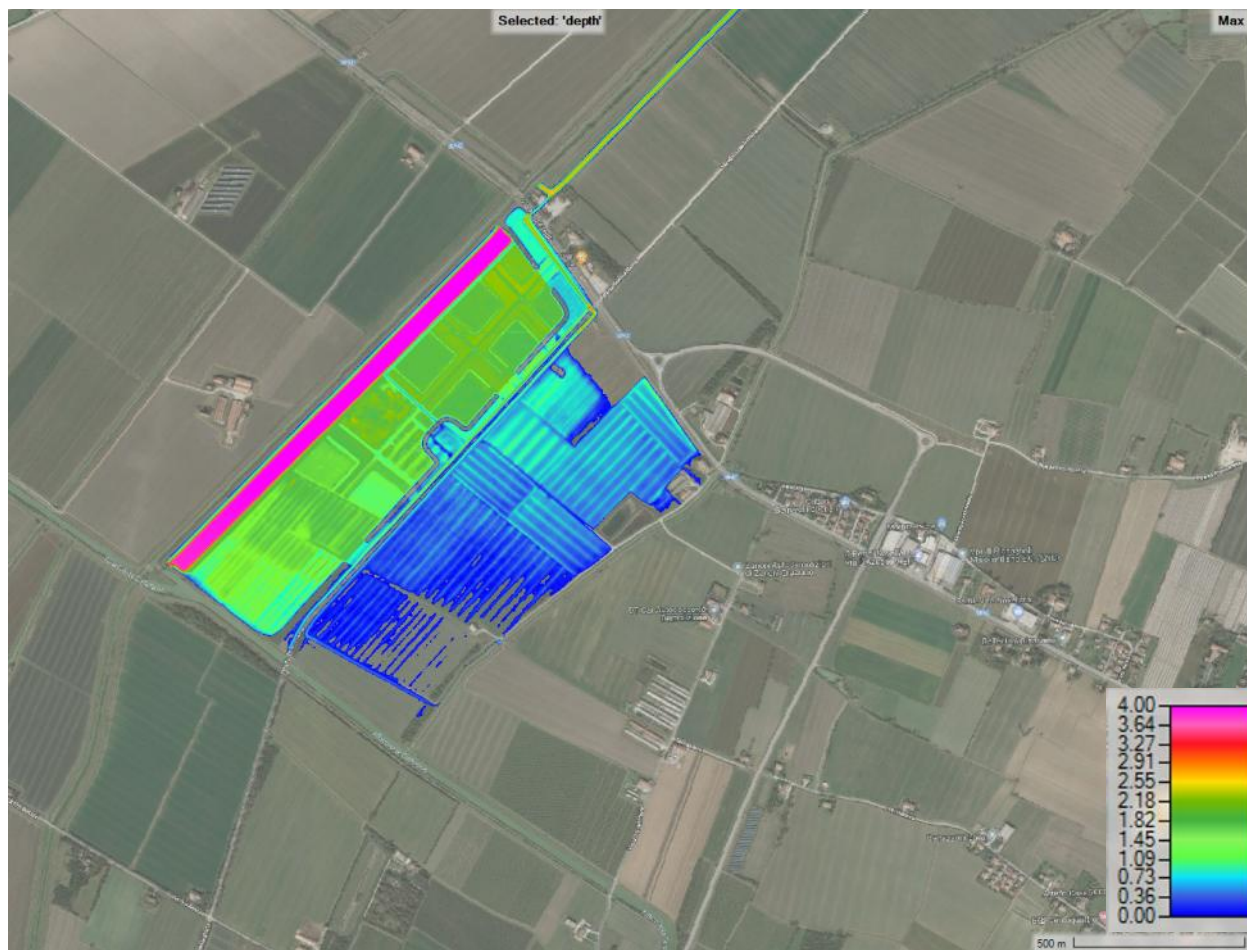


Figura 21 - Tiranti idrici massimi simulati - Scenario di collasso dell'argine est–posizione “Centro” in Figura 13 - nell'ipotesi di livello nella cassa d'espansione pari al massimo invaso 20.80 m slm.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

