



Agenzia per la sicurezza territoriale e la protezione civile
Regione Emilia-Romagna

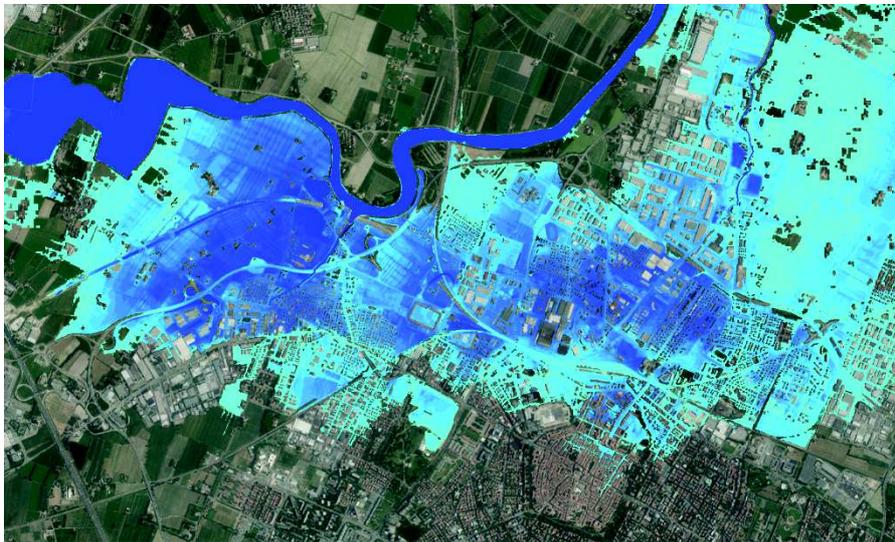


Dipartimento di Ingegneria e Architettura – DIA
Università degli Studi di Parma

PROGETTO RESILIENCE

(REsearches on Scenarios of Inundation of Lowlands Induced by Embankment
Collapses in Emilia-Romagna)

Relazione delle attività del POA 2017



Gruppo di ricerca:

Prof. Paolo Mignosa, Ing. Renato Vacondio, Ing. Susanna Dazzi,
Ing. Francesca Aureli, Ing. Alessia Ferrari, Ing. Federico Prost (DIA)

Parma, ottobre 2018

Sommario

1.	INTRODUZIONE.....	1
2.	ASSETTO GEOMETRICO DELL'AREA.....	2
2.1.	Inquadramento dell'area di studio.....	2
2.2.	Rilievi LiDAR e loro elaborazioni.....	3
2.3.	Trattamento dell'area urbana di Modena.....	6
3.	PORTATE DI PIENA.....	12
3.1.	Fiume Secchia.....	12
3.1.1.	Determinazione delle onde di piena in ingresso alla cassa d'espansione di Rubiera	12
3.1.2.	Determinazione delle onde di piena in uscita dalla cassa d'espansione di Rubiera	12
3.2.	Fiume Panaro.....	14
4.	MODELLO NUMERICO.....	17
5.	COSTRUZIONE DEL MODELLO.....	18
5.1.	Generazione della griglia multi-risoluzione.....	18
5.1.1.	Griglia per la simulazione delle brecce vallive sul fiume Panaro.....	18
5.1.2.	Griglia per la simulazione delle brecce in zona urbana.....	18
5.2.	Scelta della scabrezza.....	20
5.3.	Condizioni al contorno.....	25
5.4.	Brecce.....	26
6.	SIMULAZIONI E RISULTATI.....	29
6.1.	Simulazioni preliminari in assenza di brecce.....	29
6.1.1.	Secchia.....	29
6.1.2.	Panaro.....	31
6.2.	Simulazioni degli allagamenti conseguenti alle brecce.....	33
6.2.1.	Prodotti restituiti per ciascuna simulazione.....	33
6.2.2.	Descrizione generale dei risultati: brecce sul fiume Secchia.....	37
6.2.3.	Descrizione generale dei risultati: brecce sul fiume Panaro.....	39
6.2.4.	Velocità idriche e pericolosità.....	43
7.	CONCLUSIONI.....	44
8.	INDICE DELLE FIGURE.....	45
9.	INDICE DELLE TABELLE.....	47
10.	ELENCO DELLE TAVOLE PRESENTI NELL'ALLEGATO.....	48
11.	ELENCO DEI PRODOTTI DIGITALI ALLEGATI.....	52
12.	BIBLIOGRAFIA.....	63

1. INTRODUZIONE

La presente Relazione Tecnica descrive le attività svolte dal gruppo di ricerca del Dipartimento di Ingegneria e Architettura dell'Università degli Studi di Parma (d'ora in poi DIA) nell'ambito del terzo Piano Operativo Annuale (POA) di attuazione della convenzione quadro quinquennale tra l'Agenzia regionale di Protezione Civile (d'ora in poi Agenzia) e l'ex DICATeA (ora DIA) per “attività di studio, ricerca e supporto tecnico, scientifico e informativo nelle attività di protezione civile per il rischio idraulico”, approvata con deliberazione di Giunta Regionale n. 1558 del 20 ottobre 2015.

In particolare il POA 2017 prevedeva, secondo un articolato protocollo, di sviluppare un'attività di studio e simulazione numerica riguardante “*Scenari di allagamento conseguenti a rotte arginali nel comparto compreso tra fiume Secchia a ovest, fiume Panaro a est e fiume Po a nord (Rif. ambito di attività C, allegato B della DGR 1558/2015)*”.

L'attività del terzo anno, come riportato nella Determinazione Dirigenziale n. 3798 del 20 novembre 2017, si è concentrata sulla simulazione di scenari di allagamento conseguenti a rotte dell'argine del fiume Secchia in destra idraulica tra la cassa d'espansione e Ponte Alto, nonché a rotte dell'argine del fiume Panaro in sinistra idraulica tra Ponte Sant'Ambrogio e l'attraversamento della ferrovia MI-BO e tra Camposanto e Bondeno, rimandando a successivi POA il completamento degli scenari derivanti da rotte arginali (in destra idraulica) sul fiume Po. Poiché la finalità della succitata attività è quella di migliorare la conoscenza del rischio e favorire lo sviluppo di conoscenze tecniche e scientifiche adeguate alla gestione delle alluvioni, come richiesto anche dalla Piano di Gestione delle Alluvioni (PRGA) previsto dalla Direttiva Alluvioni (2007/60/CE), al progetto è stato assegnato il titolo **RESILIENCE**, acronimo di “*REsearches on Scenarios of Inundation of Lowlands Induced by EmbaNkment Collapses in Emilia-Romagna*”.

La presente relazione è accompagnata da una corposa serie di prodotti digitali, consistenti in filmati dell'evoluzione dell'allagamento ed in mappe georeferenziate delle principali caratteristiche, come previsto nell'Allegato A del programma operativo delle attività relativo alla terza annualità.

2. ASSETTO GEOMETRICO DELL'AREA

2.1. Inquadramento dell'area di studio

Il territorio oggetto di analisi (Figura 2-1) è il comparto compreso tra i due affluenti consecutivi di destra del fiume Po, Secchia e Panaro, e delimitato a Nord dallo stesso fiume Po e a Sud dalla città di Modena. Tale area, di estensione superiore a 1100 km², risulta potenzialmente inondabile in seguito a rotte arginali in destra idraulica del fiume Secchia, in sinistra idraulica del fiume Panaro ed anche, limitatamente alla parte più a Nord, a rotte arginali in destra idraulica del fiume Po.

L'area analizzata include inoltre:

- l'alveo del fiume Secchia compreso tra la sezione di uscita dalla cassa di espansione di Rubiera-Campogalliano e la sezione immediatamente a monte della confluenza con il fiume Po, in corrispondenza dell'idrometro di San Siro, per una lunghezza complessiva di circa 83 km. A valle della cassa d'espansione il fiume risulta arginato, in destra idraulica, a partire dalla confluenza con il Canalazzo Cittanova, in prossimità del deposito ferroviario della linea RFI Cittanova-Modena San Cataldo. A valle dell'Autostrada A1 il fiume risulta invece totalmente arginato fino alla confluenza in Po, sia in destra sia in sinistra idraulica, con alveo pensile e argini di notevole elevazione sul piano campagna.
- l'alveo del fiume Panaro compreso tra la sezione di uscita della cassa di espansione in località Sant'Anna e la sezione immediatamente a monte della confluenza con il fiume Po, per una lunghezza complessiva di circa 67 km. Il fiume risulta totalmente arginato, sia in destra sia in sinistra idraulica, a partire dalla confluenza con il torrente Tiepido (affluente di sinistra) fino alla confluenza in Po. Tra la cassa d'espansione e la confluenza col Tiepido, il fiume risulta arginato in destra a valle dell'immissione del diversivo Muzza, mentre in sinistra il contenimento delle piene dovrebbe essere garantito dall'arginatura sinistra del Tiepido (a partire dal ponte della Via Emilia in località Fossalta) e da scarpate naturali e rilevati stradali.

Studi precedenti [1] segnalano, in sponda destra immediatamente a valle della cassa sul fiume Secchia, franchi insufficienti o addirittura negativi per eventi di piena con tempo di ritorno anche di 50-100 anni. Un'eventuale tracimazione degli argini porterebbe quasi certamente ad una progressiva erosione degli stessi, con rilascio della massa idrica a tergo che si riverserebbe nella campagna circostante. Inoltre, il territorio in destra idraulica del fiume Secchia e in sinistra idraulica del fiume Panaro risulta suscettibile al rischio di inondazione causato da rotte arginali che si verificano in assenza di tracimazione e per eventi di piena ordinari, come purtroppo si è verificato la mattina del 19 gennaio 2014 sul fiume Secchia in località Ponte dell'Uccellino.

Per valutare gli effetti di fenomeni di questo tipo è necessario procedere alla simulazione, mediante modelli numerici almeno bidimensionali, del fenomeno di inondazione conseguente. Modelli più semplificati, quali quelli monodimensionali, che normalmente si utilizzano nello studio dei fenomeni di piena nei corsi d'acqua, non sono in grado di simulare la complessa dinamica che viene ad instaurarsi quando la corrente si muove fuori alveo, ove non sono identificabili a priori delle direzioni preferenziali di deflusso. Nel caso specifico, inoltre, l'area è intersecata da diversi rilevati, che possono influire in maniera sostanziale sulla dinamica del fenomeno.

Per questa ragione è indispensabile una conoscenza dettagliata dell'altimetria del territorio, comprensiva di numerosi rilevati stradali/ferroviari e relativi attraversamenti, per costruire un modello del terreno sulla base del quale effettuare i calcoli idraulici.

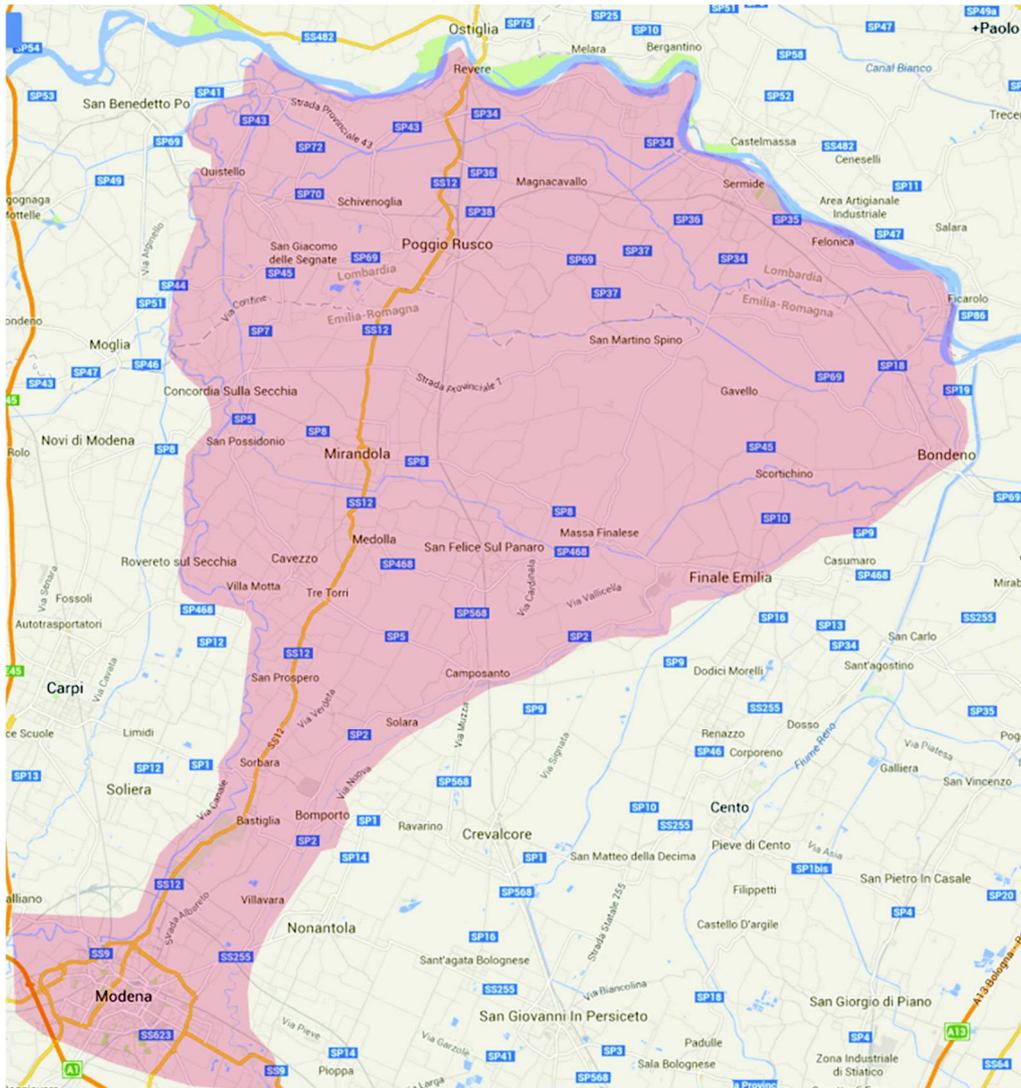


Figura 2-1 – Inquadramento dell'area di studio (campita in rosso).

2.2. Rilievi LiDAR e loro elaborazioni

Come base di partenza si è utilizzato il DEM interpolato su una griglia regolare con spaziatura 1 m ricavato dal rilievo LiDAR effettuato dal Ministero dell'Ambiente nel 2008. La Figura 2-2 riporta la copertura di tale rilievo nella zona di interesse. Come si evince dalla figura citata, il rilievo è limitato a sud dalla Via Emilia e a nord dal confine con la Regione Lombardia. Risultano mancanti diversi tratti dell'alveo del fiume Panaro.

Il rilievo LiDAR è stato in primo luogo integrato con il rilievo della porzione del centro abitato di Modena compresa tra la Via Emilia e la ferrovia Milano-Bologna, effettuato dalla ditta BLOM-CGR S.p.A. su incarico degli scriventi per un altro studio. Successivamente, grazie alla disponibilità di un rilievo LiDAR effettuato nel 2017 e fornito da AIPo, è stato possibile

integrare nella batimetria la porzione mancante dell'area urbana di Modena, a Sud della ferrovia. In tale modo è stato ampliato il modello digitale del terreno nella porzione meridionale dell'area in studio.

Per quanto riguarda il cosiddetto Oltrepò mantovano (ricadente in Regione Lombardia), è stato utilizzato il DEM interpolato su una griglia regolare con spaziatura 1 m ricavato dal rilievo LiDAR effettuato dal Ministero dell'Ambiente nel 2016. I due rilievi si raccordano bene in corrispondenza del confine regionale, ad eccezione del rilevato della ferrovia Bologna-Verona, che è stato necessario correggere sul lato emiliano nel tratto compreso tra S. Felice sul Panaro e il confine regionale (in fase di cantiere fino al 2009 e dunque non presente nel rilievo del 2008). Si sono inoltre rese necessarie ulteriori valutazioni sul fiume Secchia. Il fiume è interamente coperto, fino alla confluenza in Po, da un rilievo LiDAR effettuato da AIPo nel 2015. È inoltre disponibile un rilievo per sezioni, sempre fornito da AIPo, del 2016. Complessivamente, i tre rilievi (LiDAR 2008, LiDAR 2015, sezioni 2016) sono caratterizzati da una sostanziale sovrapposizione. Il rilievo per sezioni descrive meglio l'alveo di magra rispetto ai rilievi LiDAR; è infatti noto che quest'ultima tipologia di rilievi non è in grado di restituire le quote del fondo quando l'alveo non è completamente asciutto. Si ritiene tuttavia che, nel caso di simulazioni di eventi di piena caratterizzati da elevate profondità idriche, gli errori nella descrizione batimetrica dell'alveo di magra non influenzino significativamente i risultati, anche in virtù della presenza di significative aree golenali. In ogni caso il modello ha poi subito un processo di taratura che può in parte riassorbire le approssimazioni nella descrizione della parte più depressa delle sezioni. Nella batimetria finale è stato dunque mantenuto il DEM fornito dal rilievo LiDAR del 2008 ove disponibile, ossia fino al confine regionale, a valle di Concordia sulla Secchia, mentre il tratto mancante, fino alla confluenza in Po, è stato integrato col DEM derivante dal rilievo LiDAR del 2015.

Come concordato con l'Agenzia in sede di stesura del progetto, la batimetria è stata poi modificata alla luce del piano di adeguamento degli argini in diversi tratti del fiume Secchia, che dovrebbe portare gli argini a una quota tale da garantire un franco pari a 1 m per l'onda di piena caratterizzata da un tempo di ritorno ventennale. In corrispondenza dei tratti interessati, evidenziati nella Figura 2-3, le quote arginali della batimetria originale sono state rialzate ai valori desunti dal progetto preliminare [2], fornito da AIPo.

Inoltre, nella zona dei Prati di San Clemente (Comune di Bomporto), dove è in fase di realizzazione una cassa d'espansione, le arginature dei cavi Minutara e Argine sono state portate alla quota di progetto pari a 26.90 m s.l.m. È stata anche già prevista la realizzazione dei due manufatti anti-rigurgito sui cavi Argine e Minutara che portano ad "isolare" completamente la cassa nel lato Sud. Il contributo del reticolo idrografico minore non è comunque incluso nella successiva modellazione. Allo scopo di garantire una maggiore uniformità di contenimento delle piene e in assenza di indicazioni progettuali specifiche, sono anche state effettuate alcune modifiche alle quote arginali nel tratto di monte del fiume Secchia (Figura 2-4) riprendendo alcune corde molli e tratti con arginature più basse. In particolare:

- sono state rialzate di 1 m le quote sulla mezzeria del tratto dell'autostrada A1 in sinistra idraulica del fiume, in virtù della presenza di una barriera New Jersey continua tra le due carreggiate;
- è stata completata l'arginatura in sinistra idraulica in corrispondenza dell'autostrada A22, ipotizzata alla quota di 42 m s.l.m.;
- è stata rialzata l'arginatura in destra idraulica, in corrispondenza della corda molle dell'attraversamento di Strada Barchetta, ad una quota pari a quella dell'arginatura nei tratti adiacenti (circa 41.8 m s.l.m.).

Infine, anche il fiume Panaro è stato oggetto di ulteriori valutazioni. Risultano mancanti dal rilievo 2008 alcune porzioni del fiume (Figura 2-2b), che è invece interamente coperto da un rilievo LiDAR effettuato da AIPo nel 2015. È inoltre disponibile un recente rilievo per sezioni, sempre fornito da AIPo, del 2017. Il confronto tra rilievo LiDAR e rilievo per sezioni mostra che anche in questo caso l'alveo di magra del fiume è meglio descritto dal rilievo per sezioni. A differenza del fiume Secchia, il fiume Panaro è praticamente privo di aree golenali, per cui un interrimento "fittizio" del fiume (dovuto alla presenza di acqua nell'alveo di magra durante il rilievo LiDAR) può influenzare significativamente le portate transitanti in occasione di una piena. Per questo motivo è stata implementata una procedura automatica in grado di "scavare" il DTM in corrispondenza dell'alveo di magra, imponendo sul fondo le quote terreno desunte dal rilievo per sezioni; nei tratti intermedi tra una sezione e l'altra le quote di fondo sono state ricavate per interpolazione. Esempi del risultato finale di tale procedura sono riportati sotto forma di visualizzazione 3D di un tratto di fiume nella Figura 2-5 e tramite due sezioni nella Figura 2-6. Nella batimetria finale è stato dunque sostituito il DTM del fiume Panaro derivante dal rilievo del 2015 (con l'alveo di magra opportunamente corretto) al DTM esistente del 2008. Sono state inoltre imposte, lungo le sommità arginali, le quote di contenimento desunte dal rilievo del 2017.

In analogia a quanto fatto sul fiume Secchia, la batimetria è stata poi modificata alla luce del piano di adeguamento degli argini in diversi tratti del fiume Panaro, che dovrebbe portare gli argini a una quota tale da garantire un franco pari a 1 m per l'onda di piena caratterizzata da un tempo di ritorno cinquantennale. In corrispondenza dei tratti interessati, evidenziati nella Figura 2-7, le quote arginali della batimetria originale sono state rialzate ai valori desunti dal progetto fornito da AIPo. In realtà, al momento risulta finanziata solo una parte di tale progetto: in particolare, si prevede di adeguare le quote di contenimento al fine di garantire un franco di 0.5 m per l'onda di piena con tempo di ritorno di 50 anni. Tuttavia, si è ritenuto di inserire nella batimetria finale il progetto completo.

Infine, è stata localmente corretta la quota arginale a Navicello in corrispondenza del varco di accesso ad abitazioni poste entro l'alveo (Figura 2-8). In tale tratto, infatti, è stato recentemente realizzato un muro in c.a. con coronamento alla quota degli argini circostanti (33.2 m s.l.m.) che lascia libero un varco di accesso che viene chiuso in occasione di piene significative, garantendo la continuità del contenimento arginale.

Poiché la zona delimitata dal modello presenta una superficie complessiva di oltre 1100 km², il DTM originario è costituito da altrettanti milioni di punti quotati, uniformemente distribuiti su una griglia quadrata di lato 1 metro. In linea del tutto teorica tale griglia potrebbe già costituire la *mesh* di calcolo del modello bidimensionale. In pratica, però, non esiste attualmente alcun modello numerico in grado di gestire una simile mole di dati e di eseguire il calcolo in tempi ragionevoli. Il modello numerico utilizzato nel presente studio, sviluppato presso il DIA dell'Università degli Studi di Parma, vanta eccezionali caratteristiche di velocità, essendo stato implementato per essere eseguito su schede video (GPU) che garantiscono un incremento della velocità (*speedup*) rispetto alle attuali CPU di circa cento volte. Ciononostante, esso è in grado di simulare reticoli costituiti da alcuni milioni di celle, con tempi di calcolo dell'ordine di 1/30 del tempo reale di simulazione. Ciò significa che la simulazione di un evento di durata complessiva pari, ad esempio, a 48 ore (tempo fisico) richiede 1-2 ore di tempo di calcolo su una GPU di notevole potenza, a cui si devono aggiungere i tempi di scrittura dei risultati.