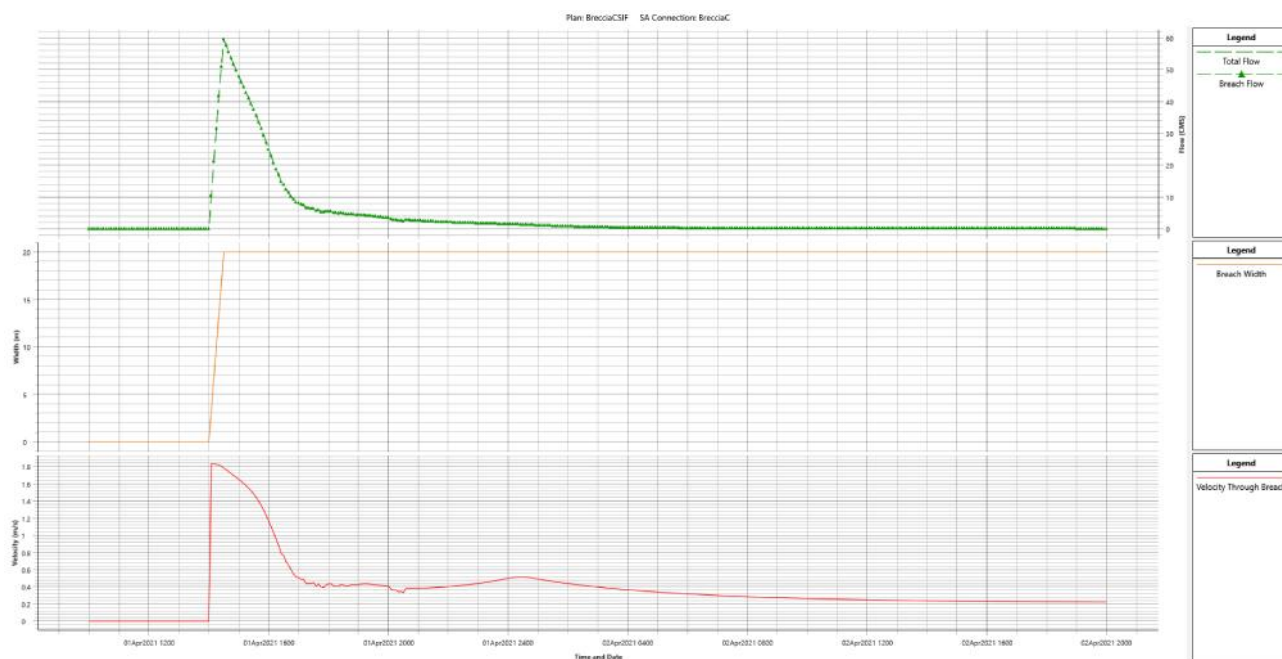


Figura 22 - Portata, larghezza e velocità attraverso la breccia - Simulazione di collasso dell'argine est – posizione “Centro” in Figura 13 - nell'ipotesi di livello nella cassa d'espansione pari al massimo invaso 20.80 m slm.

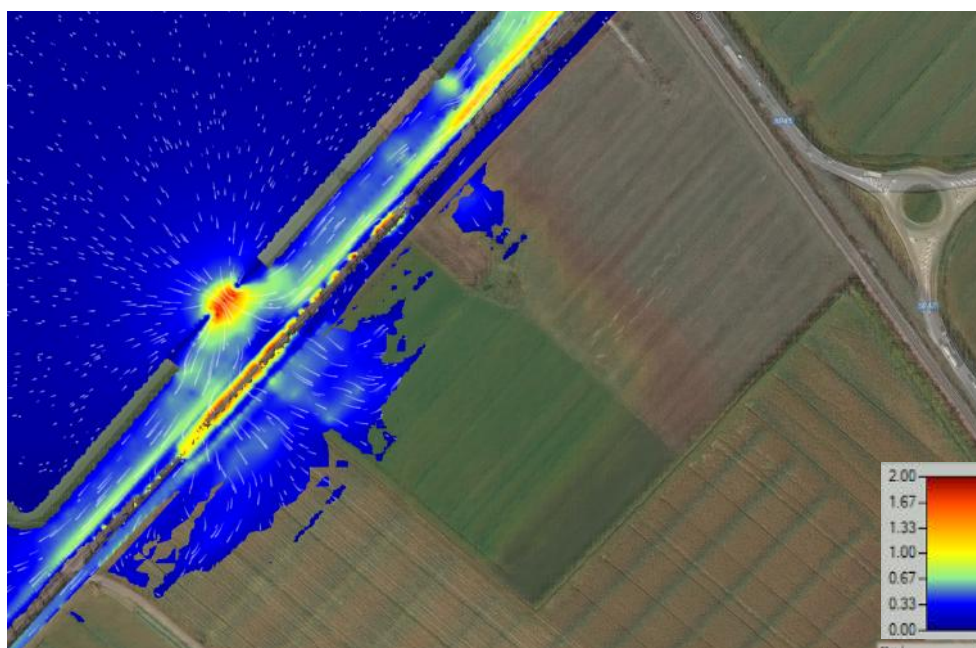


Figura 23 – Campo delle velocità simulate dopo 30 minuti dall'inizio della breccia.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