Per questa ragione risulta necessario effettuare un diradamento del DTM, fino ad arrivare ad un numero di celle di calcolo accettabili. A questo scopo, il DTM a passo 1 m è stato re-interpolato su una griglia regolare di 5 m di lato. Il diradamento della griglia è stato però effettuato

mediante opportuni algoritmi in grado di preservare gli elementi più importanti per il calcolo idraulico, e precisamente:

- le quote di coronamento degli argini di fiumi e canali;
- le quote delle infrastrutture in rilevato;
- la capacità di convogliamento nelle sezioni fluviali.

Nella Figura 2-9 è riportato, mediante mappa colorata, il DTM complessivo dell'area oggetto di studio.

2.3. Trattamento dell'area urbana di Modena

Nella terza annualità si è previsto di effettuare le simulazioni degli scenari di allagamento conseguenti a brecce fluviali che si aprono poco a valle delle casse d'espansione sui fiumi Secchia e Panaro. Tali allagamenti coinvolgono parte dell'area urbana di Modena, per cui è necessario modellare l'effetto provocato dalla presenza degli edifici sulla propagazione dell'allagamento.

Tra i vari approcci disponibili in letteratura per trattare le zone urbane è stato scelto il metodo "Building Hole" (BH) [3], che prevede di escludere dal dominio tutte le celle di calcolo ricadenti all'interno dell'impronta di edifici; i bordi degli edifici stessi risultano quindi impenetrabili per la corrente. Questo metodo richiede l'utilizzo di una griglia di calcolo piuttosto fitta, in grado di descrivere adeguatamente strade ed edifici anche nelle zone urbane più dense, e dunque prevede elevati tempi di calcolo.

Al fine di poter applicare questo metodo, limitatamente alle simulazioni degli scenari che coinvolgono la città di Modena, è stato effettuato un infittimento della griglia di calcolo alla risoluzione di 2.5 m. Una verifica preliminare ha mostrato che tale livello di infittimento è sufficiente a descrivere nel dettaglio il reticolo urbano di Modena. Poiché questa operazione di fatto quadruplica il numero delle celle del dominio rispetto alla batimetria originale, l'area di calcolo è stata necessariamente ridotta per mantenere un'estensione gestibile per il modello. A valle il dominio è stato dunque limitato a Camposanto verso est e a Ponte Motta verso nord.

Su questa nuova batimetria è stata effettuata quindi un'ultima elaborazione, rendendo inattive tutte le celle del dominio corrispondenti agli edifici compresi nell'area urbana di Modena. Tali edifici sono stati identificati a partire dai dati disponibili sul Geoportale della Regione Emilia Romagna. Nella Figura 2-10 è riportato il dettaglio del DTM nell'area di Modena, con le celle inattive identificate in bianco.

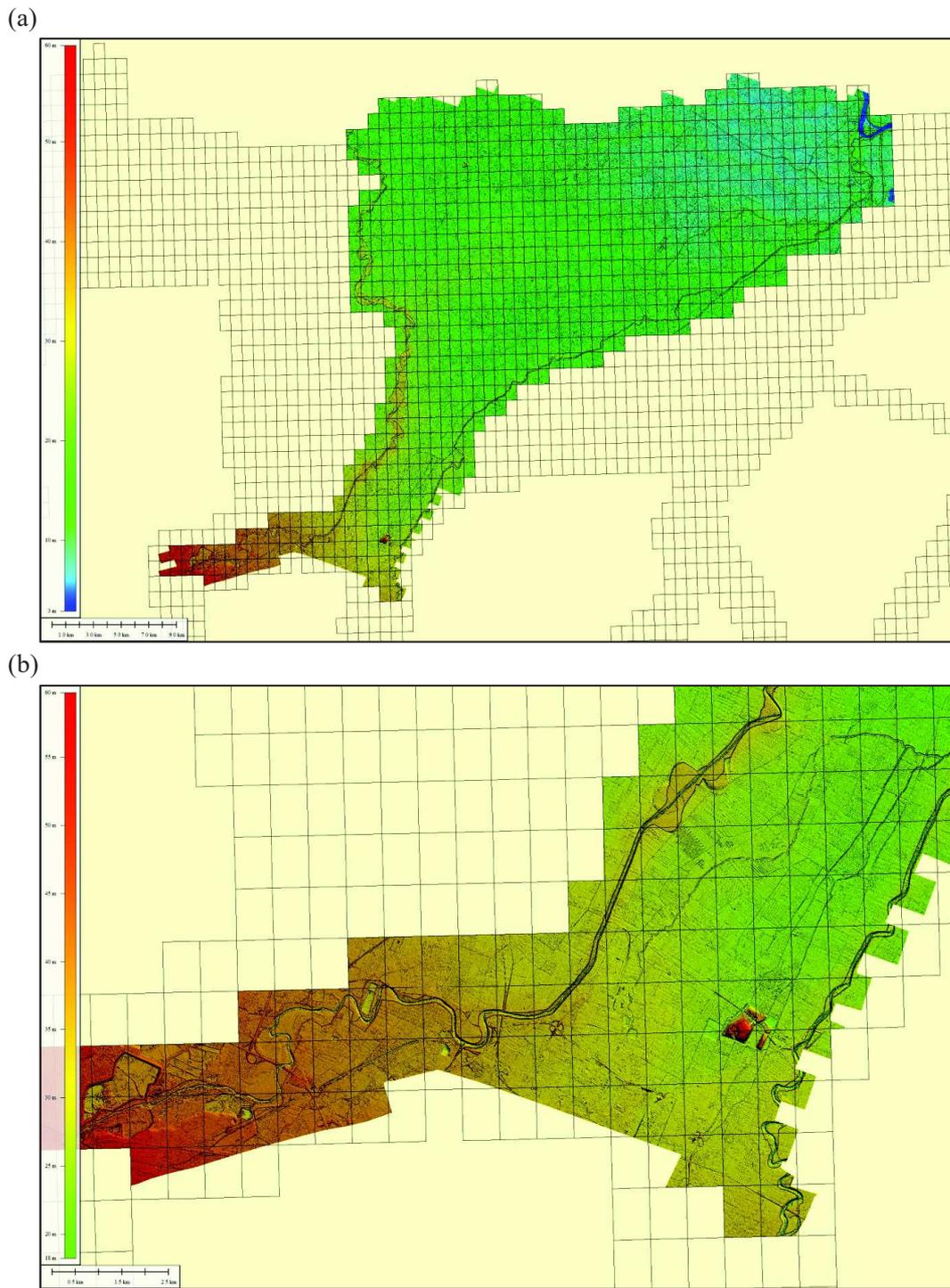


Figura 2-2 – (a) Copertura della zona di interesse del rilievo della Regione Emilia-Romagna effettuato dal Ministero dell'Ambiente nel 2008; (b) dettaglio delle aree prive di copertura.



Figura 2-3 – Indicazione dei tratti di argine del fiume Secchia interessati dal progetto di rialzo (in magenta). Gli argini del tratto più vallivo, escluso dall'immagine, non prevedono da progetto alcun rialzo.

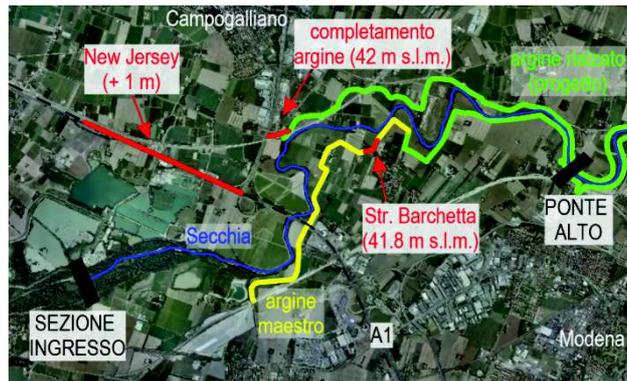


Figura 2-4 – Correzioni alla batimetria nel tratto a monte della sezione di Ponte Alto.

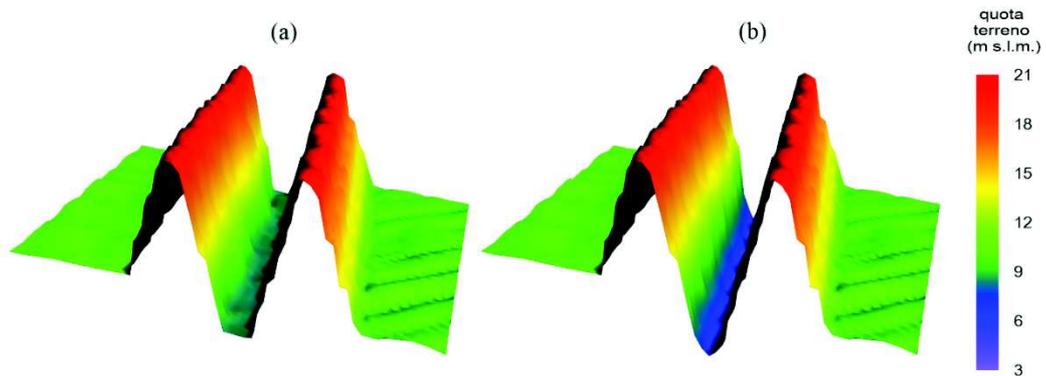


Figura 2-5 – Un tratto del DTM del fiume Panaro (a) originale e (b) dopo la procedura per ripristinare le quote del fondo nell'alveo di magra.

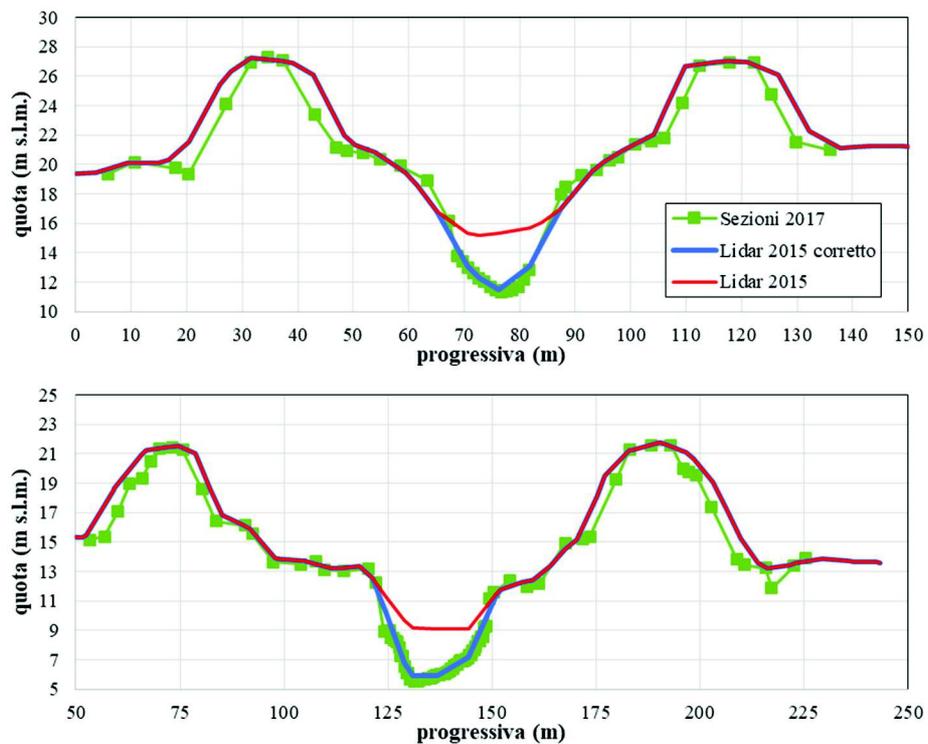


Figura 2-6 - Confronto tra i rilievi del fiume Panaro disponibili per alcune sezioni.

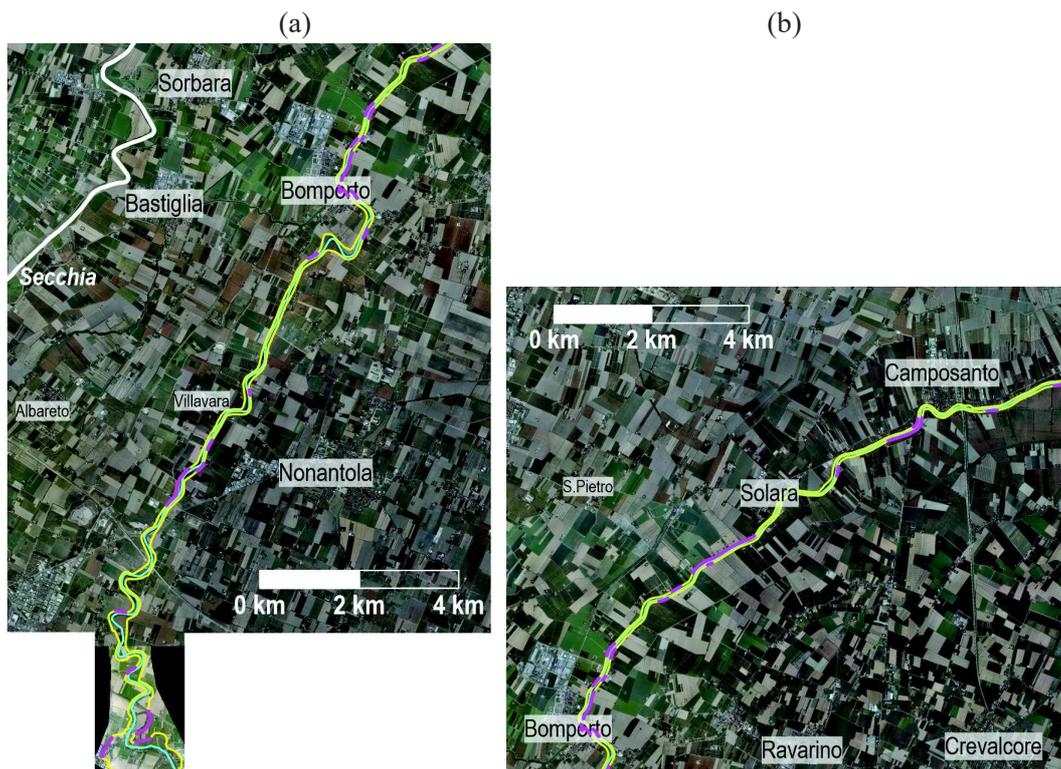


Figura 2-7 – Indicazione dei tratti di argine del fiume Panaro interessati dal progetto di rialzo (in magenta). Gli argini del tratto più vallivo, escluso dall'immagine, non prevedono da progetto alcun rialzo.



Figura 2-8 – Dettaglio del fiume Panaro a Navicello: si evidenzia il muro recentemente realizzato e il varco per l'accesso ad abitazioni poste in golenia, che viene chiuso in condizioni di piena.

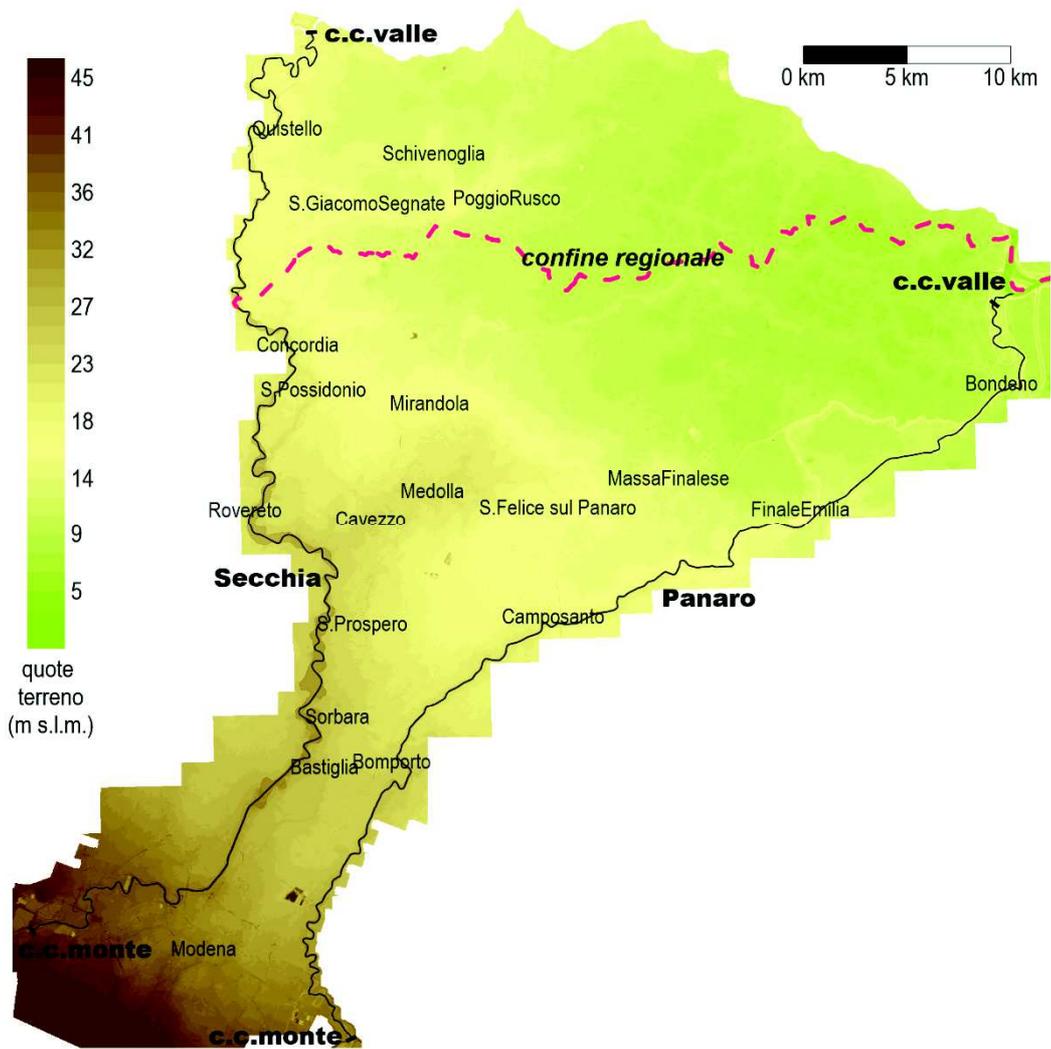


Figura 2-9 – DTM della zona oggetto di studio.

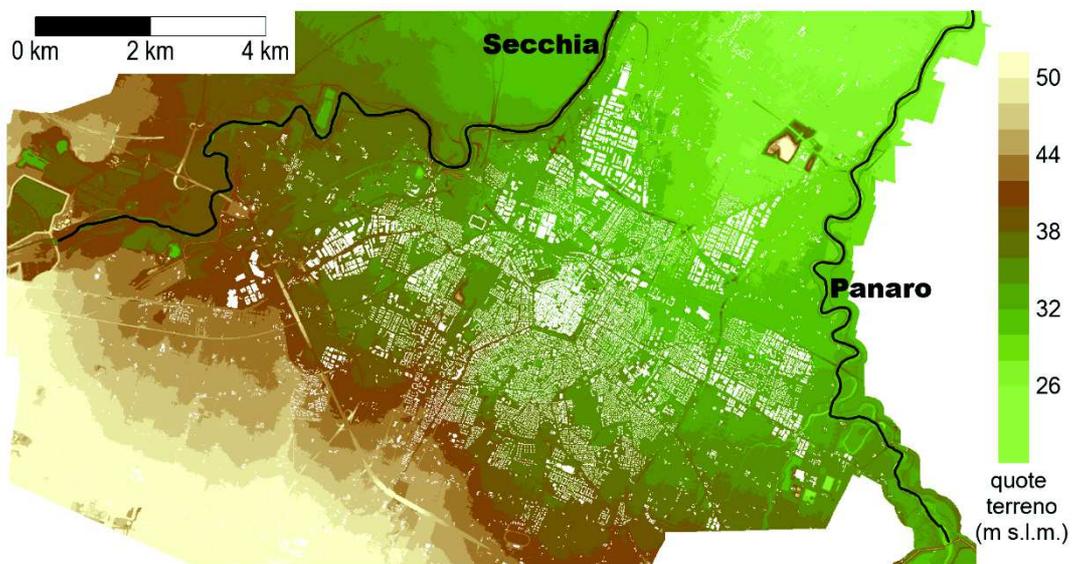


Figura 2-10 – Dettaglio del DTM nella zona urbana di Modena.

3. PORTATE DI PIENA

3.1. Fiume Secchia

3.1.1. Determinazione delle onde di piena in ingresso alla cassa d'espansione di Rubiera

Per la caratterizzazione idrologica si è fatto riferimento allo studio dell'Autorità di Bacino del fiume Po "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Secchia nel tratto da Lugo alla confluenza in Po" del 2007 [1], come già fatto nel corso delle attività previste dai POA relativi alle precedenti annualità.

In estrema sintesi, in questo studio gli idrogrammi di piena alla sezione di ingresso della cassa di espansione di Rubiera sono stati ottenuti con una procedura mista. Gli estensori dello studio hanno dapprima implementato un modello idrologico di trasformazione afflussi-deflussi, tarato in corrispondenza della sezione di Castellarano sulla base dei più recenti (all'epoca) e gravi eventi di piena che si sono manifestati sul bacino. Sulla base di alcune assunzioni relativamente alla distribuzione spazio-temporale della precipitazione sul bacino, sono state ricostruite le onde di piena sintetiche di assegnato tempo di ritorno in corrispondenza della medesima sezione di Castellarano. Tali onde sono state poi propagate lungo l'alveo mediante un modello di moto vario bidimensionale fino alla sezione di ingresso della cassa di espansione, considerando anche i contributi del bacino residuo e quelli del torrente Tresinaro. I risultati sono disponibili per i tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni e per le durate di precipitazione di 12 e 24 ore. Sulla base di quanto riportato nel medesimo studio, per il tratto esaminato risulta più critico l'evento generato da una precipitazione di durata 12 ore. Pertanto, per le successive verifiche idrauliche sono stati presi in considerazione solo gli eventi ottenuti per tale durata di precipitazione.

Oltre agli idrogrammi disponibili, è stata ricavata l'onda di piena in ingresso alla cassa con tempo di ritorno pari a 50 anni, a seguito di una procedura di interpolazione.

Noti i valori delle portate al colmo relativi ai tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni, si è ottenuto per interpolazione su un piano logaritmico il valore per la portata al colmo relativa al tempo di ritorno di 50 anni. Si è poi ricavato il parametro α che garantisce il soddisfacimento della seguente relazione:

$$Q_{c,50} = \alpha Q_{c,20} + (1 - \alpha) Q_{c,100},$$

dove Q_c indica il valore della portata al colmo per i diversi tempi di ritorno indicati a pedice. L'idrogramma di piena con tempo di ritorno di 50 anni è stato infine ottenuto come media pesata (secondo il peso α) dei due idrogrammi con tempo di ritorno di 20 e 100 anni.

La Figura 3-1 riporta il grafico delle onde di piena relative ai tempi di ritorno di 20, 50 e 100 anni in ingresso alla cassa.

3.1.2. Determinazione delle onde di piena in uscita dalla cassa d'espansione di Rubiera

Le luci di scarico del manufatto limitatore della cassa d'espansione di Rubiera non sono attualmente dotate di organi manovrabili. Ad un'onda di piena in ingresso alla cassa corrisponde pertanto un'unica onda di piena in uscita dagli scarichi della stessa, che può essere valutata sulla base delle caratteristiche dei manufatti della cassa (manufatto limitatore principale, sfioratore di collegamento tra cassa in linea e fuori linea e scarico di fondo di quest'ultima) e dei volumi invasabili nelle due casse.