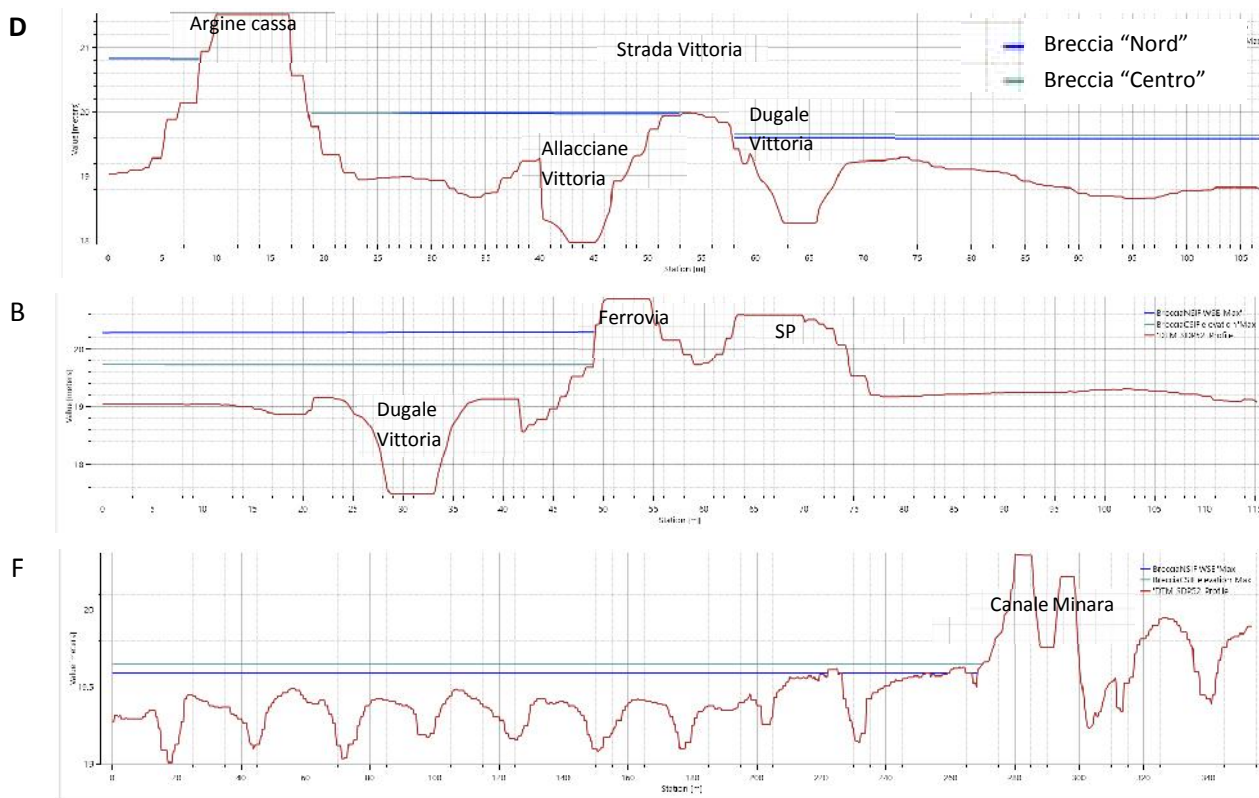


Figura 24 - Tiranti idrici massimi simulati in alcune delle sezioni indicate in Figura 17 – Confronto tra scenario di collasso dell'argine nord (linea blu) ed est "Centro" (linea ciano) nell'ipotesi di livello nella cassa d'espansione pari al massimo invaso 20.80 m s.l.m.

5.3 BRECCIA SUD

La Figura 25 mostra i livelli massimi simulati nello scenario considerato a prescindere dell'istante di simulazione in cui si sono verificati.

Le aree allagate risultano del tutto comparabili con quelle dei casi precedenti (Figura 15 e Figura 21), con un leggero aumento delle aree allagate tra Strada della Vittoria ed il Canale Minara poste in prossimità dell'Allacciante Cartoccio.

L'idrogramma in uscita dalla breccia è mostrato in Figura 26, assieme al tempo di sviluppo e alla velocità attraverso essa.

Le simulazioni suggeriscono una portata al colmo attraverso la breccia inferiore rispetto al caso precedente, pari a 45 mc/s. Tale diminuzione è da imputarsi probabilmente alla differenza di quota del terreno circostante la breccia: nello scenario qui considerato vale circa 19.10-19.30 m s.l.m., nei casi precedenti valeva circa 18.80-19.00 m s.l.m.

Nel caso in esame il volume fuoriuscito dalla breccia risulta tuttavia superiore rispetto ai casi precedenti e pari a 560'000 mc. Tale differenza è legata alla presenza dell'arginello interno alla cassa posto a quota 20.20 m s.l.m che, a seconda della posizione della breccia, blocca una parte dei volumi invasi "a nord" o "a sud" di esso.

Rispetto ai casi precedenti la diminuzione della portata nel tempo risulta leggermente inferiore: dopo circa 2 ore la portata risulta dimezzata (16 mc/s), dopo 3 ore 11 mc/s, dopo 5 ore risulta pari a 8 mc/s.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

Anche in questo caso, come conseguenza della posizione della breccia, Strada della Vittoria viene “immediatamente” interessata e tracimata dai deflussi.

La Figura 24 mostra i livelli idrometrici in alcune sezioni (per la traccia delle sezioni si veda Figura 14).

Nella sezione D (lungo Strada della Vittoria) le aree allagate alla sua destra mostrano tiranti idrometrici massimi pari a 19.47 m slm, inferiori di circa 17 cm rispetto al caso precedente e di circa 11 cm rispetto allo scenario di breccia “Nord”.

Anche le aree tra l’argine nord e la linea ferroviaria (Sezione B) mostrano una marcata diminuzione del livello massimo, passando a 19.43 m slm rispetto a 19.73 m slm dello scenario precedente e 20.30 m slm dello scenario “breccia Nord”.

Le differenze di livelli idrometrici nelle sezioni suddette sono probabilmente legate ai differenti idrogrammi in uscita dalla breccia ed alle distanze tra le sezioni e le breccie considerate (aspetto che incide sulla laminazione delle portate). Modesti incrementi di livello massimo si hanno invece nelle aree in prossimità dell’Allacciante Cartoccio, nei pressi della breccia, che prima non venivano lambite dai deflussi.

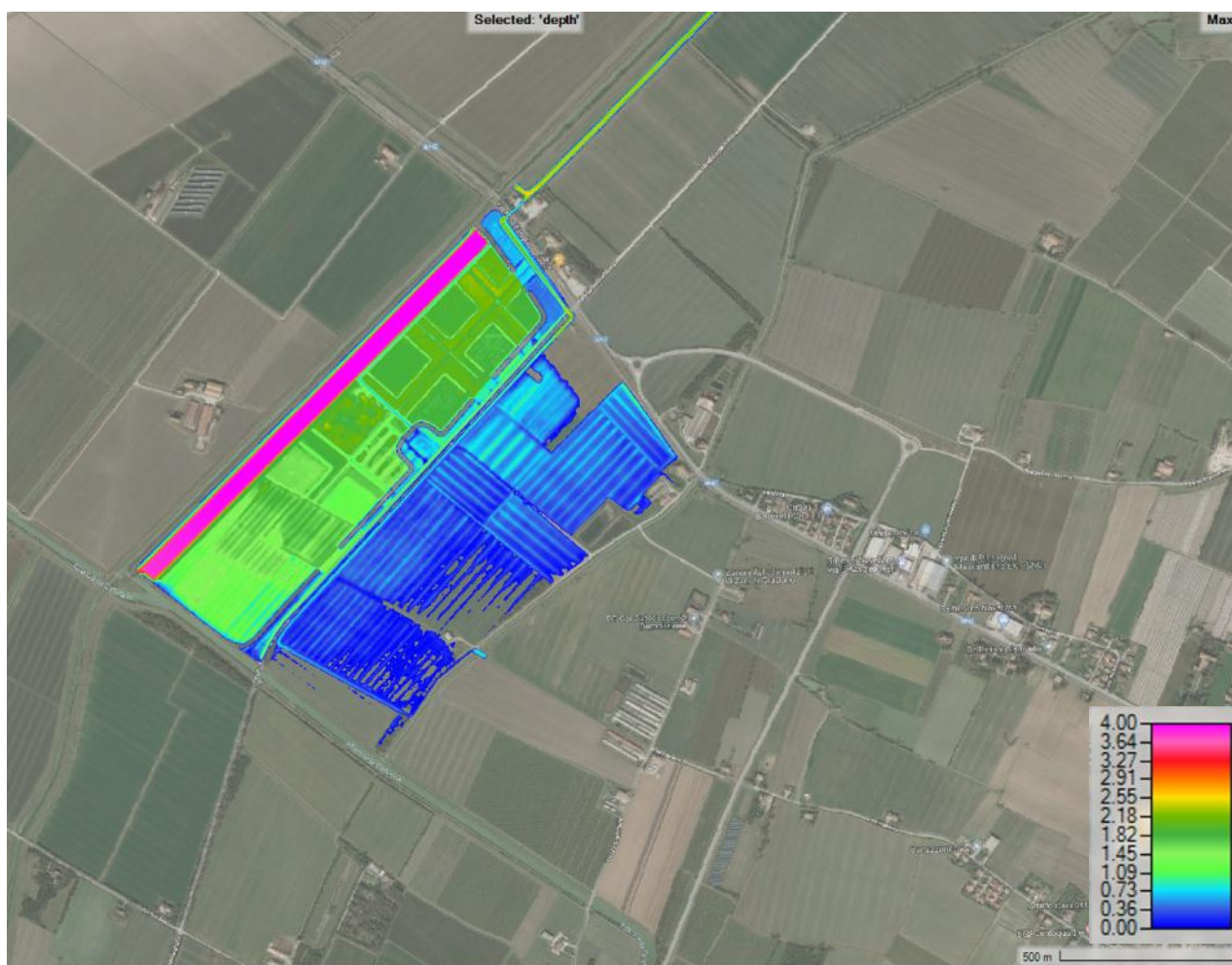


Figura 25 - Tiranti idrici massimi simulati - Scenario di collasso dell'argine est – posizione “Sud” in Figura 13 - nell’ipotesi di livello nella cassa d’espansione pari al massimo invaso 20.80 m slm.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno Comune di Novellara (RE)