Da tale analisi, si sono dunque ricavati gli idrogrammi di piena in uscita dalla cassa, riportati nella Figura 3-2 limitatamente ai tempi di ritorno di 20, 50 e 100 anni. Al fine del presente

studio, sono state utilizzate le onde di piena con tempo di ritorno 20 e 50 anni quali condizioni al contorno di monte per le simulazioni idrauliche bidimensionali descritte nel seguito. In particolare, si è assunta l'onda di piena con tempo di ritorno di 50 anni come onda "a franco zero" poiché essa, come si vedrà meglio più avanti, dopo i previsti sovralti arginali, è contenuta, a meno di modeste tracimazioni, nel primo tratto dell'asta del fiume Secchia considerato.

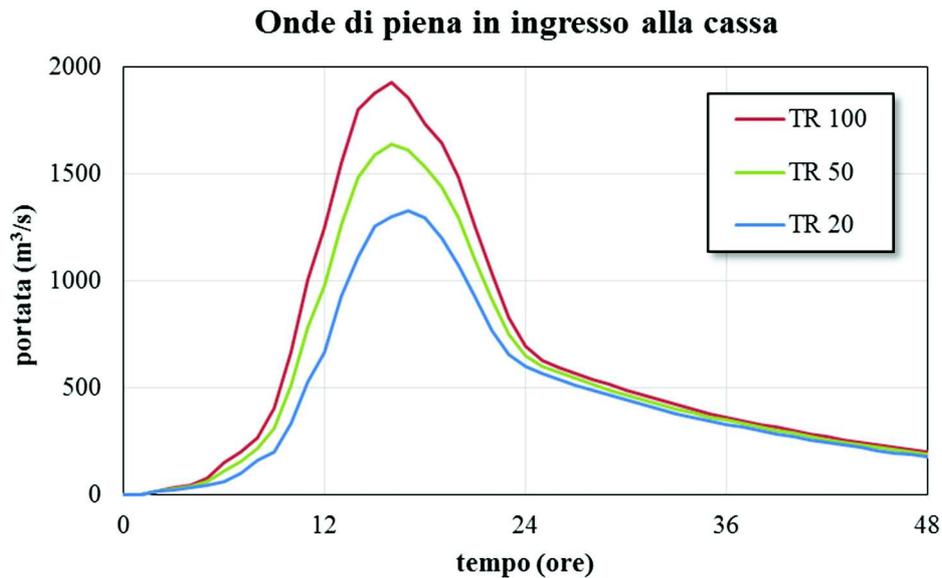


Figura 3-1 – Idrogrammi di portata in ingresso alla cassa d'espansione di Rubiera.

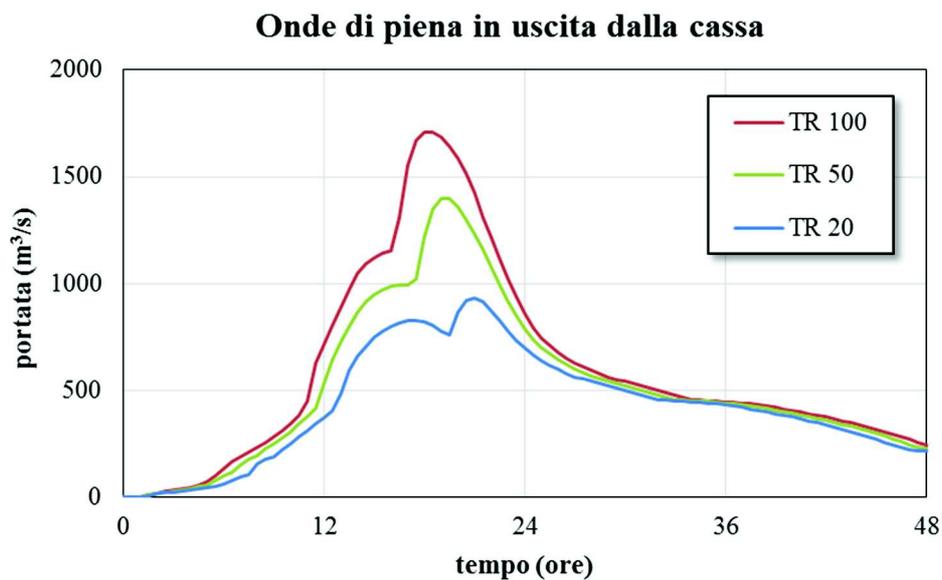


Figura 3-2 – Idrogrammi di portata in uscita dalla cassa d'espansione di Rubiera. Le onde di piena con tempo di ritorno pari a 20 e 50 anni sono state utilizzate come condizioni al contorno di monte per le simulazioni successive sul fiume Secchia.

3.2. Fiume Panaro

Per la caratterizzazione idrologica si era concordato di fare riferimento allo studio dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia (UNIMORE) "Ricerca per lo studio delle interazioni tra grandi opere di sbarramento fluviale, correnti idriche superficiali e sotterranee, con riferimento ai manufatti regolatori ed alle arginature di contenimento: sviluppo di modelli matematici di comportamento della cassa di espansione del fiume Panaro nel Comune di San Cesario sul Panaro (MO), del bacino idrografico di monte e del sistema fluviale di valle (MO-E-1255)", in particolare alla "Relazione tecnica sulla verifica funzionale delle arginature del fiume Panaro" [4].

In estrema sintesi, nello studio citato gli idrogrammi di piena alla sezione di ingresso della cassa di espansione di Sant'Anna sono stati ottenuti a partire da un modello idrologico del bacino idrografico del fiume Panaro, chiuso alla traversa del ponte dell'A1, a monte della cassa d'espansione. Poiché le luci di scarico del manufatto limitatore della cassa d'espansione sul fiume Panaro sono dotate di organi manovrabili, ad un'onda di piena in ingresso alla cassa corrispondono diverse possibili onde di piena in uscita dagli scarichi della stessa, ottenibili sulla base delle caratteristiche dei manufatti della cassa (manufatto limitatore principale, sfioratore di collegamento tra cassa in linea e fuori linea e scarico di fondo di quest'ultima), dei volumi invasabili nelle due casse e della configurazione delle paratoie. Nello studio sono state considerate diverse configurazioni di apertura degli scarichi, con e senza manovre in corso d'evento (controllo stazionario e non stazionario). Da un'analisi di fallanza del sistema sono state determinate le portate massime che devono essere smaltite dall'asta fluviale di valle affinché il sistema possa essere ritenuto sufficiente nei confronti di un evento di prefissato tempo di ritorno, sia con controllo stazionario che non stazionario nell'ipotesi di avere 5 scarichi di fondo operativi. Gli idrogrammi così ottenuti in uscita dalla cassa d'espansione hanno costituito il riferimento per il progetto di adeguamento dell'asta fluviale di valle nei confronti di eventi con determinato tempo di ritorno [5]. Si riportano nella Figura 3-3 gli idrogrammi di portata con controllo non stazionario relativi ai tempi di ritorno di 50 e 100 anni.

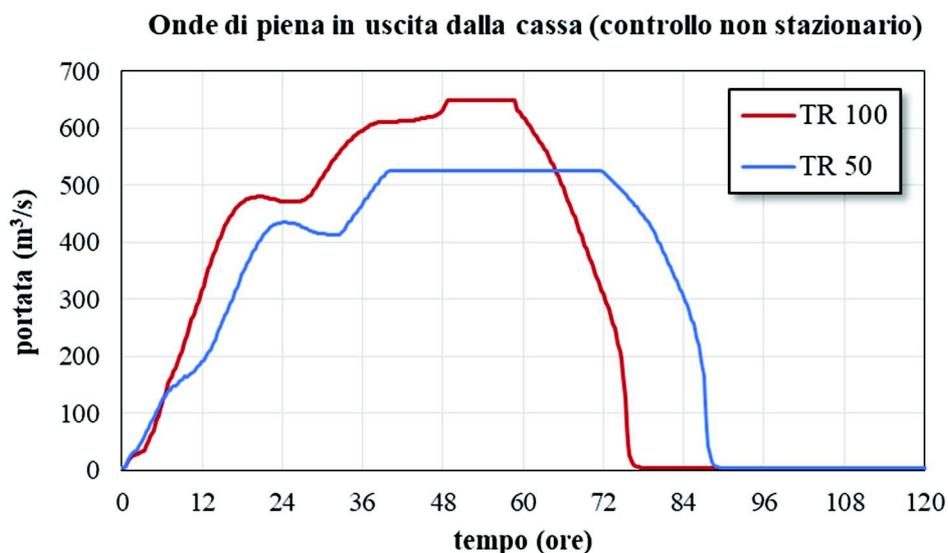


Figura 3-3 – Idrogrammi di portata in uscita dalla cassa d'espansione di Sant'Anna forniti dallo studio dell'UNIMORE.

Tuttavia nello studio dell'UNIMORE, al fine di effettuare l'analisi di fallanza del sistema, sono state considerate numerose sollecitazioni idrologiche caratterizzate non solo da diversi tempi di ritorno ma anche da diverse durate di pioggia: gli idrogrammi di piena ottenuti per un prefissato tempo di ritorno sono così caratterizzati da un volume variabile in funzione della durata di precipitazione. Gli idrogrammi selezionati per la progettazione per i tempi di ritorno 50 e 100 anni (con controllo non stazionario, riportati nella Figura 3-3) hanno un volume tra loro paragonabile di poco superiore a $126 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, nonostante il diverso valore della portata al colmo, in virtù evidentemente della diversa durata di precipitazione considerata.

Per il presente studio, che ha il fine di definire i possibili scenari di allagamento conseguenti a rotture arginali, il volume della piena di riferimento è un parametro fondamentale e dovrebbe essere sensibilmente crescente all'aumentare del tempo di ritorno per caratterizzare adeguatamente la pericolosità idraulica nei territori interessati dalle esondazioni. Per questo motivo, si è scelto di non adottare gli idrogrammi di piena forniti dallo studio dell'UNIMORE, ma di effettuare un'elaborazione specifica basandosi sui dati disponibili alla stazione di Bomporto, come già fatto nel corso delle attività previste dal POA relativo alla precedente annualità. Sono stati selezionati i 44 eventi più gravosi registrati nel periodo 2000-2016 e le misure di livello relative a tali eventi sono state convertite in valori di portata tramite la legge fornita dalla scala delle portate riportata sugli Annali Idrologici. La serie storica delle onde di piena così ottenuta è stata elaborata statisticamente secondo la metodologia descritta in [6] al fine di costruire gli idrogrammi sintetici per il fiume Panaro con prefissato tempo di ritorno. Nella Figura 3-4 sono rappresentate le onde di piena caratterizzate dai tempi di ritorno di 20, 50 e 100 anni. I valori di portata e di volume di tali onde sono riportati in Tabella 3-1, assieme a quelli dello studio UNIMORE. Nel caso dell'idrogramma con tempo di ritorno pari a 20 anni non è possibile effettuare un confronto diretto. Per tempo di ritorno pari a 50 anni, la portata al colmo ottenuta dal presente studio risulta superiore alla corrispondente portata desunta dallo studio UNIMORE, mentre il volume è inferiore. Per 100 anni, invece, sia la portata al colmo sia il volume di piena risultano sostanzialmente comparabili nei due studi. Va sottolineato che gli idrogrammi ottenuti dal presente studio prescindono dalla configurazione di apertura degli scarichi di fondo della cassa d'espansione e da eventuali manovre effettuabili.

Gli idrogrammi con tempo di ritorno pari a 20 e 100 anni sono stati selezionati quali condizioni al contorno di monte per le simulazioni idrauliche bidimensionali descritte nel seguito; in particolare, l'onda centennale è stata assunta come onda "a franco zero" poiché essa, come si vedrà meglio più avanti, dopo i previsti sovralti arginali, risulta contenuta, a meno di modeste tracimazioni, nel tratto dell'asta del fiume Panaro considerata.

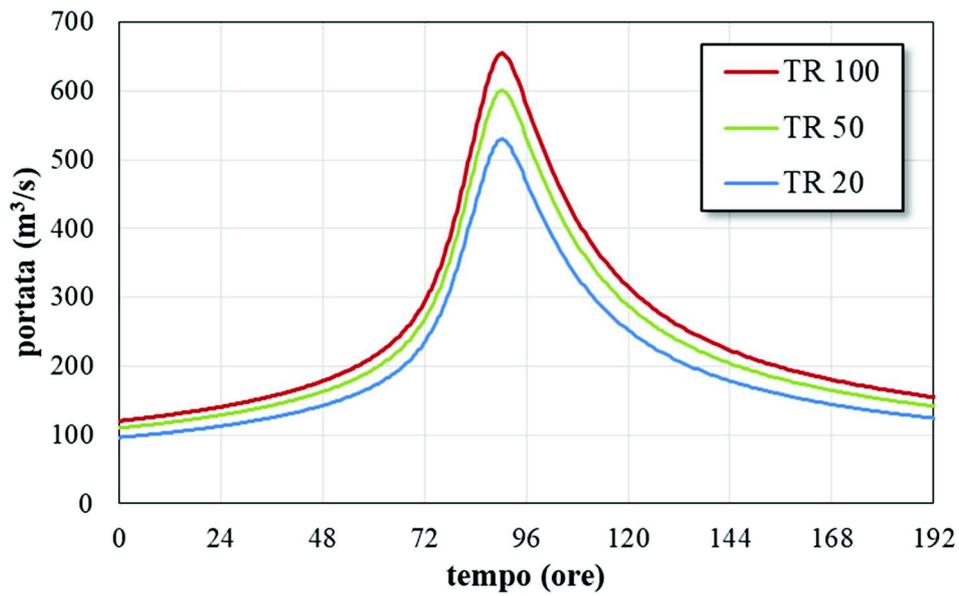


Figura 3-4 – Idrogrammi sintetici con prefissato tempo di ritorno per il fiume Panaro. Le onde di piena con tempo di ritorno pari a 20 e 100 anni sono state imposte come condizioni al contorno di monte in uscita dalla cassa d'espansione di Sant'Anna nelle simulazioni successive sul fiume Panaro.

Tabella 3-1 – Confronto tra le portate al colmo e i volumi delle piene considerate e quelle riportate nello studio UNIMORE.

Tempo di ritorno (anni)	Studio UNIMORE		Presente studio	
	Portata al colmo (m ³ /s)	Volume di piena (10 ⁶ m ³)	Portata al colmo (m ³ /s)	Volume di piena (10 ⁶ m ³)
20	-	-	530	98
50	525	127	601	112
100	650	126	655	123

4. MODELLO NUMERICO

Il modello numerico impiegato, sviluppato presso il DIA dell'Università degli Studi di Parma, è basato su una discretizzazione ai volumi finiti delle equazioni bidimensionali complete del moto a superficie libera nell'approssimazione alle acque basse (SWE, forma bidimensionale delle equazioni di conservazione della massa e del flusso di quantità di moto). L'integrazione delle equazioni nel tempo mediante uno schema di tipo esplicito, unitamente all'utilizzo di un metodo ai volumi finiti, garantisce la conservazione della massa e dei flussi di quantità di moto, ed assicura una robusta descrizione dei fronti di bagnamento e asciugamento, indispensabile per simulare correttamente fenomeni di moto rapidamente vario, quali quelli che si innescano a seguito di un cedimento arginale. Uno speciale trattamento numerico dei flussi nelle celle con altezze d'acqua molto ridotte garantisce altresì che il volume risulti conservato anche in presenza di fronti mobili molto ampi e frastagliati, come quelli che si possono presentare nei fenomeni di allagamento su batimetrie inizialmente asciutte.

L'utilizzo di un elevato ordine di accuratezza (sia nel tempo che nello spazio) consente di ricostruire in maniera accurata onde di shock e di rarefazione senza dover introdurre termini di tipo diffusivo, privi di fondamento fisico.

Un'opportuna descrizione del termine di pendenza consente nel contempo la conservazione della condizione statica di acqua in quiete su topografia accidentata (*C-property*). Una speciale metodologia di ricostruzione delle profondità idriche consente di evitare problemi numerici di stabilità del modello, anche in presenza di elevate pendenze della superficie libera.

Le prestazioni di schemi numerici di questo tipo, ed in particolare dello schema adottato nello studio, sono ben documentate nella letteratura tecnica sia per i casi teorici in cui sia disponibile una soluzione analitica o un'accurata soluzione numerica di riferimento, sia in applicazioni di ipotetici scenari di crolli arginali su batimetrie reali.

Per consentire la modellazione di molteplici scenari di allagamento, su territori di estensione pari a quelli oggetto del presente studio, l'algoritmo di risoluzione è implementato in un codice sviluppato in ambiente CUDA (Compute Unified Device Architecture), applicazione che consente di eseguire calcolo parallelo sulle GPUs (Graphics Processing Units). L'utilizzo di un codice di calcolo di tipo parallelo, al posto di un tradizionale codice seriale, permette una drastica riduzione dei tempi di calcolo (di circa due ordini di grandezza) consentendo di effettuare agevolmente simulazioni su domini di diversi milioni di celle.

L'algoritmo è in grado di gestire sia griglie cartesiane uniformi, sia griglie strutturate non uniformi, generate secondo opportuni criteri [7].

Per maggiori dettagli riguardanti le equazioni costitutive del modello e il metodo di soluzione, si rimanda a [8, 7].

5. COSTRUZIONE DEL MODELLO

5.1. Generazione della griglia multi-risoluzione

5.1.1. Griglia per la simulazione delle breccie vallive sul fiume Panaro

Nel presente studio, la griglia di partenza presenta una risoluzione spaziale uniforme pari a 5 m e comprende circa 47 milioni di celle. Il modello numerico impiegato consente di generare una griglia di calcolo con una risoluzione spaziale non uniforme, che asseconi il grado di dettaglio desiderato dall'utente nelle diverse parti del dominio. È piuttosto evidente che aree caratterizzate da quote altimetriche poco variabili, quali ad esempio aree agricole, potranno essere discretizzate con celle di dimensioni anche di molto superiori a 5 m (con una quota altimetrica media) senza sostanzialmente modificare i risultati della simulazione.

Per questo motivo, la griglia di calcolo impiegata per le simulazioni del presente studio è caratterizzata da una risoluzione non uniforme, variabile tra 5 m e 40 m, e comprende in totale circa 13 milioni di celle. La griglia è stata ottenuta imponendo il mantenimento della massima risoluzione (5 m) in corrispondenza dei seguenti elementi:

- alveo del fiume Panaro, comprese le golene, e arginature;
- argini dei canali di bonifica;
- principali rilevati stradali e ferroviari presenti nel comparto;
- area nell'intorno della breccia (per ciascuna simulazione singolarmente).

Nel resto del dominio, il modello genera in automatico una transizione graduale verso le zone a risoluzione più bassa, secondo opportuni criteri [7], come mostrato nel dettaglio riportato nella Figura 5-1 a titolo di esempio. La griglia complessiva è mostrata nella Figura 5-2.

5.1.2. Griglia per la simulazione delle breccie in zona urbana

Per le simulazioni degli allagamenti che interessano la zona urbana di Modena la risoluzione massima di 5 m non è stata ritenuta adeguata a descrivere nel dettaglio la distribuzione di strade ed edifici; per questo motivo, la risoluzione massima è stata ridotta a 2.5 m e il dominio è stato ristretto rispetto a quello utilizzato per le simulazioni vallive, che investono zone prevalentemente agricole.

La griglia di partenza presenta una risoluzione spaziale uniforme pari a 2.5 m e comprende circa 65 milioni di celle. Tale risoluzione è stata adottata solo per la zona urbana di Modena, mentre nel resto del dominio la griglia è analoga a quella utilizzata in precedenza. In particolare, gli alvei dei due fiumi e tutti gli altri elementi significativi (rilevati, argini, ecc.) sono discretizzati con passo 5 m. La griglia ottenuta comprende circa 9 milioni di celle ed è mostrata nella Figura 5-3.

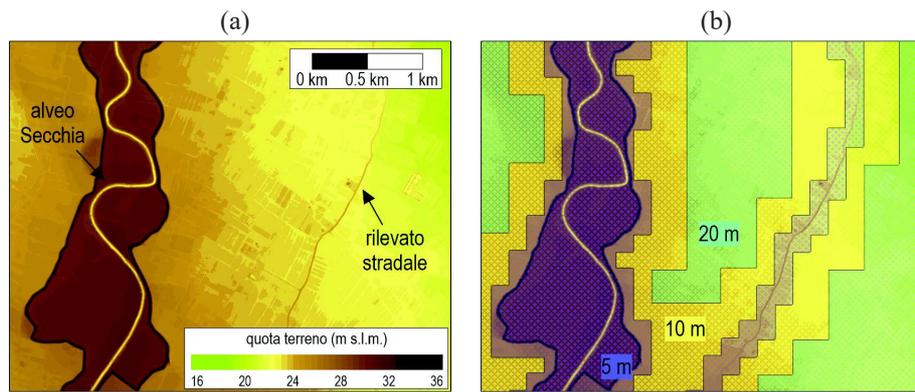


Figura 5-1 – (a) Dettaglio della batimetria in corrispondenza di due elementi in cui è necessario imporre la massima risoluzione (alveo Secchia e rilevato stradale); (b) mesh multi-risoluzione corrispondente.

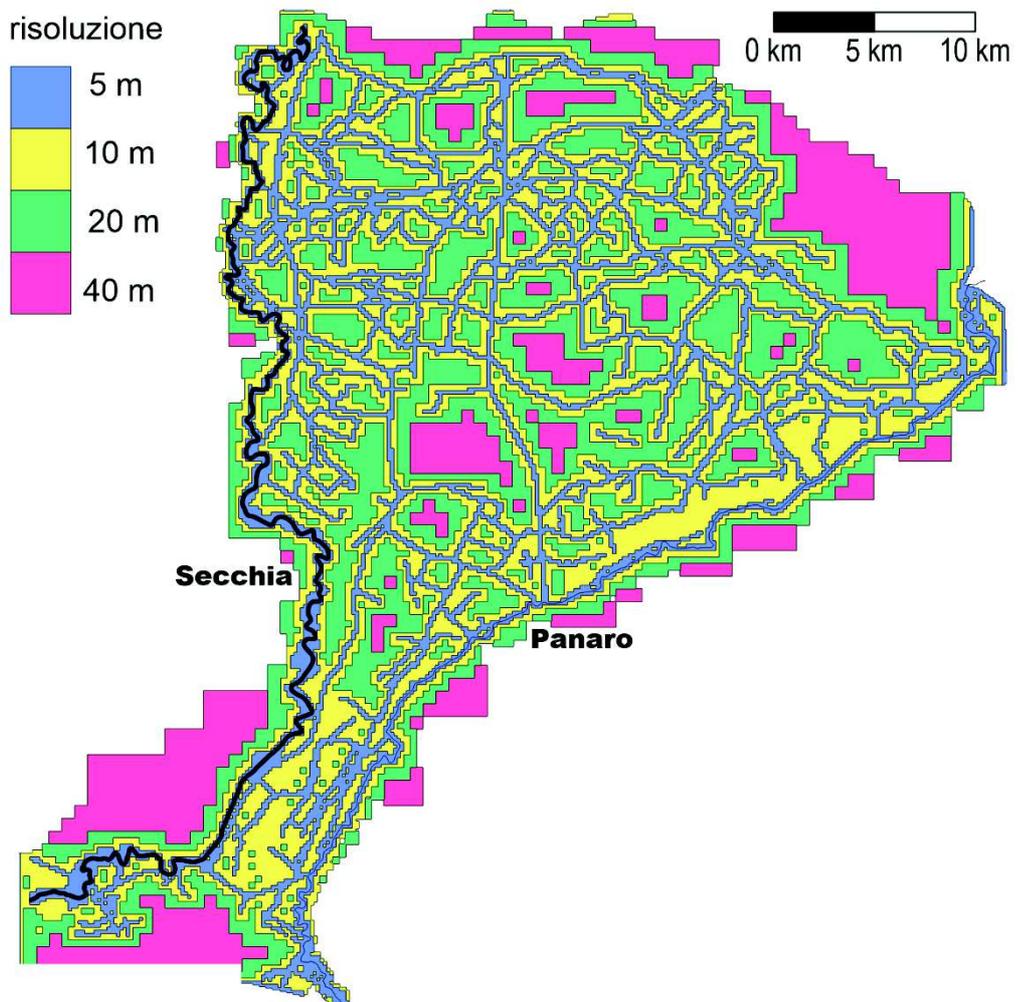


Figura 5-2 – Mappa della risoluzione spaziale adottata nel dominio per le simulazioni delle breccie vallive sul fiume Panaro.

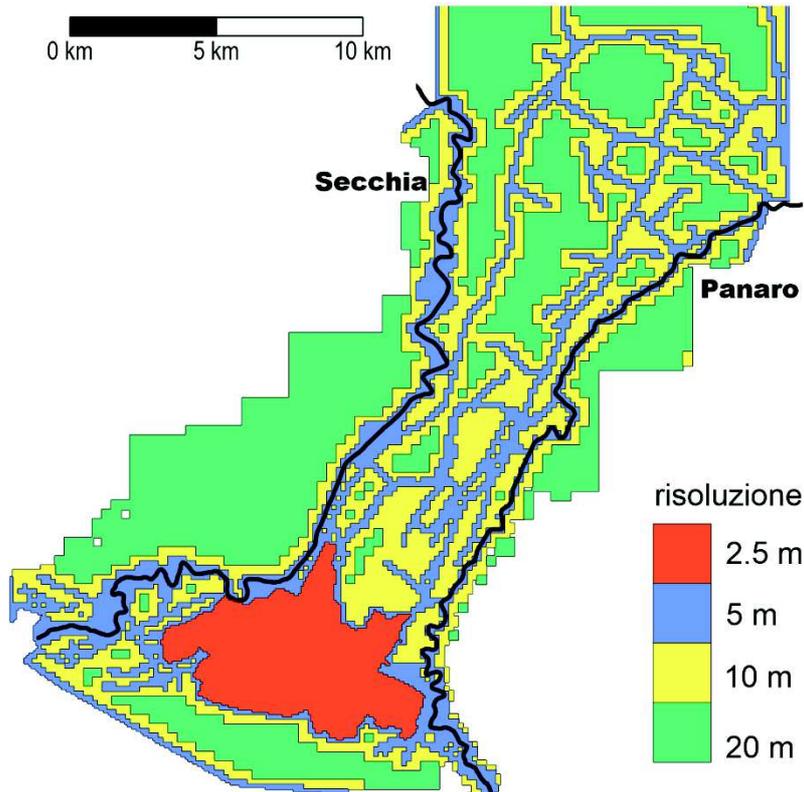


Figura 5-3 – Mappa della risoluzione spaziale adottata nel dominio per le simulazioni delle brecce sui fiumi Secchia e Panaro che interessano la città di Modena (la griglia nella zona sud della città non è infittita perché tale zona non risulta interessata dagli allagamenti).

5.2. Scelta della scabrezza

Per i coefficienti di scabrezza, sono stati assunti i valori rappresentati nella Figura 5-4. In particolare, esternamente all'alveo dei fiumi Secchia e Panaro si è assunto un coefficiente di scabrezza secondo Strickler $k_s = 20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per le aree non urbanizzate e $k_s = 7 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$, quindi molto più scabro, per le aree urbane e industriali, per tener conto in maniera sintetica dell'effetto di resistenza degli edifici. Tali valori sono stati desunti dalla taratura effettuata per l'allagamento conseguente alla rotta arginale del fiume Secchia del gennaio 2014 [9].

Nell'alveo del fiume Secchia si è assunto un unico coefficiente di scabrezza secondo Strickler $k_s = 20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ a seguito di una procedura di taratura basata sulla simulazione di eventi di piena reali. Per la taratura, il dominio è stato limitato al tratto di fiume Secchia compreso tra la sezione di Ponte Alto e la sezione finale di San Siro. La taratura è stata effettuata confrontando, per ciascun evento, l'andamento del livello idrico restituito dal modello con quello registrato agli idrometri di Ponte Bacchello e di Pioppa, dopo aver imposto come condizione al contorno di monte l'idrogramma di portata in ingresso a Ponte Alto e come condizione al contorno di valle l'andamento del livello registrato a San Siro. Gli eventi considerati sono i seguenti:

- 23-29 dicembre 2009;
- 22-28 dicembre 2010;
- 01-08 marzo 2014;
- 25-30 marzo 2015.

A titolo di esempio, nella Figura 5-5 si riportano, per uno degli eventi simulati, i grafici delle condizioni al contorno imposte nonché quelli relativi al confronto tra i livelli registrati e

simulati nelle sezioni di controllo, che risultano in buon accordo tra loro e giustificano la scelta effettuata relativamente al valore del coefficiente di scabrezza.

Nell'alveo del fiume Panaro si è assunto un unico coefficiente di scabrezza secondo Strickler $k_s = 25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ a seguito di una procedura di taratura basata sulla simulazione di eventi di piena reali. Per la taratura, il dominio è stato limitato al tratto di fiume compreso tra la sezione di Ponte Sant'Ambrogio e la sezione finale di Bondeno. La taratura è stata effettuata confrontando, per ciascun evento, l'andamento del livello idrico restituito dal modello con quello registrato agli idrometri di Navicello, Bomporto e Camposanto, dopo aver imposto come condizioni al contorno di monte gli idrogramma di portata in ingresso a Ponte Sant'Ambrogio (sul Panaro) e al ponte della Via Emilia in località Fossalta (sul Tiepido) e come condizione al contorno di valle l'andamento del livello registrato a Bondeno. È stato trascurato il contributo del Canale Naviglio, come se i portoni vinciani fossero sempre chiusi. Gli eventi considerati sono i seguenti:

- 13-28 gennaio 2014;
- 29 gennaio-5 febbraio 2014;
- 28 febbraio-1 marzo 2016.

A titolo di esempio, nella Figura 5-6 si riportano, per uno degli eventi simulati, i grafici delle condizioni al contorno imposte nonché quelli relativi al confronto tra i livelli registrati e simulati nelle sezioni di controllo, che risultano in buon accordo tra loro e giustificano la scelta effettuata relativamente al valore del coefficiente di scabrezza. Alcune discrepanze, soprattutto sui rami di esaurimento, possono essere attribuite alla mancata inclusione dell'apporto del Naviglio nella simulazione, dopo l'apertura dei portoni vinciani.

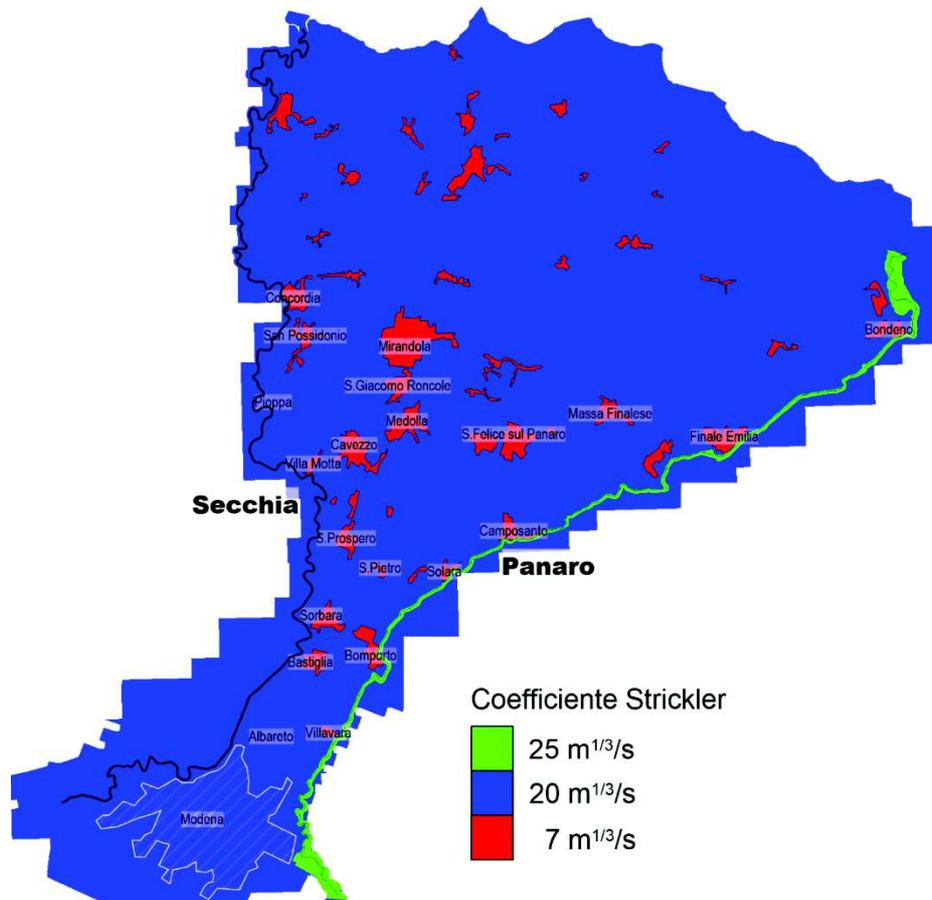


Figura 5-4 – Mappa dei coefficienti di scabrezza secondo Strickler adottati nelle simulazioni.

Evento 23-29 dicembre 2009 (Secchia)

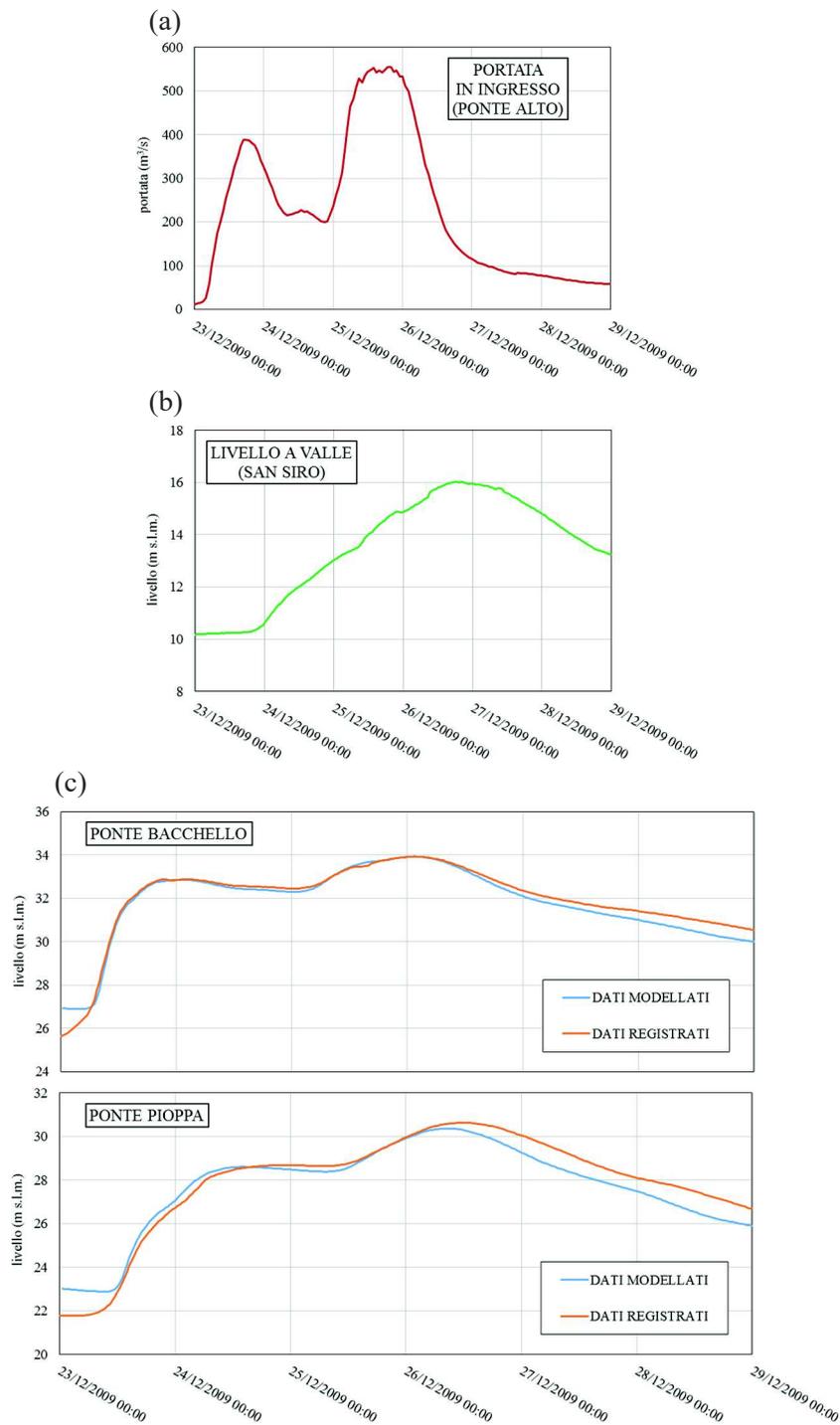


Figura 5-5 – Evento del 23-29 dicembre 2009 sul fiume Secchia: (a) condizione al contorno di monte; (b) condizione al contorno di valle; (c) confronto tra livelli registrati e simulati agli idrometri di Ponte Bacchello e Pioppa.

Evento 29 gennaio – 5 febbraio 2014 (Panaro)

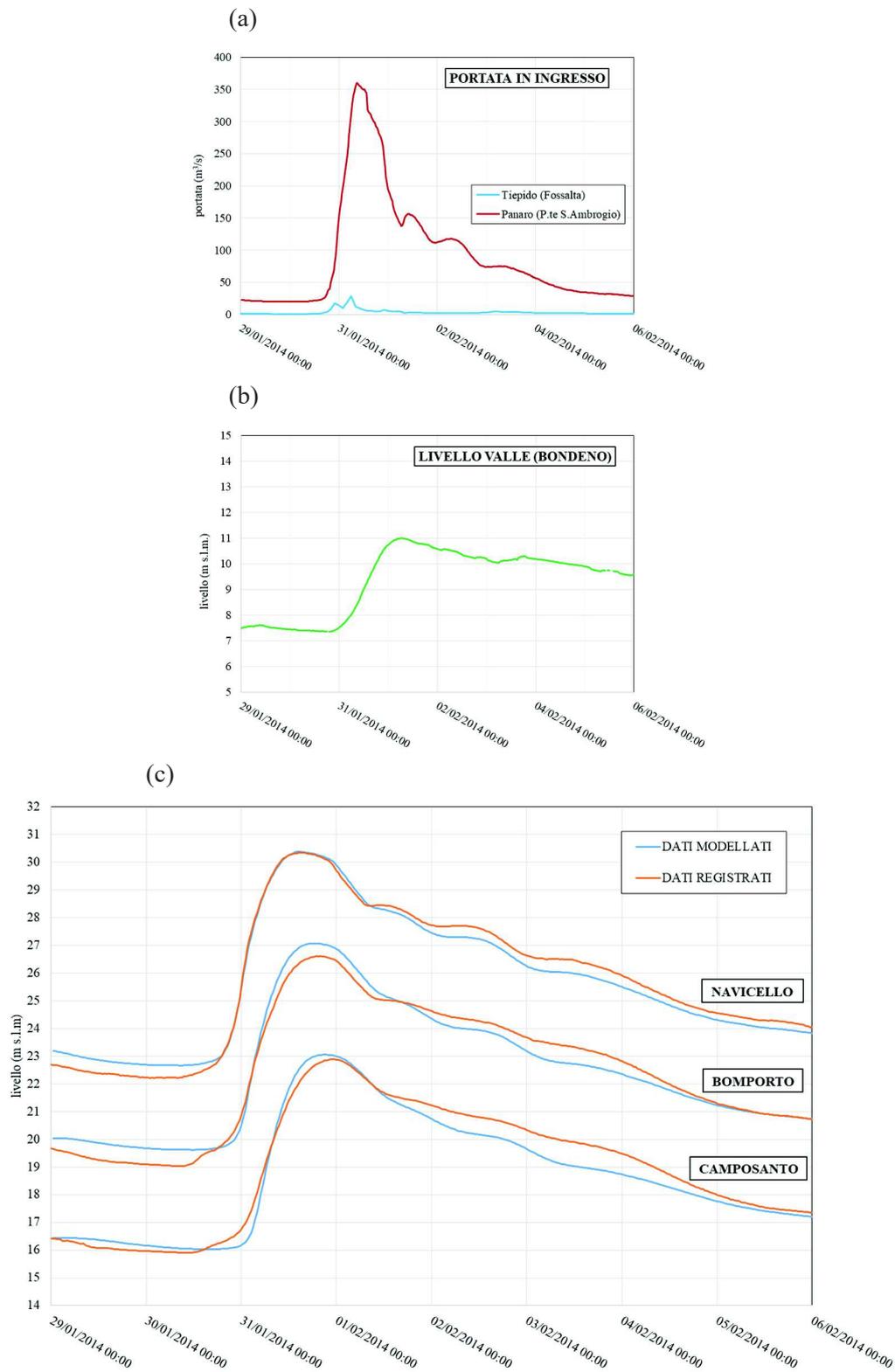


Figura 5-6 - Evento del 29 gennaio-5 febbraio 2014 sul fiume Panaro: (a) condizioni al contorno di monte; (b) condizione al contorno di valle; (c) confronto tra livelli registrati e simulati agli idrometri di Navicello, Bomporto e Camposanto.

5.3. Condizioni al contorno

Per le simulazioni delle breccie sul fiume Secchia, la condizione al contorno di monte è rappresentata dagli idrogrammi di portata in uscita dalla cassa d'espansione di Rubiera con tempo di ritorno pari a 20 e 50 anni (Figura 3-2). A valle è stata invece assunta come condizione al contorno, in corrispondenza della sezione di Ponte Motta, una scala di deflusso dedotta direttamente dal modello numerico utilizzato nelle precedenti annualità (in cui la condizione di valle era posta nella sezione di San Siro) e rappresentata nella Figura 5-7a. Si precisa che la sezione di Ponte Motta è collocata circa 21 km a valle rispetto all'ultima breccia (Ponte Alto) e la sua influenza sulla propagazione della piena in alveo è del tutto trascurabile.

Per le simulazioni delle breccie sul fiume Panaro, la condizione al contorno di monte è rappresentata dagli idrogrammi di portata in uscita dalla cassa d'espansione di Sant'Anna con tempo di ritorno pari a 20 e 100 anni (Figura 3-4). Sono stati trascurati i contributi degli affluenti Tiepido e Naviglio. Per quanto riguarda la condizione al contorno di valle, è necessario distinguere tra le simulazioni degli allagamenti causati da breccie a monte coinvolgenti Modena e le simulazioni delle breccie vallive. Nel primo caso è stata imposta nella sezione di Camposanto una scala di deflusso desunta direttamente dal modello numerico utilizzato nella precedente annualità (in cui la condizione di valle era posta a Bondeno) e rappresentata nella Figura 5-7b. Anche in questo caso la sezione di Camposanto è collocata più di 20 km a valle rispetto all'ultima breccia e la sua influenza sulla propagazione della piena in alveo è del tutto trascurabile. Nel caso delle simulazioni relative alle breccie vallive sul fiume Panaro, è stato imposto come condizione al contorno di valle un livello costante pari a 7 m s.l.m. in corrispondenza della confluenza col fiume Po. In questa annualità si sono infatti presi in considerazione solamente scenari derivanti da piene di Panaro, trascurando l'ipotesi di una piena contemporanea sul fiume Po; il livello scelto consente di evitare significativi effetti di rigurgito da valle ed è stato dedotto a partire dai dati disponibili alla stazione idrometrica di Ficarolo (Po). Per tale stazione, sono stati analizzati i livelli medi annui (che si assestano tra 5.5 e 7.5 m s.l.m.), nonché i valori delle portate medie annue (attorno a 1550 m³/s) e delle portate con durata 90 giorni (circa 1800 m³/s), cui corrispondono livelli compresi tra 6.5 e 7 m s.l.m. sulla base della scala delle portate pubblicata sugli Annali Idrologici. Trascurando la breve distanza tra Ficarolo e la confluenza (2 km), in virtù della debole pendenza dell'alveo del Po in quel tratto, è stato dunque assunto un livello alla confluenza pari a 7 m s.l.m. Simulazioni preliminari hanno comunque mostrato che variazioni di ± 1 m sulla condizione di valle non influenzano in modo significativo la dinamica degli allagamenti dovuti alle breccie nelle posizioni ipotizzate.

Per tutto il resto del contorno del dominio è stata assunta una condizione di parete insormontabile, del tutto ininfluenza in quanto il limite del dominio non viene mai raggiunto dall'allagamento.

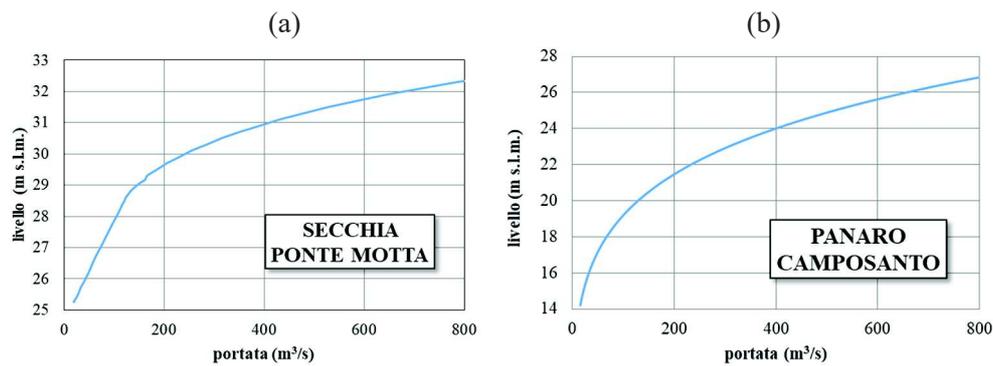


Figura 5-7 – Scale di deflusso assunte come condizione al contorno di valle per le simulazioni delle breccie di monte: (a) sul fiume Secchia, nella sezione di Ponte Motta; (b) sul fiume Panaro, nella sezione di Camposanto.