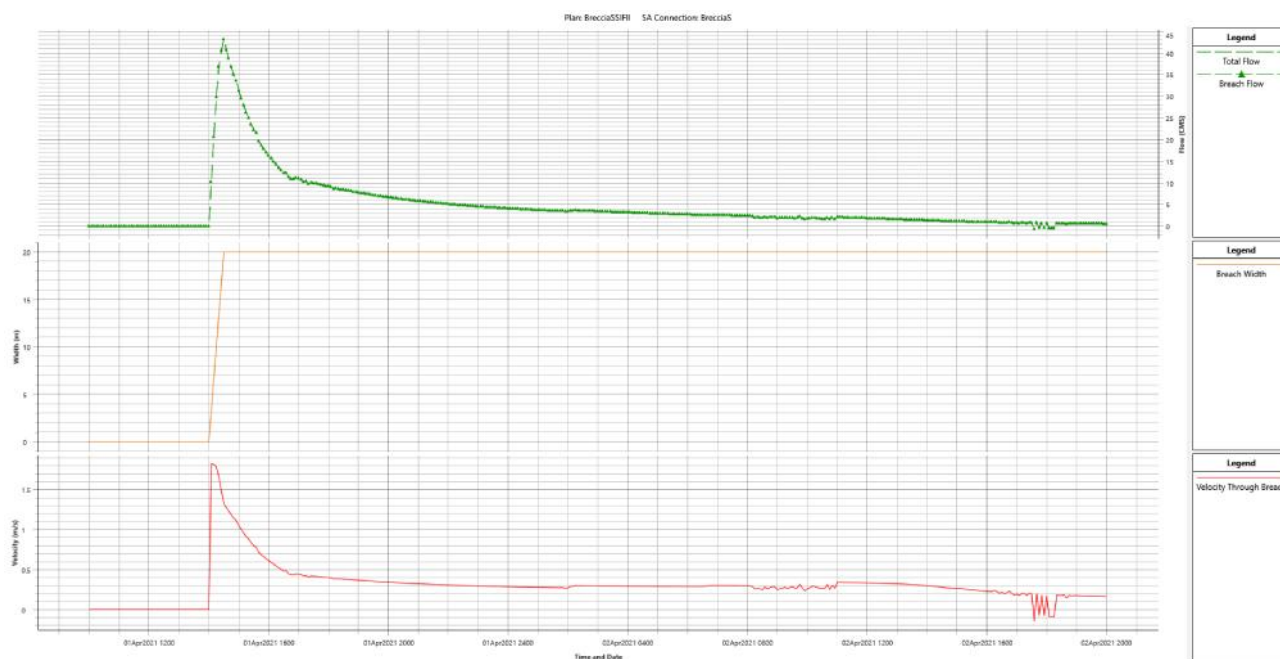


Figura 26 - Portata, larghezza e velocità attraverso la breccia - Simulazione di collasso dell'argine est – posizione “Sud” in Figura 13- nell'ipotesi di livello nella cassa d'espansione pari al massimo invaso 20.80 m slm.