5.4. Breccie

Per quanto riguarda il fiume Secchia, il POA relativo alla prima annualità prevedeva di simulare gli scenari di allagamento conseguenti a breccie in destra idraulica ubicate tra Ponte Alto e località San Martino (breccie 1-13). Nella seconda annualità sono stati completati gli scenari relativi alle breccie comprese tra San Martino e il confine regionale (breccie 14-23). In questa terza annualità ci si è invece focalizzati sugli scenari di allagamento conseguenti a breccie poste tra l'inizio dell'arginatura (a valle della cassa d'espansione) e Ponte Alto e che interessano la zona urbana di Modena. Le breccie sono numerate da -6 a 1 partendo da monte verso valle, e la loro posizione è descritta nella Tabella 5-1 e mostrata nella Figura 5-8. Nella Tabella 5-1 è inoltre riportata un'indicazione del numero dello stante più prossimo al punto ipotizzato per l'innesco della breccia. Si noti che la posizione della breccia 1 era stata già considerata nel POA relativo alla prima annualità, ma alla luce della disponibilità del rilievo della zona urbana di Modena lo scenario è stato valutato nuovamente (ed è indicato come 1bis).

Per quanto riguarda il fiume Panaro, nella seconda annualità erano stati analizzati gli scenari di allagamento conseguenti a breccie comprese tra l'attraversamento della linea ferroviaria Milano-Bologna e la località di Camposanto, immediatamente a valle del rilevato della ferrovia Bologna-Verona (breccie 1-14). In questa terza annualità sono state considerate 4 possibili breccie poste tra la confluenza Tiepido-Panaro e l'attraversamento della linea ferroviaria Milano-Bologna (numerata da -3 a 0 da monte verso valle) e 8 possibili breccie vallive tra Camposanto e Bondeno (numerata da 15 a 22 da monte verso valle). La posizione delle 12 breccie è descritta nella Tabella 5-2 e mostrata nella Figura 5-9. Nella Tabella 5-2 è inoltre riportata un'indicazione del numero dello stante più prossimo al punto ipotizzato per l'innesco della breccia.

Per entrambi i fiumi, il criterio di scelta prevedeva di selezionare breccie distanziate al massimo di 2 km l'una dall'altra, in modo da esplorare tutti i possibili scenari di allagamento. Inoltre, sono state privilegiate le posizioni più "critiche", ossia i tratti in cui l'argine risulta in frodo in occasione di un evento di piena significativo e i tratti in esterno curva.

Per tutte le breccie si è ipotizzata una forma trapezia, con una quota che varia gradualmente nel tempo a partire dalla quota del coronamento arginale fino a raggiungere quella del piano campagna circostante, e con una larghezza finale assunta cautelativamente pari a 100 m. Studi progressivi hanno infatti mostrato come, per un alveo delle dimensioni di quelli dei fiumi Secchia e Panaro, rotte di ampiezza superiore ai 100 m non diano luogo ad apprezzabili incrementi di portata uscente dalla breccia.

L'evoluzione temporale della breccia, definita come il tempo necessario al raggiungimento della larghezza finale, è stata assunta pari a 6 ore per lo scenario idrologico meno gravoso e pari a 3 ore per quello più gravoso.

Tabella 5-1 – Descrizione della posizione delle breccie ipotizzate in destra Secchia, con indicazione dello stante più vicino.

Breccia	Stante più vicino	Descrizione
-6	7	A monte dell'area di servizio Secchia Ovest e dell'attraversamento A1
-5	14	A valle dell'area di servizio Secchia Ovest e dell'attraversamento A1
-4	18	Strada Barchetta (a Nord-Ovest di Località Il Forno)
-3	26	Strada Nuova di Freto (a Nord-Est di Località Il Forno)
-2	33	Località Freto (a monte di Ponte Alto)
-1	43	Ponte Alto (ingresso Canalazzo di Freto)
0	48	Tra attraversamenti della SP143 e della ferrovia Modena-Mantova
1(bis)	51	Modena, a valle dell'attraversamento della ferrovia Modena-Mantova

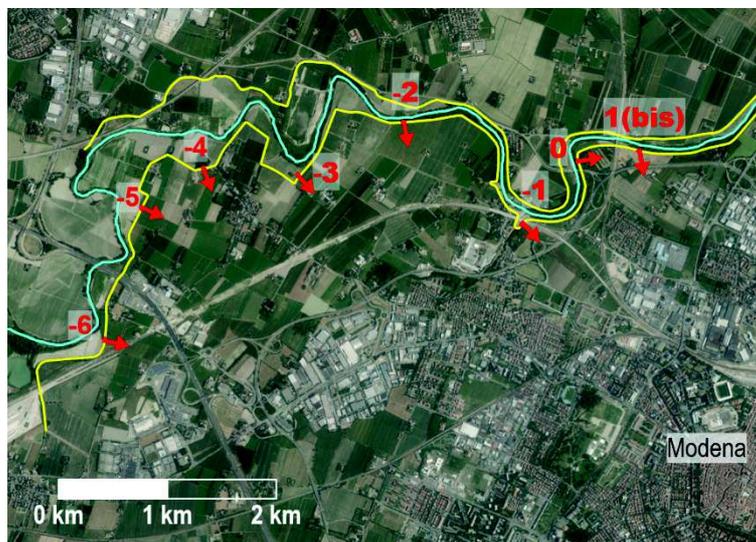


Figura 5-8 – Posizione delle 8 breccie ipotizzate in destra Secchia.

Tabella 5-2 – Descrizione della posizione delle breccie ipotizzate in sinistra Panaro, con indicazione dello stante più vicino.

Breccia	Stante più vicino	Descrizione
-3	3	In corrispondenza della confluenza Tiepido-Panaro
-2	7	A monte dell'attraversamento della ferrovia Milano-Bologna
-1	12	A valle dell'attraversamento della ferrovia Milano-Bologna
0	18	In corrispondenza di Strada Casette (Saliceto sul Panaro)
15	160	Località Cadecoppi
16	180	Località Ca' Bianca
17	202	Polo Industriale di Finale Emilia
18	211	A monte dell'abitato di Finale Emilia
19	227	A valle dell'abitato di Finale Emilia
20	-	A valle dell'intersezione tra Via Finale Santa Bianca e Via Sant'Elia
21	-	A monte del Canale Diversivo di Burana (Località Santa Bianca)
22	-	A monte dell'abitato di Bondeno e del Canale di Burana

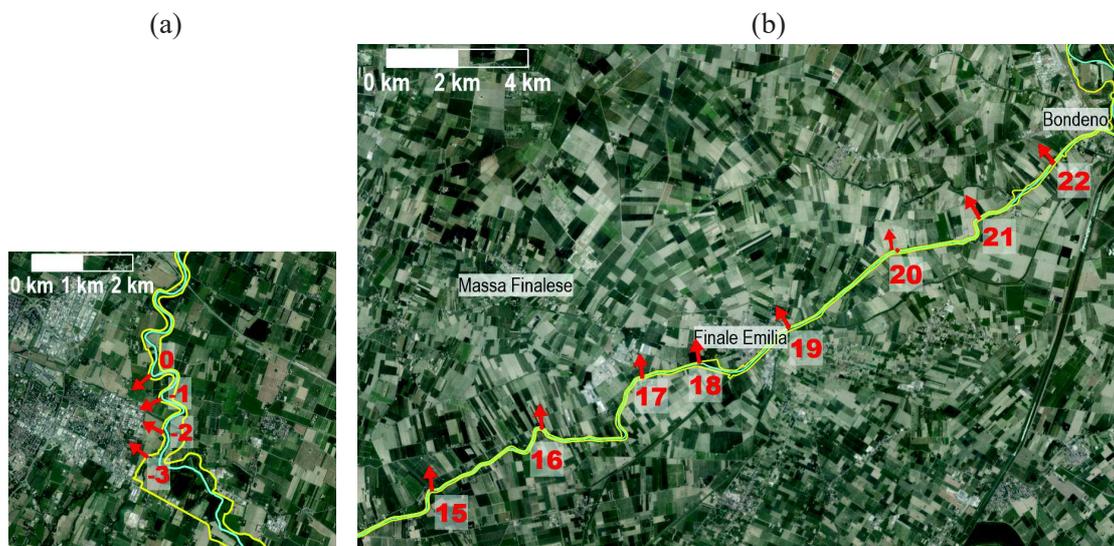


Figura 5-9 - Posizione delle 12 breccie ipotizzate in sinistra Panaro.

6. SIMULAZIONI E RISULTATI

6.1. Simulazioni preliminari in assenza di brecce

6.1.1. *Secchia*

Al fine di valutare le portate, i livelli e i tempi di propagazione in alveo delle due onde di piena con tempo di ritorno di 20 e 50 anni (nel seguito abbreviati in TR 20 e TR 50), sono state effettuate due simulazioni preliminari in assenza di brecce.

Le condizioni iniziali usate per ciascuna delle due simulazioni in moto vario sono state desunte da simulazioni preliminari in cui è stato imposto a monte un valore di portata costante e pari al valore iniziale di ciascuno dei due idrogrammi di piena (approssimativamente $15 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ per entrambi). Le altre principali assunzioni del modello sulle condizioni al contorno e sulla scabrezza sono già state esposte al paragrafo 5.

La Figura 6-1 riporta le mappe degli involuipi delle massime quote idriche per i due tempi di ritorno. Mentre l'onda di piena TR 20 è tutta contenuta nelle arginature, per l'onda di piena TR 50 si osserva qualche piccolo sormonto localizzato (con franco negativo di pochi centimetri) in tratti già interessati dal progetto di rialzo nel primo tratto del fiume, sia in destra che in sinistra idraulica. Nonostante questi piccoli sormonti, l'onda di piena TR 50 è stata assunta come onda "a franco nullo", condizione che viene comunque raggiunta solo nel tratto di monte, mentre a valle i franchi risultano comunque sempre positivi.

Le simulazioni in assenza di brecce hanno avuto anche lo scopo di identificare l'istante di innesco di ciascuna delle brecce previste, riportate nella Figura 6-1. Si è assunto che l'inizio dell'apertura di una generica breccia avvenisse nell'istante in cui il colmo transita in corrispondenza della sezione della breccia stessa, oppure in corrispondenza dell'istante di inizio del sormonto, qualora questo si verifici. La Tabella 6-1 riporta, per tutte le brecce e per entrambi i tempi di ritorno, l'istante di apertura della breccia e il franco arginale corrispondente (in destra idraulica). Per quasi tutte le brecce nello scenario TR50 l'apertura avviene nell'istante del sormonto.

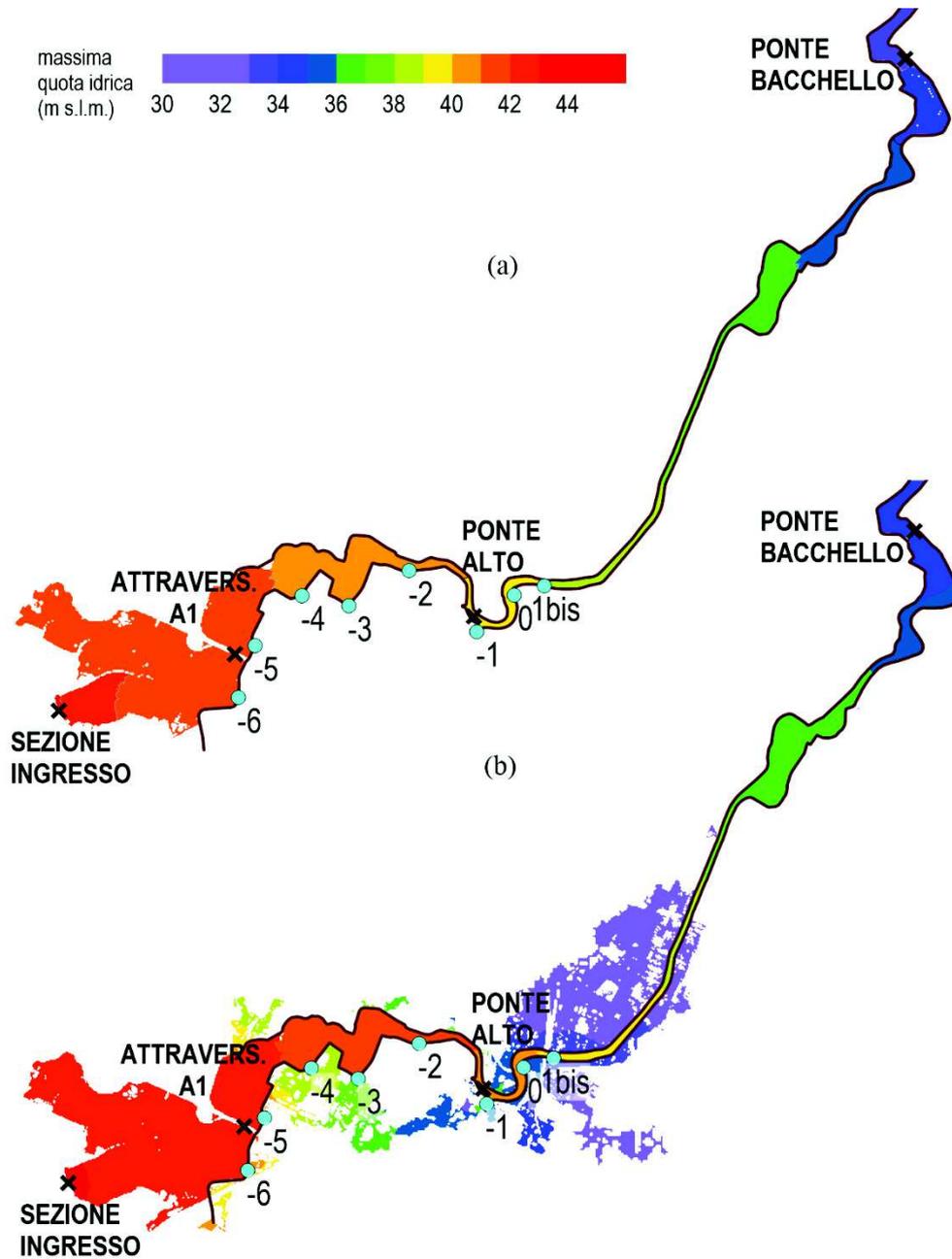


Figura 6-1 – Involuppi delle massime quote idriche per le simulazioni delle onde con TR 20 (a) e TR 50 (b) sul fiume Secchia, in assenza di breccie. Nell'immagine è indicata anche la posizione delle breccie -6-1bis e di alcune sezioni significative.

Tabella 6-1 – Istante di apertura della breccia sul fiume Secchia e corrispondente franco arginale destro. I valori contrassegnati da asterisco indicano che l'innescò della breccia avviene in corrispondenza del sormonto.

Breccia	TR 20 anni		TR 50 anni	
	Istante (h)	Franco (m)	Istante (h)	Franco (m)
-6	21.5	0.96	21.5*	0
-5	22	0.90	21.5*	0
-4	22.5	0.87	21.5*	0
-3	22.5	1.08	21.5	0.04
-2	23	1.12	21.5	0.06
-1	23	0.88	22*	0
0	23	0.85	22*	0
1(bis)	23.5	0.83	22*	0

6.1.2. Panaro

Al fine di valutare le portate, i livelli e i tempi di propagazione in alveo delle due onde di piena con tempo di ritorno di 20 e 100 anni (nel seguito abbreviati in TR 20 e TR 100), sono state effettuate due simulazioni preliminari in assenza di breccie.

Le condizioni iniziali usate per ciascuna delle due simulazioni in moto vario sono state desunte da simulazioni preliminari in cui è stato imposto a monte un valore di portata costante e pari al valore iniziale di ciascuno dei due idrogrammi di piena (approssimativamente 96 e 120 m³s⁻¹ per TR 20 e TR 100 rispettivamente). Le altre principali assunzioni del modello sulle condizioni al contorno e sulla scabrezza sono già state espòste al paragrafo 5.

La Figura 6-2 riporta la posizione delle breccie e le mappe degli involuppi delle massime quote idriche per i due tempi di ritorno. Per l'evento meno gravoso (TR 20) il franco arginale risulta maggiore o uguale a 1 m in corrispondenza della posizione di tutte le breccie (Tabella 6-2), mentre l'onda di piena con TR 100 risulta sostanzialmente "a franco nullo" nel tratto a valle di Bomporto. Si riscontrano invece franchi elevati (>2 m per TR 20, > 1 m per TR 100) a partire da Camposanto e fino alla confluenza in Po.

Le simulazioni in assenza di breccie hanno avuto anche lo scopo di identificare l'istante di innescò di ciascuna delle breccie previste. Si è assunto che l'inizio dell'apertura di una generica breccia avvenisse nell'istante in cui il colmo transita in corrispondenza della sezione della breccia stessa. La Tabella 6-2 riporta, per tutte le breccie e per entrambi i tempi di ritorno, l'istante di apertura della breccia e il franco arginale corrispondente (in sinistra idraulica). Tutte le breccie avvengono con franco positivo.

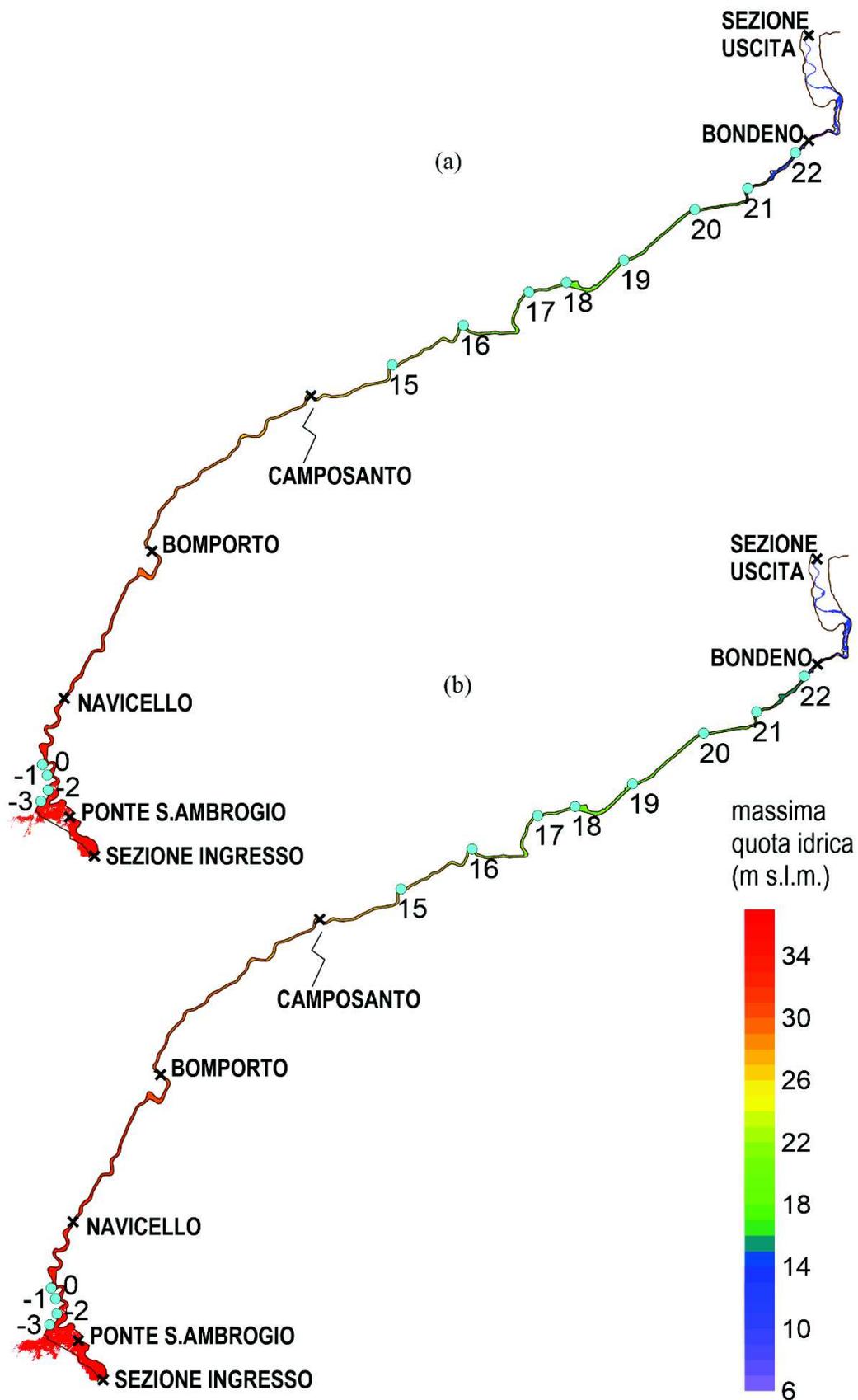


Figura 6-2– Involupi delle massime quote idriche per le simulazioni delle onde con TR 20 (a) e TR 100 (b) sul fiume Panaro, in assenza di brecce. Nell'immagine è indicata anche la posizione delle brecce -3-0 e 15-22 e di alcune sezioni significative.

Tabella 6-2 – Istante di apertura della breccia sul fiume Panaro e corrispondente franco arginale sinistro.

Breccia	TR 20 anni		TR 100 anni	
	Istante (h)	Franco (m)	Istante (h)	Franco (m)
-3	93.5	1.21	94	0.54
-2	93.5	1.07	94.5	0.39
-1	94	1.24	94.5	0.56
0	94	1.36	94.5	0.67
15	101.5	2.31	101.5	1.51
16	102	2.76	102	1.96
17	103	3.47	102.5	2.65
18	103	3.63	102.5	2.79
19	104	3.32	103	2.46
20	104.5	3.53	104	2.68
21	105.5	3.19	104.5	2.38
22	105.5	3.90	104.5	3.11

6.2. Simulazioni degli allagamenti conseguenti alle brecce

Per ciascuna simulazione, fissata la posizione della breccia e il tempo di ritorno, la condizione iniziale è rappresentata dalle mappe della profondità idrica e della velocità nell'istante corrispondente all'apertura della breccia, indicato nella Tabella 6-1 per il fiume Secchia e nella Tabella 6-2 per il fiume Panaro. Le altre assunzioni del modello sono quelle già esposte al paragrafo 5. Tutte le simulazioni sono state prolungate per 72 ore a partire dall'istante di apertura della breccia, e i risultati sono stati restituiti con scansione semi-oraria. Va sottolineato che nella simulazione non sono ovviamente tenuti in considerazione interventi emergenziali di alcun tipo (sacchettature, pompaggi, apertura di rotte di rientro in arginature di canali, interventi di ripristino delle arginature volti a ridurre la portata uscente della breccia, ecc...); inoltre si è ipotizzato che i portoni vinciani del Canale Naviglio (a Bomporto) fossero chiusi e che quindi il canale non potesse scaricare acqua nel fiume.

Le simulazioni complessivamente effettuate sono 16 per il fiume Secchia, relative alle 8 posizioni di breccia individuate ed ai due diversi scenari idrologici, e 24 per il fiume Panaro, relative alle 12 posizioni di breccia individuate ed ai due diversi scenari idrologici. Nel seguito, si indicheranno le diverse simulazioni come “**Breccia N TR X Fiume**” dove *N* verrà sostituito dal numero della breccia, *X* dal tempo di ritorno dello scenario idrologico considerato e *Fiume* dal fiume sul cui argine avviene la rotta.

6.2.1. Prodotti restituiti per ciascuna simulazione

Per ciascuna delle 40 simulazioni, sono stati restituiti i seguenti prodotti (in formato digitale):

- Animazione dell'evoluzione temporale dell'allagamento, in cui vengono rappresentate con scansione semi-oraria le profondità idriche raggiunte sul territorio (il file allegato ha nome generico *Filmato_BrecciaN_TRX_Fiume.mp4*);

- b) Mappa della massima profondità idrica, espressa in m (il file allegato ha nome generico *Mappa_MAXDEPTH_BrecciaN_TRX_Fiume.tif*);
- c) Mappa della massima quota idrica, espressa in m s.l.m. (il file allegato ha nome generico *Mappa_MAXWSE_BrecciaN_TRX_Fiume.tif*);
- d) Mappa della massima velocità idrica in modulo, espressa in m/s (il file allegato ha nome generico *Mappa_MAXVEL_BrecciaN_TRX_Fiume.tif*);
- e) Mappa della massima profondità totale, espressa in m: tale grandezza è intesa come un indice sintetico di pericolosità idraulica complessiva, basato sulla combinazione dei valori contemporanei di altezza idrica e velocità, ed è meglio descritta al paragrafo 6.2.4 (il file allegato ha nome generico *Mappa_MAXPROFTOT_BrecciaN_TRX_Fiume.tif*);
- f) Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento, espressi in ore (il file allegato ha nome generico: *Mappa_TEMPOARR_BrecciaN_TRX_Fiume.tif*).

Le mappe b-e non si riferiscono ad alcun istante temporale, ma rappresentano l'involuppo delle profondità idriche, quote idriche, velocità e profondità totale raggiunte, in generale, in istanti diversi.

A titolo di esempio, nelle Figure 6-3÷6-7 sono riportate le mappe b-f relative ad una generica simulazione, in particolare alla "Breccia -2 TR 50 Secchia". Le scale di colore sono state scelte in modo da esaltare le differenze, per cui, ad esempio, le profondità idriche superiori a 3 m, se presenti, nella Figura 6-3 sono state tutte raggruppate in un unico colore rosso (lo stesso vale per le profondità totali superiori a 1.5 m nella Figura 6-6 e per le velocità superiori a 1 m/s nella Figura 6-5). Le mappe b-f di tutte le simulazioni sono riportate nell'Allegato, e sono disponibili in formato digitale sia come immagini (in formato Tiff) sia come mappe raster georeferenziate nel sistema UTM32-ETRS89 (in formato GeoTiff).

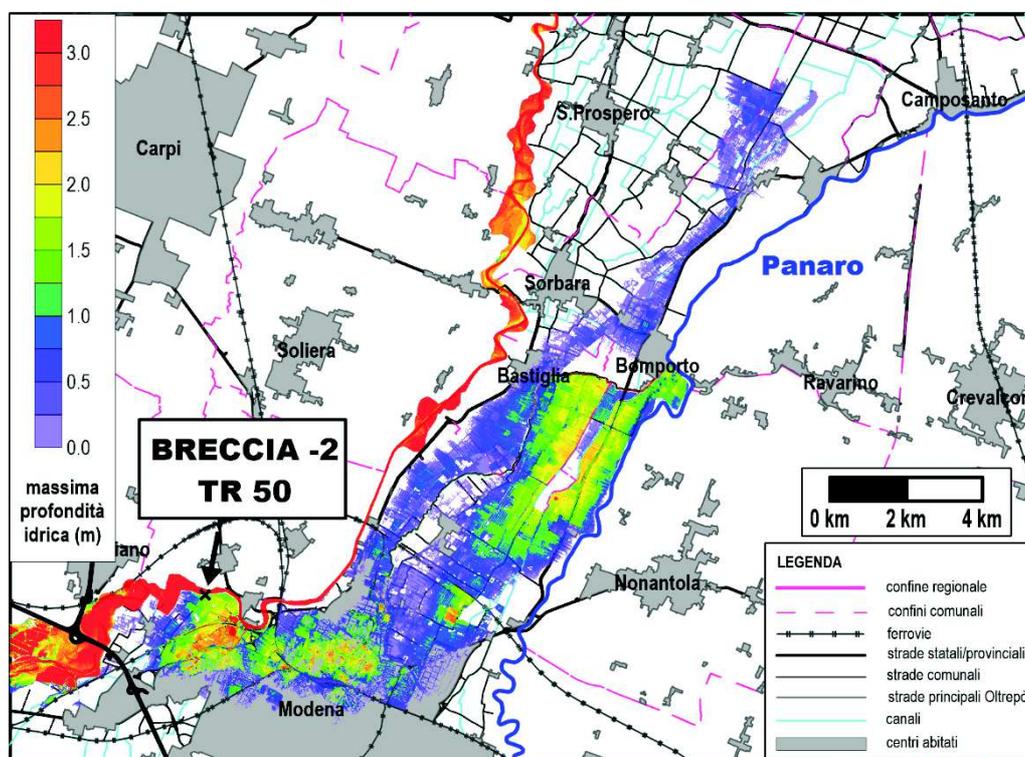


Figura 6-3 – Mappa della massima profondità idrica (in m) per il caso "Breccia -2 TR 50 Secchia".

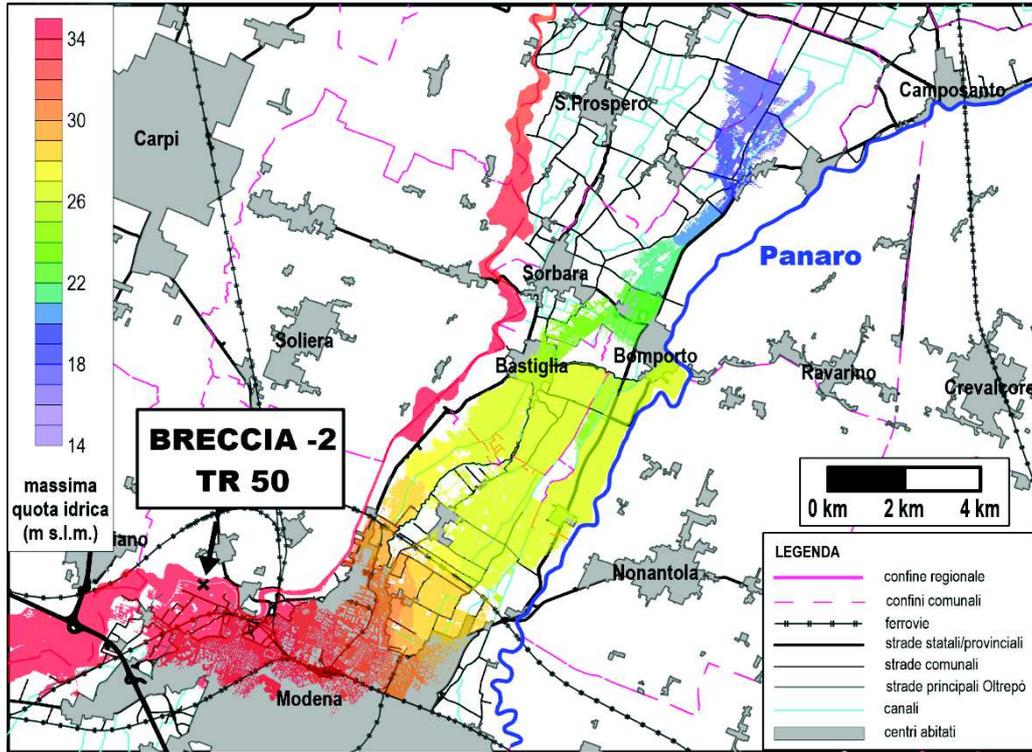


Figura 6-4 – Mappa della massima quota idrica (in m s.l.m.) per il caso “Breccia –2 TR 50 Secchia”.

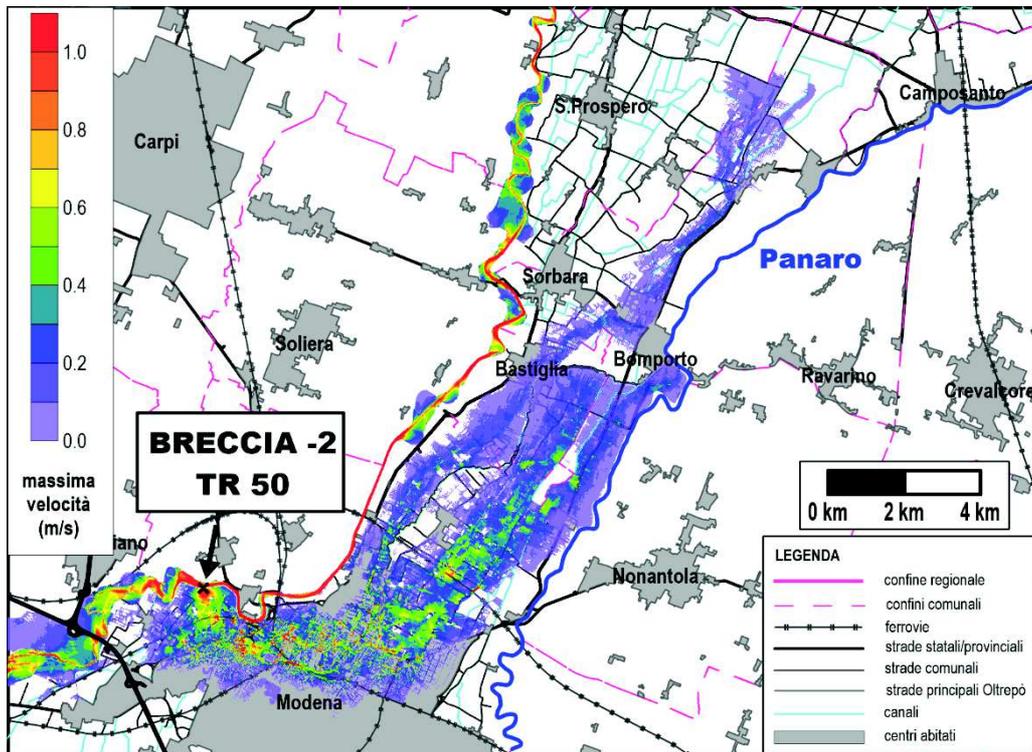


Figura 6-5 – Mappa della massima velocità idrica (in m/s) per il caso “Breccia –2 TR 50 Secchia”.

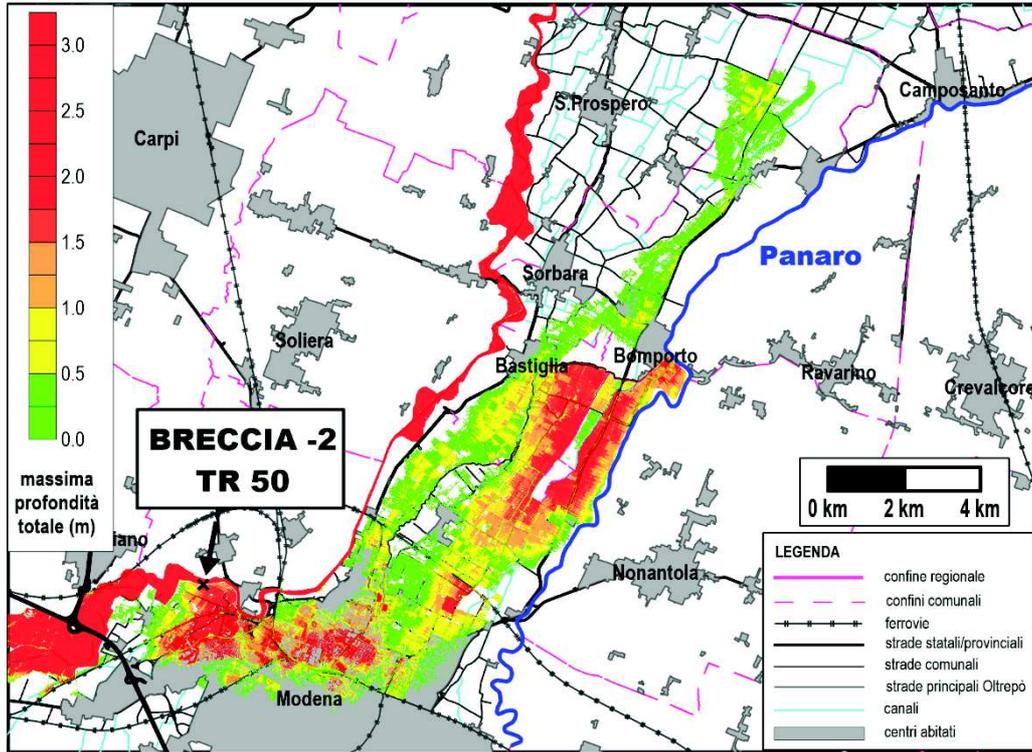


Figura 6-6 – Mappa della massima profondità totale (in m) per il caso “Breccia –2 TR 50 Secchia”.

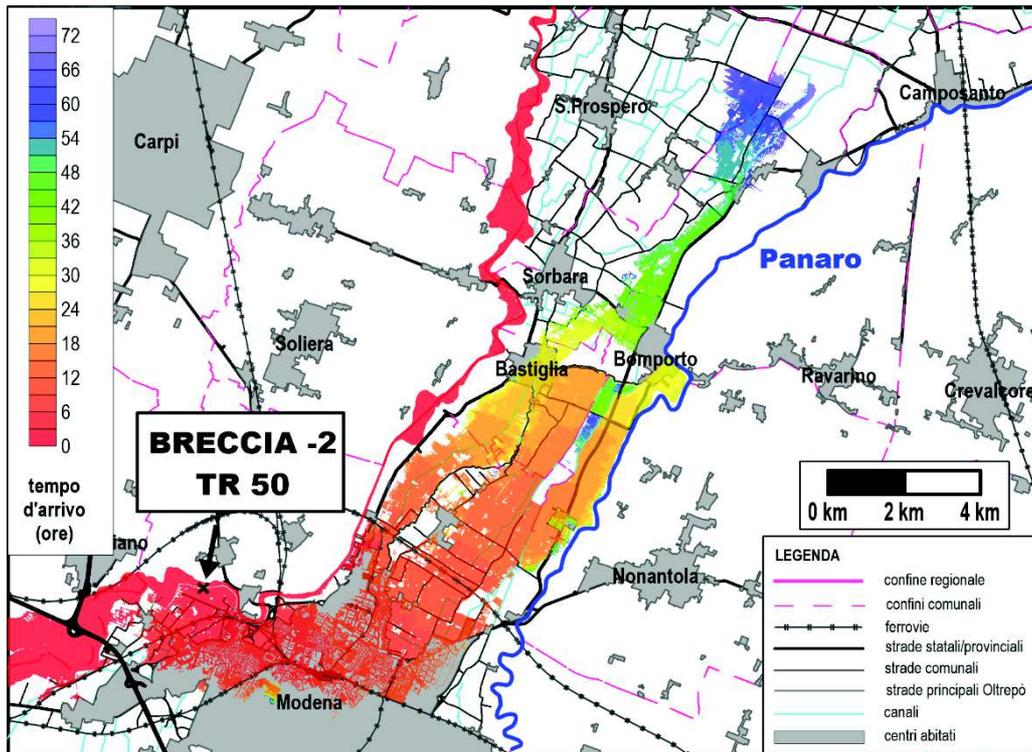


Figura 6-7 – Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore) per il caso “Breccia –2 TR 50 Secchia”.

6.2.2. Descrizione generale dei risultati: brecce sul fiume Secchia

Gli allagamenti derivanti dalle brecce in destra Secchia nel tratto considerato vanno a coinvolgere ampie aree nella zona Nord del centro abitato di Modena. In generale, le zone urbane a maggior pericolosità sono quelle poste a Nord del tratto cittadino della ferrovia Milano-Bologna (si veda ad esempio la Figura 6-6).

In particolare, per quanto riguarda la breccia -6 (TR20) si osserva che l'allagamento investe l'area di servizio Secchia Ovest sull'A1 e la zona di Modena Fiere; coinvolge inoltre il quartiere a cavallo di Via Emilia Ovest, la zona di Ponte Alto e il quartiere a Nord della stazione ferroviaria. Per lo scenario TR50 risultano interessati anche tutta la zona della stazione, il quartiere Crocetta, il quartiere industriale a Est del Canale Naviglio e la campagna tra Albareto e Villavara. Una dinamica simile si osserva per gli allagamenti derivanti dalla breccia -5 (Figura 6-8).

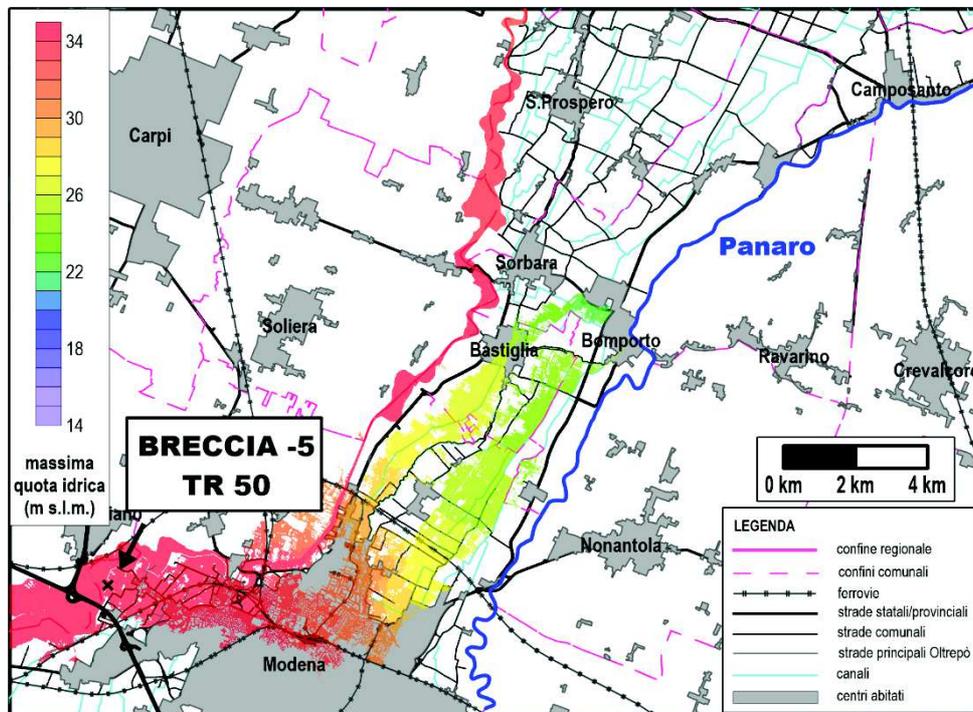


Figura 6-8 – Mappa della massima quota idrica (in m s.l.m.) per il caso “Breccia -5 TR 50 Secchia”.

Per quanto riguarda gli allagamenti dovuti alle brecce comprese tra la -4 e la 0, per lo scenario TR20, questi investono gran parte della zona Nord della città di Modena, in particolare la zona di Ponte Alto, di Via Emilia Ovest, della stazione ferroviaria, nonché il quartiere Crocetta, arrivando a lambire il centro storico. La propagazione dell'allagamento si sviluppa poi in direzione Nord, coinvolgendo Albareto e Villavara e proseguendo fino a Bastiglia e alla zona dei Prati di San Clemente; la dinamica risulta fortemente influenzata dal reticolo idrografico minore (Canale Naviglio e Cavi Argine e Minutara) e dagli altri rilevati presenti nel territorio (come ad esempio la SP2). Nel caso dello scenario TR50, l'allagamento è più esteso verso Nord e arriva all'abitato di Bomporto e a Gorghetto. A titolo di esempio, nella Figura 6-4 è possibile

osservare la mappa delle massime quote idriche raggiunte per la simulazione “Breccia –2 TR50 Secchia”.

Infine, gli scenari relativi alla breccia 1(bis) sono caratterizzati da allagamenti che raggiungono anche la SP5 nel Comune di Camposanto. Da notare che, rispetto alla stessa simulazione effettuata nel corso del POA relativo alla prima annualità, per lo scenario TR50 risultano allagate anche porzioni di territorio a Sud della ferrovia Milano-Bologna (che allora non erano comprese nel modello per mancanza del rilievo batimetrico): si veda in proposito la Figura 6-9, che mostra un dettaglio dell’involuppo delle massime profondità idriche per lo scenario “Breccia 1bis TR50 Secchia”.

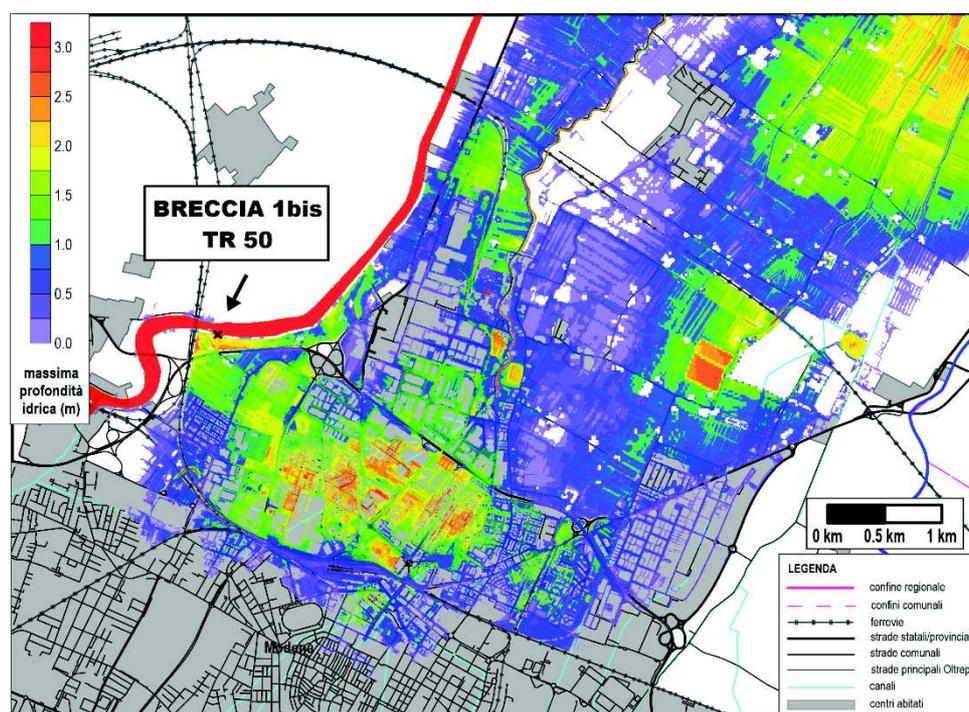


Figura 6-9 – Dettaglio della mappa della massima profondità idrica (in m) per il caso “Breccia 1(bis) TR 50 Secchia”.