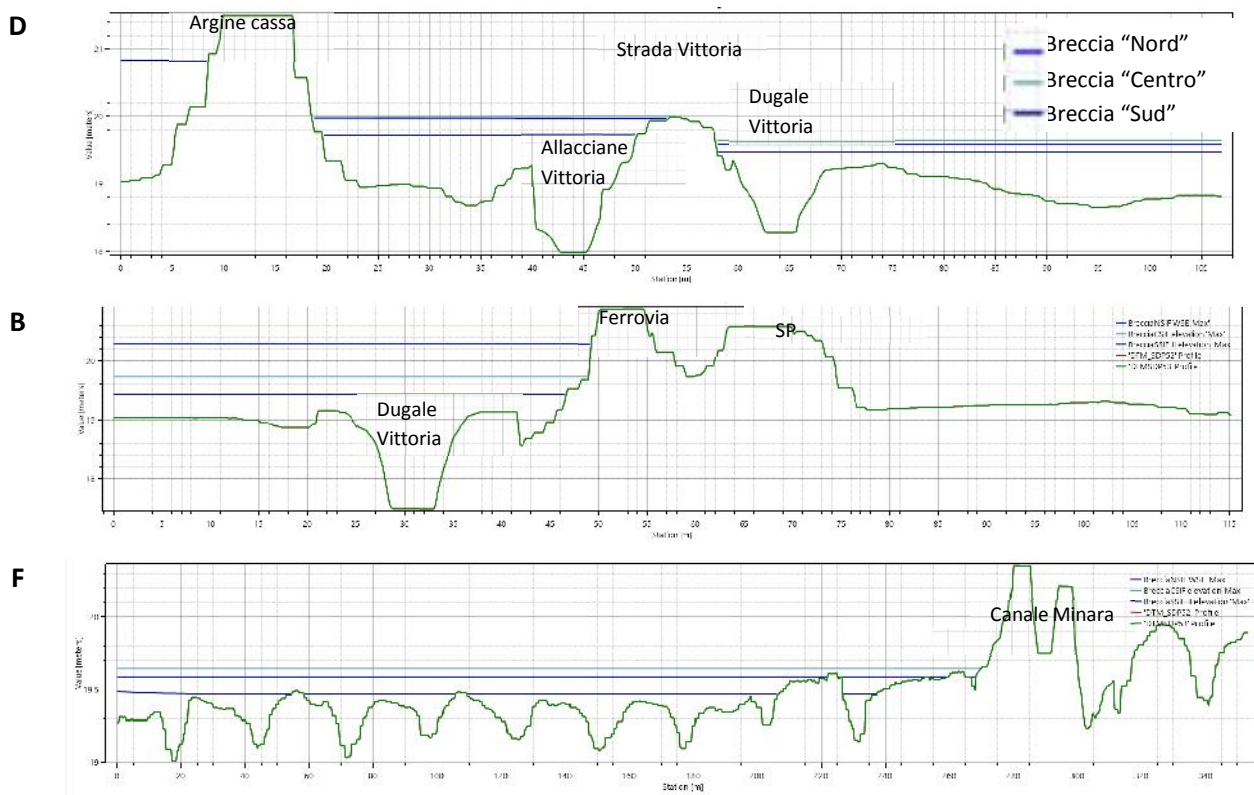


Figura 27 - Tiranti idrici massimi simulati in alcune delle sezioni indicate in Figura 17 – Confronto tra i tre scenari di collasso ipotizzati: breccia “Nord” (linea blu), breccia “Centro” (linea ciano), breccia “Sud”. Gli scenari fanno riferimento all'ipotesi di livello nella cassa d'espansione pari al massimo invaso 20.80 m slm.

6 CONCLUSIONI

La presente relazione tratta gli scenari di allagamento a seguito del collasso dei rilevati arginali di progetto nella cassa in progetto sul Cavo Bondeno.

Gli scenari analizzati fanno riferimento all'ipotesi di collasso concomitante il massimo livello di progetto nell'invaso (20.80 m slm e volume massimo di 1'000'000 mc).

Le analisi sono avvenute ipotizzando tre differenti posizioni delle brecce. E' stato utilizzato il software Hec-Ras con modellazione bidimensionale.

In estrema sintesi, le aree allagate risultano quasi totalmente a vocazione agricola e sono limitate a nord dal rilevato della linea ferroviaria Reggio Emilia-Guastalla e della SP 42, ad est dal rilevato arginale del Canale della Minara. A sud e a ovest limitano gli allagamenti gli argini del Cavo Bondeno e dell'Allacciante Cartoccio.

Le simulazioni non mostrano sormonti della ferrovia Reggio Emilia-Guastalla e della SP 42.

Al contrario, a seconda della posizione di sviluppo della breccia, le modellazioni mostrano sormonti massimi di 10-15 cm di Strada della Vittoria più o meno estesi e solo nel tratto in fregio alla cassa.