La Tabella 6-3 sintetizza i dati relativi ai volumi esondati e alla superficie allagata a seguito di ciascuna rotta. Si noti che il volume esondato risulta piuttosto variabile per i diversi scenari, in virtù del fatto che alcune breccie sono ubicate in tratti caratterizzati dalla presenza di ostacoli a ridosso dell’argine che riducono la portata in uscita dalla breccia stessa, o in tratti nei quali il piano campagna al piede dell’argine risulta localmente più elevato, e quindi la pensilità dell’argine stesso è ridotta. Confrontando i risultati delle simulazioni di una generica breccia per i due scenari idrologici (TR 20 e TR 50), è possibile osservare che la dinamica del fenomeno risulta indicativamente molto simile, ma che nel caso dello scenario idrologico più gravoso l’allagamento risulta più esteso e le quote idriche massime raggiunte sono chiaramente più elevate.

Tabella 6-3 – Area allagate e volumi esondati per le simulazioni effettuate sul fiume Secchia.

Breccia	Area allagata (ha)		Volume esondato ($\cdot 10^6$ m ³)	
	TR 20	TR 50	TR 20	TR 50
-6	549	2371	2.0	6.5
-5	992	2984	2.8	8.4
-4	3172	4397	9.9	17.7
-3	3284	4547	10.5	19.0
-2	3958	4928	15.8	26.0
-1	4157	4779	17.6	26.5
0	3652	4515	13.8	22.4
1(bis)	5356	6070	26.7	38.6

6.2.3. Descrizione generale dei risultati: breccie sul fiume Panaro

Il primo gruppo di scenari relativi alle breccie arginali in sinistra idraulica del fiume Panaro riguarda il tratto compreso tra la confluenza col torrente Tiepido (zona Fossalta) fino a poco a valle dell'attraversamento della ferrovia Milano-Bologna.

Gli allagamenti causati dalle breccie denominate -3 e -2 (poste a monte dell'attraversamento ferroviario) coinvolgono dapprima la zona Est di Modena compresa tra la Via Emilia Est e la ferrovia Milano-Bologna (Saliceto Panaro), per poi proseguire verso Nord nel quartiere Crocetta e nella zona industriale a Nord-Est della città. La dinamica è poi fortemente influenzata dai tratti in rilevato della TAV, dal reticolo idrografico minore (Cavi Argine e Minutara) e dal Canale Naviglio, che funge da contenimento impedendo l'ulteriore propagazione a Nord dell'allagamento. A titolo di esempio nella Figura 6-10a si riporta la mappa della massime altezze idriche per il caso "Breccia -2 TR 20 Panaro".

Una dinamica simile caratterizza gli allagamenti dovuti alle breccie denominate -1 e 0 (poste a valle dell'attraversamento ferroviario), che però coinvolgono solo il territorio a Nord della ferrovia Milano-Bologna. Per lo scenario TR100, anche l'abitato di Bomporto è interessato dall'allagamento, come mostrato nella Figura 6-10b relativa al caso "Breccia 0 TR 100 Panaro".

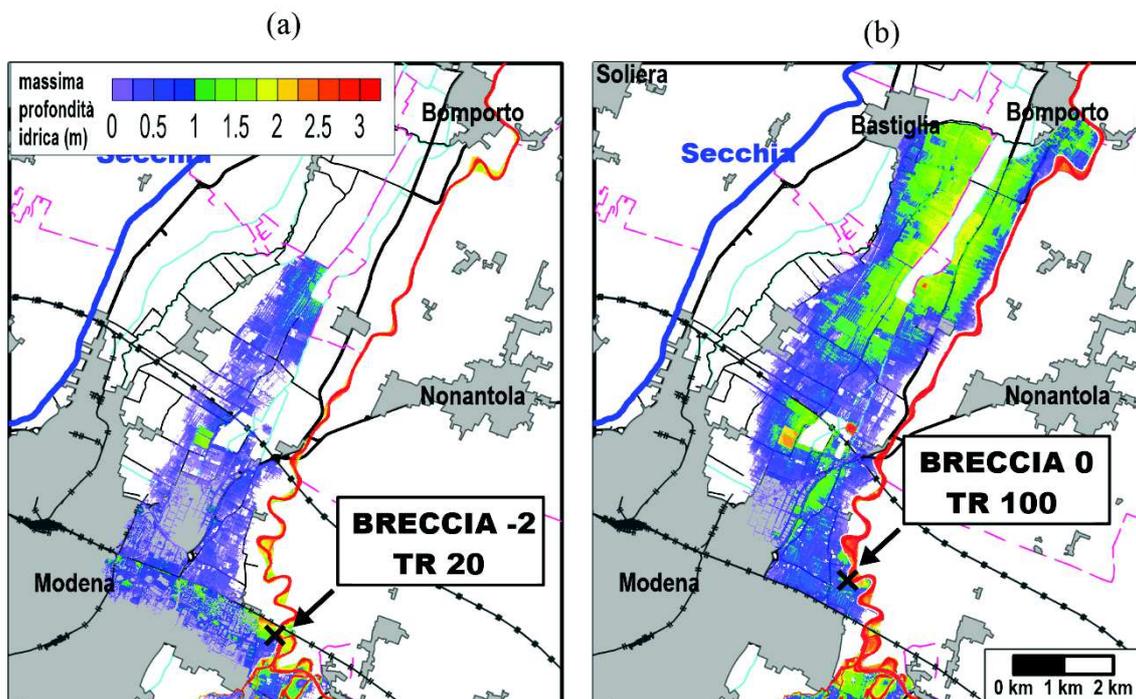


Figura 6-10 – Mappa della massima profondità idrica (in m) per i casi: (a) “Breccia –2 TR 20 Panaro” e (b) “Breccia 0 TR 100 Panaro”.

Il secondo gruppo di scenari relativi alle breccie arginali in sinistra idraulica del fiume Panaro riguarda invece il tratto a valle di Camposanto fino a Bondeno.

Le prime due posizioni di breccia (15 e 16) generano allagamenti che rimangono confinati a Sud dall’arginatura destra del Canale Diversivo di Burana e a Est dal dosso morfologico del Ramo della Lunga, paleoalveo del Panaro di notevole altezza rispetto al piano campagna, a monte del quale si osservano massime profondità idriche superiori a 2 m. A titolo di esempio, si riporta nella Figura 6-11 la mappa della massima profondità idrica per lo scenario “Breccia 15 TR20 Panaro”.

Le breccie 17 e 18 sono collocate a monte dell’abitato di Finale Emilia e danno origine ad un allagamento che coinvolge l’area compresa tra il dosso morfologico del Ramo della Lunga e il Canale Diversivo di Burana, in cui si forma un vero e proprio “lago” che lambisce l’abitato di Finale Emilia. Per lo scenario TR100, dopo diverse ore si ha il sormonto verso Est del dosso morfologico, con conseguente allagamento del territorio compreso tra Panaro e Canale Diversivo di Burana (Figura 6-12a).

La stessa area risulta allagata per gli scenari relativi alle breccie 19, 20 e 21 (tutte collocate tra Finale Emilia e Santa Bianca). Per la breccia 19 una propaggine dell’allagamento interessa ancora la zona a Ovest del dosso morfologico, mentre per quelle più vallive tale area non viene più inondata. Negli scenari relativi alla breccia 21, il volume idrico che fuoriesce dalla breccia è fortemente confinato dal Canale Diversivo di Burana (che confluisce nel Panaro a Santa Bianca), ma è in grado di risalire verso monte grazie al passaggio al di sotto di un ponticello su un canale di bonifica; l’allagamento si estende dunque anche fino al dosso morfologico (Figura 6-12b).

Infine, l’allagamento generato dalla breccia 22 (collocata a valle di Santa Bianca e a monte di Bondeno) va ad interessare tutto il territorio compreso tra il Canale Diversivo di Burana e il Canale di Burana, risalendo verso Nord-Ovest fino a Scortichino (Figura 6-13).

In quest'area, le arginature del reticolo idrografico minore hanno una grande influenza sulla dinamica dell'allagamento e sul suo contenimento.

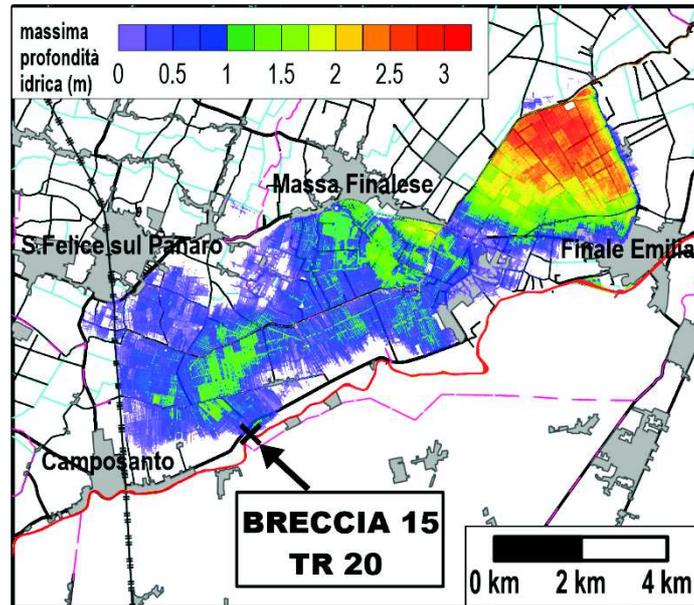


Figura 6-11 – Mappa della massima profondità idrica (in m) per il caso “Breccia 15 TR 20 Panaro”.

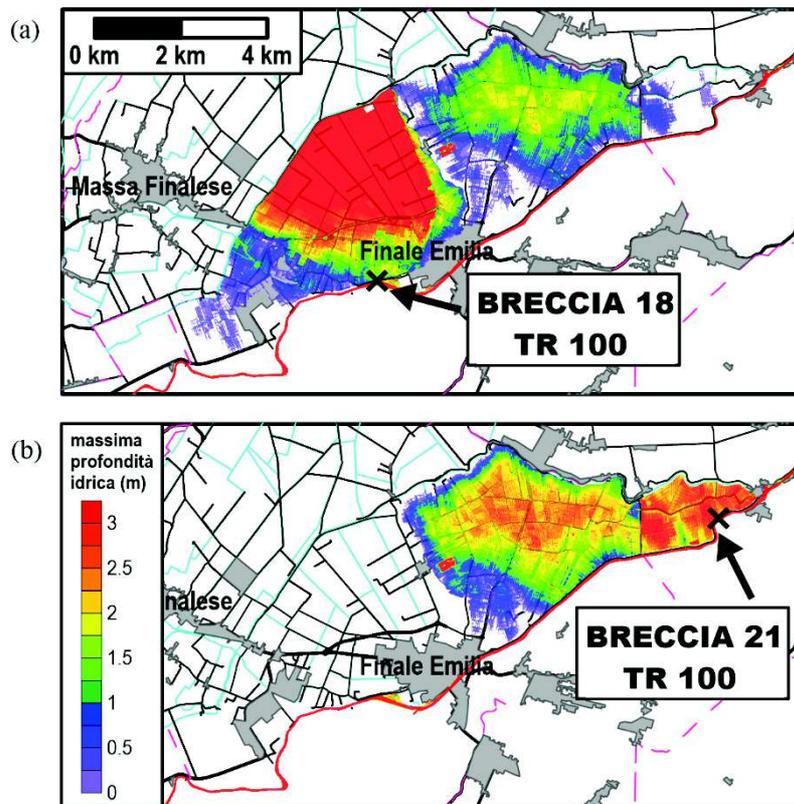


Figura 6-12 – Mappa della massima profondità idrica (in m) per i casi: (a) “Breccia 18 TR 100 Panaro” e (b) “Breccia 21 TR 100 Panaro”.

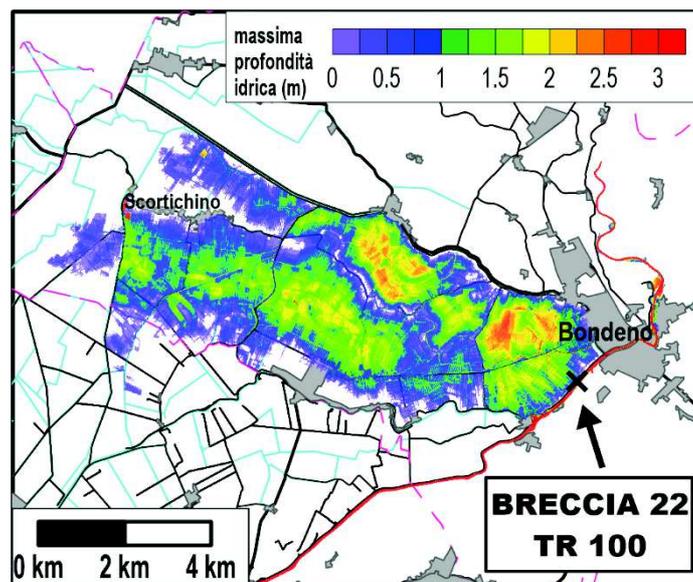


Figura 6-13 – Mappa della massima profondità idrica (in m) per il caso “Breccia 22 TR 100 Panaro”.

La Tabella 6-4 sintetizza i dati relativi ai volumi esondati e alla superficie allagata a seguito di ciascuna rotta. Si noti che, anche in questo caso, il volume esondato risulta piuttosto variabile per i diversi scenari. Confrontando i risultati delle simulazioni di una generica breccia per i due scenari idrologici (TR 20 e TR 100), è possibile osservare che la dinamica del fenomeno risulta indicativamente molto simile, ma che nel caso dello scenario idrologico più gravoso l'allagamento risulta più esteso e le quote idriche massime raggiunte sono chiaramente più elevate.

Tabella 6-4 – Area allagate e volumi esondati per le simulazioni effettuate sul fiume Panaro.

Breccia	Area allagata (ha)		Volume esondato ($\cdot 10^6$ m ³)	
	TR 20	TR 100	TR 20	TR 100
-3	978	2012	1.8	6.3
-2	1120	2090	2.5	7.0
-1	1872	2274	8.1	16.9
0	1754	2208	6.4	14.1
15	3990	4522	34.5	49.7
16	2650	3157	29.9	44.6
17	2009	3088	38.5	53.2
18	2251	3132	41.4	55.9
19	2170	2414	27.2	40.5
20	1758	1909	29.0	40.8
21	1526	1732	18.0	26.7
22	2648	3853	25.1	37.8

6.2.4. Velocità idriche e pericolosità

Va infine sottolineato che, per tutte le simulazioni, le velocità massime riscontrate sul territorio sono piuttosto basse, e si mantengono generalmente al di sotto di 1 m/s, ad eccezione della zona in prossimità della breccia e di alcuni punti localizzati. La pericolosità risulta dunque principalmente legata al livello idrico raggiunto.

Come indice sintetico della pericolosità idraulica si è comunque utilizzata la “profondità totale”, definita come la profondità idrica che genera una spinta idrostatica equivalente alla spinta totale corrispondente ai valori effettivi (contemporanei) della profondità idrica h e della velocità v .

Tale grandezza è calcolabile in base all’espressione: $H = h\sqrt{1 + 2Fr^2}$, dove $Fr = v/\sqrt{gh}$ è il numero di Froude della corrente. La Figura 6-14 rappresenta i campi di pericolosità idraulica, suddivisa in bassa ($H \leq 0.5$ m), media ($0.5 \leq H \leq 1.0$ m), alta ($1.0 \leq H \leq 1.5$ m), e altissima ($H \geq 1.5$ m) nel piano v - h .

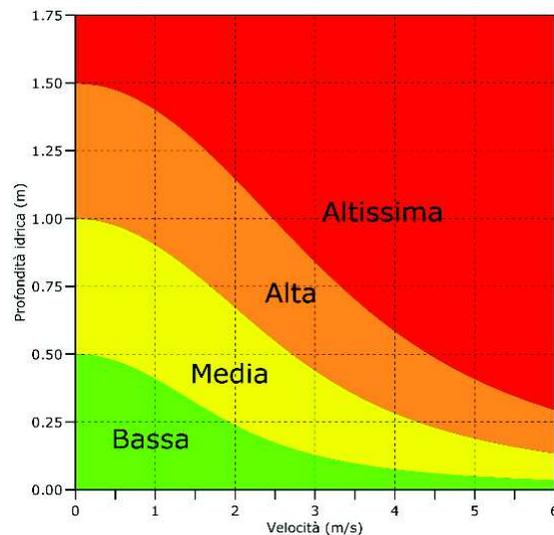


Figura 6-14 – Piano v - h con campi di pericolosità idraulica.

7. CONCLUSIONI

Nel presente studio si è valutata, mediante modellazione numerica, la dinamica dei possibili allagamenti nel comparto Secchia-Panaro-Po a seguito di rotte arginali in destra idraulica del fiume Secchia (nel tratto compreso tra la cassa d'espansione e Ponte Alto) e in sinistra idraulica del fiume Panaro (nel tratto compreso tra la confluenza col torrente Tiepido e l'attraversamento della TAV, nonché nel tratto compreso tra Camposanto e Bondeno).

Al fine di esplorare un'ampia gamma di possibili scenari di allagamento, sono state effettuate simulazioni con brecce arginali di rilevante ampiezza e ubicate in diverse posizioni scelte opportunamente (8 per il fiume Secchia e 12 per il fiume Panaro). Ciascuna simulazione è stata ripetuta per due diversi scenari idrologici (tempi di ritorno di 20 e 50 anni per il fiume Secchia e di 20 e 100 anni per il fiume Panaro), per un totale di 40 simulazioni.

I risultati delle simulazioni forniscono informazioni relative alla dinamica dell'allagamento conseguente al cedimento arginale, e in particolare alle massime profondità attese e ai tempi di arrivo dell'allagamento, che possono rivelarsi utili in fase di emergenza nonché in fase di pianificazione dei piani di protezione civile.

Il futuro sviluppo e completamento dell'attività prevede di considerare rotture arginali in destra idraulica del fiume Po: gli allagamenti ad esse conseguenti, infatti, possono interessare non solo il territorio dell'Oltrepò mantovano, ma anche il territorio emiliano posto a sud.

8. INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-1 – Inquadramento dell’area di studio (campita in rosso).....	3
Figura 2-2 – (a) Copertura della zona di interesse del rilievo della Regione Emilia-Romagna effettuato dal Ministero dell’Ambiente nel 2008; (b) dettaglio delle aree prive di copertura.	7
Figura 2-3 – Indicazione dei tratti di argine del fiume Secchia interessati dal progetto di rialzo (in magenta). Gli argini del tratto più vallivo, escluso dall’immagine, non prevedono da progetto alcun rialzo.	8
Figura 2-4 – Correzioni alla batimetria nel tratto a monte della sezione di Ponte Alto.....	9
Figura 2-5 – Un tratto del DTM del fiume Panaro (a) originale e (b) dopo la procedura per ripristinare le quote del fondo nell’alveo di magra.....	9
Figura 2-6 - Confronto tra i rilievi del fiume Panaro disponibili per alcune sezioni.	9
Figura 2-7 – Indicazione dei tratti di argine del fiume Panaro interessati dal progetto di rialzo (in magenta). Gli argini del tratto più vallivo, escluso dall’immagine, non prevedono da progetto alcun rialzo.	10
Figura 2-8 – Dettaglio del fiume Panaro a Navicello: si evidenzia la discontinuità nell’arginatura sinistra per l’accesso ad abitazioni poste in alveo.	10
Figura 2-9 – DTM della zona oggetto di studio.	11
Figura 2-10 – Dettaglio del DTM nella zona urbana di Modena.....	11
Figura 3-1 – Idrogrammi di portata in ingresso alla cassa d’espansione di Rubiera.	13
Figura 3-2 – Idrogrammi di portata in uscita dalla cassa d’espansione di Rubiera. Le onde di piena con tempo di ritorno pari a 20 e 50 anni sono state utilizzate come condizioni al contorno di monte per le simulazioni successive sul fiume Secchia.	13
Figura 3-3 – Idrogrammi di portata in uscita dalla cassa d’espansione di Sant’Anna forniti dallo studio dell’UNIMORE.	14
Figura 3-4 – Idrogrammi sintetici con prefissato tempo di ritorno per il fiume Panaro. Le onde di piena con tempo di ritorno pari a 20 e 100 anni sono state imposte come condizioni al contorno di monte in uscita dalla cassa d’espansione di Sant’Anna nelle simulazioni successive sul fiume Panaro.	16
Figura 5-1 – (a) Dettaglio della batimetria in corrispondenza di due elementi in cui è necessario imporre la massima risoluzione (alveo Secchia e rilevato stradale); (b) mesh multi-risoluzione corrispondente.	19
Figura 5-2 – Mappa della risoluzione spaziale adottata nel dominio per le simulazioni delle brecce vallive sul fiume Panaro.	19
Figura 5-3 – Mappa della risoluzione spaziale adottata nel dominio per le simulazioni delle brecce sui fiumi Secchia e Panaro che interessano la città di Modena (la griglia nella zona sud della città non è infittita perché tale zona non risulta interessata dagli allagamenti).	20
Figura 5-4 – Mappa dei coefficienti di scabrezza secondo Strickler adottati nelle simulazioni.	22
Figura 5-5 – Evento del 23-29 dicembre 2009 sul fiume Secchia: (a) condizione al contorno di monte; (b) condizione al contorno di valle; (c) confronto tra livelli registrati e simulati agli idrometri di Ponte Bacchello e Pioppa.	23
Figura 5-6 - Evento del 29 gennaio-5 febbraio 2014 sul fiume Panaro: (a) condizioni al contorno di monte; (b) condizione al contorno di valle; (c) confronto tra livelli registrati e simulati agli idrometri di Navicello, Bomporto e Camposanto.....	24
Figura 5-7 – Scale di deflusso assunte come condizione al contorno di valle per le simulazioni delle brecce di monte: (a) sul fiume Secchia, nella sezione di Ponte Motta; (b) sul fiume Panaro, nella sezione di Camposanto.	26
Figura 5-8 – Posizione delle 8 brecce ipotizzate in destra Secchia.	27
Figura 5-9 - Posizione delle 12 brecce ipotizzate in sinistra Panaro.	28

Figura 6-1 – Involuppi delle massime quote idriche per le simulazioni delle onde con TR 20 (a) e TR 50 (b) sul fiume Secchia, in assenza di breccie. Nell’immagine è indicata anche la posizione delle breccie –6-1bis e di alcune sezioni significative.	30
Figura 6-2– Involuppi delle massime quote idriche per le simulazioni delle onde con TR 20 (a) e TR 100 (b) sul fiume Panaro, in assenza di breccie. Nell’immagine è indicata anche la posizione delle breccie –3-0 e 15-22 e di alcune sezioni significative.	32
Figura 6-3 – Mappa della massima profondità idrica (in m) per il caso “Breccia –2 TR 50 Secchia”.....	34
Figura 6-4 – Mappa della massima quota idrica (in m s.l.m.) per il caso “Breccia –2 TR 50 Secchia”.....	35
Figura 6-5 – Mappa della massima velocità idrica (in m/s) per il caso “Breccia –2 TR 50 Secchia”.	35
Figura 6-6 – Mappa della massima profondità totale (in m) per il caso “Breccia –2 TR 50 Secchia”.	36
Figura 6-7 –Mappa dei tempi di arrivo dell’allagamento (in ore) per il caso “Breccia –2 TR 50 Secchia”.	36
Figura 6-8 – Mappa della massima quota idrica (in m s.l.m.) per il caso “Breccia –5 TR 50 Secchia”.....	37
Figura 6-9 – Dettaglio della mappa della massima profondità idrica (in m) per il caso “Breccia 1(bis) TR 50 Secchia”.	38
Figura 6-10 – Mappa della massima profondità idrica (in m) per i casi: (a) “Breccia –2 TR 20 Panaro” e (b) “Breccia 0 TR 100 Panaro”.....	40
Figura 6-11 – Mappa della massima profondità idrica (in m) per il caso “Breccia 15 TR 20 Panaro”.	41
Figura 6-12 – Mappa della massima profondità idrica (in m) per i casi: (a) “Breccia 18 TR 100 Panaro” e (b) “Breccia 21 TR 100 Panaro”.....	41
Figura 6-13 – Mappa della massima profondità idrica (in m) per il caso “Breccia 22 TR 100 Panaro”.....	42
Figura 6-14 – Piano v-h con campi di pericolosità idraulica.	43

9. INDICE DELLE TABELLE

Tabella 3-1 – Confronto tra le portate al colmo e i volumi delle piene considerate e quelle riportate nello studio UNIMORE.	16
Tabella 5-1 – Descrizione della posizione delle breccie ipotizzate in destra Secchia, con indicazione dello stante più vicino.	27
Tabella 5-2 – Descrizione della posizione delle breccie ipotizzate in sinistra Panaro, con indicazione dello stante più vicino.	28
Tabella 6-1 – Istante di apertura della breccia sul fiume Secchia e corrispondente franco arginale destro. I valori contrassegnati da asterisco indicano che l’innescò della breccia avviene in corrispondenza del sormonto.	31
Tabella 6-2 – Istante di apertura della breccia sul fiume Panaro e corrispondente franco arginale sinistro.	33
Tabella 6-3 – Area allagate e volumi esondati per le simulazioni effettuate sul fiume Secchia.	39
Tabella 6-4 – Area allagate e volumi esondati per le simulazioni effettuate sul fiume Panaro.	42

10. ELENCO DELLE TAVOLE PRESENTI NELL'ALLEGATO

- Tav. 1** - Breccia -6 TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 2 - Breccia -6 TR 20 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 3 - Breccia -6 TR 20 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 4 - Breccia -6 TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 5 - Breccia -6 TR 20 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 6 - Breccia -6 TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 7 - Breccia -6 TR 50 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 8 - Breccia -6 TR 50 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 9 - Breccia -6 TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 10 - Breccia -6 TR 50 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 11 - Breccia -5 TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 12 - Breccia -5 TR 20 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 13 - Breccia -5 TR 20 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 14 - Breccia -5 TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 15 - Breccia -5 TR 20 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 16 - Breccia -5 TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 17 - Breccia -5 TR 50 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 18 - Breccia -5 TR 50 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 19 - Breccia -5 TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 20 - Breccia -5 TR 50 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 21 - Breccia -4 TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 22 - Breccia -4 TR 20 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 23 - Breccia -4 TR 20 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 24 - Breccia -4 TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 25 - Breccia -4 TR 20 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 26 - Breccia -4 TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 27 - Breccia -4 TR 50 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 28 - Breccia -4 TR 50 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 29 - Breccia -4 TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 30 - Breccia -4 TR 50 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 31 - Breccia -3 TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 32 - Breccia -3 TR 20 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 33 - Breccia -3 TR 20 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 34 - Breccia -3 TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 35 - Breccia -3 TR 20 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 36 - Breccia -3 TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 37 - Breccia -3 TR 50 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 38 - Breccia -3 TR 50 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 39 - Breccia -3 TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 40 - Breccia -3 TR 50 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 41 - Breccia -2 TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 42 - Breccia -2 TR 20 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 43 - Breccia -2 TR 20 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 44 - Breccia -2 TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 45 - Breccia -2 TR 20 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 46 - Breccia -2 TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 47 - Breccia -2 TR 50 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 48 - Breccia -2 TR 50 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)

- Tav. 49** - Breccia -2 TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 50 - Breccia -2 TR 50 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 51 - Breccia -1 TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 52 - Breccia -1 TR 20 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 53 - Breccia -1 TR 20 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 54 - Breccia -1 TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 55 - Breccia -1 TR 20 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 56 - Breccia -1 TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 57 - Breccia -1 TR 50 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 58 - Breccia -1 TR 50 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 59 - Breccia -1 TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 60 - Breccia -1 TR 50 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 61 - Breccia 0 TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 62 - Breccia 0 TR 20 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 63 - Breccia 0 TR 20 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 64 - Breccia 0 TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 65 - Breccia 0 TR 20 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 66 - Breccia 0 TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 67 - Breccia 0 TR 50 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 68 - Breccia 0 TR 50 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 69 - Breccia 0 TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 70 - Breccia 0 TR 50 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 71 - Breccia 1bis TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 72 - Breccia 1bis TR 20 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 73 - Breccia 1bis TR 20 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 74 - Breccia 1bis TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 75 - Breccia 1bis TR 20 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 76 - Breccia 1bis TR 20 Secchia: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 77 - Breccia 1bis TR 50 Secchia: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 78 - Breccia 1bis TR 50 Secchia: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 79 - Breccia 1bis TR 50 Secchia: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 80 - Breccia 1bis TR 50 Secchia: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 81 - Breccia -3 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 82 - Breccia -3 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 83 - Breccia -3 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 84 - Breccia -3 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 85 - Breccia -3 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 86 - Breccia -2 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 87 - Breccia -2 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 88 - Breccia -2 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 89 - Breccia -2 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 90 - Breccia -2 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 91 - Breccia -1 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 92 - Breccia -1 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 93 - Breccia -1 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 94 - Breccia -1 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 95 - Breccia -1 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
Tav. 96 - Breccia 0 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
Tav. 97 - Breccia 0 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
Tav. 98 - Breccia 0 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
Tav. 99 - Breccia 0 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa delle massime profondità totali (in m)
Tav. 100 - Breccia 0 TR 20 e TR 100 Panaro: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)

- Tav. 153** - Breccia 20 TR 20 Panaro: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
- Tav. 154** - Breccia 20 TR 20 Panaro: Mappa delle massime profondità totali (in m)
- Tav. 155** - Breccia 20 TR 20 Panaro: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
- Tav. 156** - Breccia 20 TR 100 Panaro: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
- Tav. 157** - Breccia 20 TR 100 Panaro: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
- Tav. 158** - Breccia 20 TR 100 Panaro: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
- Tav. 159** - Breccia 20 TR 100 Panaro: Mappa delle massime profondità totali (in m)
- Tav. 160** - Breccia 20 TR 100 Panaro: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
- Tav. 161** - Breccia 21 TR 20 Panaro: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
- Tav. 162** - Breccia 21 TR 20 Panaro: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
- Tav. 163** - Breccia 21 TR 20 Panaro: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
- Tav. 164** - Breccia 21 TR 20 Panaro: Mappa delle massime profondità totali (in m)
- Tav. 165** - Breccia 21 TR 20 Panaro: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
- Tav. 166** - Breccia 21 TR 100 Panaro: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
- Tav. 167** - Breccia 21 TR 100 Panaro: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
- Tav. 168** - Breccia 21 TR 100 Panaro: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
- Tav. 169** - Breccia 21 TR 100 Panaro: Mappa delle massime profondità totali (in m)
- Tav. 170** - Breccia 21 TR 100 Panaro: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
- Tav. 171** - Breccia 22 TR 20 Panaro: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
- Tav. 172** - Breccia 22 TR 20 Panaro: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
- Tav. 173** - Breccia 22 TR 20 Panaro: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
- Tav. 174** - Breccia 22 TR 20 Panaro: Mappa delle massime profondità totali (in m)
- Tav. 175** - Breccia 22 TR 20 Panaro: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)
- Tav. 176** - Breccia 22 TR 100 Panaro: Mappa delle massime profondità idriche (in m)
- Tav. 177** - Breccia 22 TR 100 Panaro: Mappa delle massime quote idriche (in m s.l.m.)
- Tav. 178** - Breccia 22 TR 100 Panaro: Mappa delle massime velocità idriche in modulo (in m/s)
- Tav. 179** - Breccia 22 TR 100 Panaro: Mappa delle massime profondità totali (in m)
- Tav. 180** - Breccia 22 TR 100 Panaro: Mappa dei tempi di arrivo dell'allagamento (in ore)

11. ELENCO DEI PRODOTTI DIGITALI ALLEGATI

1) RELAZIONE:

- Relazione_RESILIENCE_POA2017.pdf
- Allegato_relazione_RESILIENCE_POA2017.pdf

2) SHAPEFILE POSIZIONE BRECCE:

Shapefile che identifica il punto di innesco delle varie brecce simulate per i fiumi Secchia e Panaro.

- Posizione_Brecce_Panaro_SX_-3-0_15-22.shp (+ .shx, .dbf, .prj)
- Posizione_Brecce_Secchia_DX_-6-1bis.shp (+ .shx, .dbf, .prj)

3) IMMAGINI DELLE MAPPE IN FORMATO TIFF (PANARO):

Immagini in formato TIFF delle mappe degli involuppi contenute nell'Allegato cartaceo (Panaro).

Panaro_Breccia-3_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-3_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-3_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-3_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-3_TR20_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-3_TR20_Panaro.tif

Panaro_Breccia-3_TR100

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-3_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-3_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-3_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-3_TR100_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-3_TR100_Panaro.tif

Panaro_Breccia-2_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-2_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-2_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-2_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-2_TR20_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-2_TR20_Panaro.tif

Panaro_Breccia-2_TR100

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-2_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-2_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-2_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-2_TR100_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-2_TR100_Panaro.tif

Panaro_Breccia-1_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-1_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-1_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-1_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-1_TR20_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-1_TR20_Panaro.tif

Panaro_Breccia-1_TR100

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-1_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-1_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-1_TR100_Panaro.tif

- Mappa_MAXWSE_Breccia-1_TR100_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-1_TR100_Panaro.tif
- Panaro_Breccia0_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia0_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia0_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia0_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia0_TR20_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia0_TR20_Panaro.tif
- Panaro_Breccia0_TR100**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia0_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia0_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia0_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia0_TR100_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia0_TR100_Panaro.tif
- Panaro_Breccia1_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia15_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia15_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia15_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia15_TR20_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia15_TR20_Panaro.tif
- Panaro_Breccia15_TR100**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia15_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia15_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia15_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia15_TR100_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia15_TR100_Panaro.tif
- Panaro_Breccia16_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia16_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia16_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia16_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia16_TR20_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia16_TR20_Panaro.tif
- Panaro_Breccia16_TR100**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia16_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia16_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia16_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia16_TR100_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia16_TR100_Panaro.tif
- Panaro_Breccia17_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia17_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia17_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia17_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia17_TR20_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia17_TR20_Panaro.tif
- Panaro_Breccia17_TR100**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia17_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia17_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia17_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia17_TR100_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia17_TR100_Panaro.tif
- Panaro_Breccia18_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia18_TR20_Panaro.tif

- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia18_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia18_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia18_TR20_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia18_TR20_Panaro.tif
- Panaro_Breccia18_TR100**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia18_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia18_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia18_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia18_TR100_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia18_TR100_Panaro.tif
- Panaro_Breccia19_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia19_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia19_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia19_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia19_TR20_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia19_TR20_Panaro.tif
- Panaro_Breccia19_TR100**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia19_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia19_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia19_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia19_TR100_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia19_TR100_Panaro.tif
- Panaro_Breccia20_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia20_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia20_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia20_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia20_TR20_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia20_TR20_Panaro.tif
- Panaro_Breccia20_TR100**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia20_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia20_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia20_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia20_TR100_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia20_TR100_Panaro.tif
- Panaro_Breccia21_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia21_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia21_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia21_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia21_TR20_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia21_TR20_Panaro.tif
- Panaro_Breccia21_TR100**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia21_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia21_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia21_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia21_TR100_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia21_TR100_Panaro.tif
- Panaro_Breccia22_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia22_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia22_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia22_TR20_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia22_TR20_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia22_TR20_Panaro.tif

Panaro_Breccia22_TR100

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia22_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia22_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia22_TR100_Panaro.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia22_TR100_Panaro.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia22_TR100_Panaro.tif

4) IMMAGINI DELLE MAPPE IN FORMATO TIFF (SECCHIA):

Immagini in formato TIFF delle mappe degli involucri contenute nell'Allegato cartaceo (Secchia).

Secchia_Breccia-6_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-6_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-6_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-6_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-6_TR20_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-6_TR20_Secchia.tif

Secchia_Breccia-6_TR50

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-6_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-6_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-6_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-6_TR50_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-6_TR50_Secchia.tif

Secchia_Breccia-5_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-5_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-5_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-5_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-5_TR20_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-5_TR20_Secchia.tif

Secchia_Breccia-5_TR50

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-5_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-5_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-5_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-5_TR50_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-5_TR50_Secchia.tif

Secchia_Breccia-4_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-4_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-4_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-4_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-4_TR20_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-4_TR20_Secchia.tif

Secchia_Breccia-4_TR50

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-4_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-4_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-4_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-4_TR50_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-4_TR50_Secchia.tif

Secchia_Breccia-3_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-3_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-3_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-3_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-3_TR20_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-3_TR20_Secchia.tif

Secchia_Breccia-3_TR50

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-3_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-3_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-3_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-3_TR50_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-3_TR50_Secchia.tif

Secchia_Breccia-2_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-2_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-2_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-2_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-2_TR20_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-2_TR20_Secchia.tif

Secchia_Breccia-2_TR50

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-2_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-2_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-2_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-2_TR50_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-2_TR50_Secchia.tif

Secchia_Breccia-1_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-1_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-1_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-1_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-1_TR20_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-1_TR20_Secchia.tif

Secchia_Breccia-1_TR50

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-1_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-1_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia-1_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia-1_TR50_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-1_TR50_Secchia.tif

Secchia_Breccia0_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia0_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia0_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia0_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia0_TR20_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia0_TR20_Secchia.tif

Secchia_Breccia0_TR50

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia0_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia0_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia0_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia0_TR50_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia0_TR50_Secchia.tif

Secchia_Breccia1bis_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia1bis_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia1bis_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia1bis_TR20_Secchia.tif
- Mappa_MAXWSE_Breccia1bis_TR20_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia1bis_TR20_Secchia.tif

Secchia_Breccia1bis_TR50

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia1bis_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia1bis_TR50_Secchia.tif
- Mappa_MAXVEL_Breccia1bis_TR50_Secchia.tif

- Mappa_MAXWSE_Breccia1bis_TR50_Secchia.tif
- Mappa_TEMPOARR_Breccia1bis_TR50_Secchia.tif

5) FILMATI PANARO:

Filmati in formato MP4 dell'evoluzione degli allagamenti (mappe della profondità idrica restituita con scansione semioraria) per il fiume Panaro.

- Filmato_Breccia-3_TR20_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia-3_TR100_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia-2_TR20_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia-2_TR100_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia-1_TR20_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia-1_TR100_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia0_TR20_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia0_TR100_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia15_TR20_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia15_TR100_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia16_TR20_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia16_TR100_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia17_TR20_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia17_TR100_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia18_TR20_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia18_TR100_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia19_TR20_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia19_TR100_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia20_TR20_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia20_TR100_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia21_TR20_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia21_TR100_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia22_TR20_Panaro.mp4
- Filmato_Breccia22_TR100_Panaro.mp4

6) FILMATI SECCHIA:

Filmati in formato MP4 dell'evoluzione degli allagamenti (mappe della profondità idrica restituita con scansione semioraria) per il fiume Secchia.

Secchia_Breccie_-6-1bis

- Filmato_Breccia-6_TR20_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia-6_TR50_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia-5_TR20_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia-5_TR50_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia-4_TR20_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia-4_TR50_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia-3_TR20_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia-3_TR50_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia-2_TR20_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia-2_TR50_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia-1_TR20_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia-1_TR50_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia0_TR20_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia0_TR50_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia1bis_TR20_Secchia.mp4
- Filmato_Breccia1bis_TR50_Secchia.mp4

7) MAPPE RASTER IN FORMATO GEOTIFF (PANARO):

Mappe digitali in formato GeoTiff delle mappe degli inviluppi contenute nell'Allegato, georeferenziate nel sistema di riferimento UTM32_ETRS89, per il fiume Panaro.

Panaro_Breccia-3_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-3_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-3_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-3_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-3_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-3_TR20_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia-3_TR100

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-3_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-3_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-3_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-3_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-3_TR100_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia-2_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-2_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-2_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-2_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-2_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-2_TR20_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia-2_TR100

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-2_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-2_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-2_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-2_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-2_TR100_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia-1_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-1_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-1_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-1_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-1_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-1_TR20_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia-1_TR100

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-1_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-1_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-1_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-1_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-1_TR100_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia0_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia0_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia0_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia0_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia0_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia0_TR20_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia0_TR100

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia0_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia0_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia0_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia0_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia0_TR100_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia15_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia15_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia15_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia15_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia15_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia15_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Panaro_Breccia15_TR100**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia15_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia15_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia15_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia15_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia15_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Panaro_Breccia16_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia16_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia16_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia16_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia16_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia16_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Panaro_Breccia16_TR100**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia16_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia16_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia16_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia16_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia16_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Panaro_Breccia17_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia17_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia17_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia17_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia17_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia17_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Panaro_Breccia17_TR100**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia17_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia17_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia17_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia17_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia17_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Panaro_Breccia18_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia18_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia18_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia18_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia18_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia18_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Panaro_Breccia18_TR100**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia18_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia18_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia18_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia18_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia18_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Panaro_Breccia19_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia19_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia19_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia19_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia19_TR20_Panaro.tif (+ .prj)

- Mappa_TEMPOARR_Breccia19_TR20_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia19_TR100

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia19_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia19_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia19_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia19_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia19_TR100_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia20_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia20_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia20_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia20_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia20_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia20_TR20_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia20_TR100

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia20_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia20_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia20_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia20_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia20_TR100_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia21_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia21_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia21_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia21_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia21_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia21_TR20_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia21_TR100

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia21_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia21_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia21_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia21_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia21_TR100_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia22_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia22_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia22_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia22_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia22_TR20_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia22_TR20_Panaro.tif (+ .prj)

Panaro_Breccia22_TR100

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia22_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia22_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia22_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia22_TR100_Panaro.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia22_TR100_Panaro.tif (+ .prj)

8) MAPPE RASTER IN FORMATO GEOTIFF (SECCHIA):

Mappe digitali in formato GeoTiff delle mappe degli involuipi contenute nell'Allegato, georeferenziate nel sistema di riferimento UTM32_ETRS89, per il fiume Secchia.

Secchia_Breccia-6_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-6_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-6_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-6_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-6_TR20_Secchia.tif (+ .prj)

- Mappa_TEMPOARR_Breccia-6_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Secchia_Breccia-6_TR50**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-6_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-6_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-6_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-6_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-6_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Secchia_Breccia-5_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-5_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-5_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-5_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-5_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-5_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Secchia_Breccia-5_TR50**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-5_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-5_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-5_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-5_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-5_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Secchia_Breccia-4_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-4_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-4_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-4_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-4_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-4_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Secchia_Breccia-4_TR50**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-4_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-4_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-4_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-4_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-4_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Secchia_Breccia-3_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-3_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-3_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-3_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-3_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-3_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Secchia_Breccia-3_TR50**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-3_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-3_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-3_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-3_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-3_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Secchia_Breccia-2_TR20**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-2_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-2_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-2_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-2_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-2_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Secchia_Breccia-2_TR50**
- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-2_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-2_TR50_Secchia.tif (+ .prj)

- Mappa_MAXVEL_Breccia-2_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-2_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-2_TR50_Secchia.tif (+ .prj)

Secchia_Breccia-1_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-1_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-1_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-1_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-1_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-1_TR20_Secchia.tif (+ .prj)

Secchia_Breccia-1_TR50

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia-1_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia-1_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia-1_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia-1_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia-1_TR50_Secchia.tif (+ .prj)

Secchia_Breccia0_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia0_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia0_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia0_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia0_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia0_TR20_Secchia.tif (+ .prj)

Secchia_Breccia0_TR50

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia0_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia0_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia0_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia0_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia0_TR50_Secchia.tif (+ .prj)

Secchia_Breccia1bis_TR20

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia1bis_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia1bis_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia1bis_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia1bis_TR20_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia1bis_TR20_Secchia.tif (+ .prj)

Secchia_Breccia1bis_TR50

- Mappa_MAXDEPTH_Breccia1bis_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXPROFTOT_Breccia1bis_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXVEL_Breccia1bis_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_MAXWSE_Breccia1bis_TR50_Secchia.tif (+ .prj)
- Mappa_TEMPOARR_Breccia1bis_TR50_Secchia.tif (+ .prj)

12.BIBLIOGRAFIA

- [1] Autorità di Bacino del fiume Po, «Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Secchia nel tratto da Lugo alla confluenza in Po,» 2007.
- [2] AIPo, «Fiume Secchia – PROGETTO PRELIMINARE: Adeguamento strutturale e funzionale del sistema arginale difensivo tramite interventi di adeguamento in quota ed in sagoma a valle della cassa fino al confine regionale per garantire il franco di 1 metro ...» 2016.
- [3] B. Schubert J.E. & Sanders, «Building treatments for urban flood inundation models and implications for predictive skill and modeling efficiency,» *Advances in Water Resources*, vol. 41, pp. 49-64, 2012.
- [4] Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, «Relazione tecnica sulla verifica funzionale delle arginature del fiume Panaro,» 2016.
- [5] ETATEC et al., «Adeguamento strutturale e funzionale del sistema arginale tramite interventi di sistemazione morfologica dell'alveo, adeguamento in quota e in sagoma a valle della cassa al confine provinciale ... (MO-E-1346),» 2017.
- [6] U. Maione, P. Mignosa e M. Tomirotti, «Idrogrammi sintetici per la progettazione di opere di difesa idraulica del territorio,» in *Atti del XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Genova, 2000.
- [7] R. Vacondio, A. Dal Palù, A. Ferrari, P. Mignosa, F. Aureli e S. Dazzi, «A non-uniform efficient grid type for GPU-parallel Shallow Water Equations models,» *Environmental Modelling & Software*, vol. in press, 2016.
- [8] R. Vacondio, A. Dal Palù e P. Mignosa, «GPU-enhanced finite volume shallow water solver for fast flood simulations,» *Environmental Modelling & Software*, vol. 57, pp. 60-75, 2014.
- [9] R. Vacondio, F. Aureli, A. Ferrari, P. Mignosa e A. Dal Palù, «Simulation of the January 2014 flood on the Secchia River using a fast and high-resolution 2D parallel shallow-water numerical scheme,» *Natural Hazards*, vol. 80, n. 1, pp. 103-125, 2016.