

Comune di Soliera



Provincia di Modena

**DEFINIZIONE DEL LIVELLO DI PERICOLOSITA' E VULNERABILITA'
IDRAULICA DEL TERRITORIO IN RAPPORTO AL SISTEMA INSEDIATIVO
ESISTENTE E DI PROGETTO IN COMUNE DI SOLIERA (MO).**

**Analisi modellistica degli effetti sul territorio comunale, con particolare
riferimento al Capoluogo, dello scioglimento dell'argine maestro di
contenimento posto in sinistra idrografica del fiume Secchia**

-E1-

Relazione tecnico-illustrativa



**Ing. Andrea Artusi
Ing. Yos Zorzi**

Modena, Luglio 2011

INDICE:

1. PREMESSA	2
1.1. CRITICITA' IDRAULICA E QUADRO NORMATIVO	2
1.2. VALUTAZIONE DELLE CRITICITÀ	3
1.3. LIMITI E CONDIZIONI ALLA TRASFORMAZIONE	4
2. IL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO E LE PORTATE DI RIFERIMENTO.....	5
2.1. MODELLO DIGITALE DEL TERRENO	5
2.2. PORTATE DI RIFERIMENTO.....	7
3. IL MODELLO DI SIMULAZIONE NUMERICA.....	8
3.1. GENERALITA'	8
3.2. TRATTO ESAMINATO	8
3.3. MODELLO IDRAULICO UTILIZZATO	10
3.4. CONDIZIONI AL CONTORNO (PORTATA DI PIENA E QUOTA DI PARTENZA)	10
3.5. CARATTERIZZAZIONE DELLA FENOMENOLOGIA DI CROLLO DELLE ARGINATURE.....	13
3.6. DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELL'ESONDAZIONE SUL PIANO CAMPAGNA (MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE).....	17
4. - RISULTATI	20
4.1. PORZIONE TERRITORIO SOLIERA	21
4.2. PORZIONE TERRITORIO LIMIDI.....	26
5. CONCLUSIONI	29
ALLEGATO – REPORT DOCUMENTALE E FOTOGRAFICO DI ALLUVIONI STORICHE IN COMUNE DI SOLIERA	30
ALLUVIONE 14 NOVEMBRE 1862	30
ALLUVIONE 4 NOVEMBRE 1966	31

1. PREMESSA

Le elaborazioni eseguite nel presente studio si inquadrano nell'esigenza di fornire un quadro valutativo approfondito circa il rischio e la criticità idraulica del territorio comunale di Soliera in fregio al Fiume Secchia. Le valutazioni effettuate integrano e completano lo studio già condotto dagli scriventi nell'anno 2009, relativo alla porzione Nord-Est del territorio comunale, con particolare riferimento alla frazione di Sozzigalli, adottando stessi strumenti e metodologia.

L'analisi pone l'accento sulle conseguenze subite dal capoluogo comunale, ma allo stesso tempo descrive la propagazione dell'onda di tracimazione attraverso la porzione di territorio compresa fra il Secchia e lo stesso capoluogo, descrivendo l'eventuale interessamento della frazione di Limidi.

1.1. CRITICITA' IDRAULICA e QUADRO NORMATIVO

Art. 11- PTCP 2009 Direttive ed indirizzi di sostenibilità degli insediamenti rispetto alla criticità idraulica del territorio

Con l'Art. 11 (ex art. 43) il P.T.C.P.-2009 (Del. Cons. Provinciale n. 46 del 18/3/2009 entrata in vigore dal 8/4/2009) definisce le direttive e gli indirizzi da applicare in particolari ambiti, ottenuti dalla suddivisione del territorio di pianura in aree a differente pericolosità e/o criticità idraulica.

Relativamente al territorio circostante la frazione di Sozzigalli (Soliera), sono stati individuati i seguenti ambiti:

AREE A1) aree ad elevata pericolosità idraulica rispetto alla piena cinquantennale corrispondente alle fasce di rispetto individuate in relazione alle diverse altezze arginali.

Classe di altezza arginale	Fascia di rispetto
$h \leq 5 \text{ m}$	$\Delta = 150 \text{ m.}$
$5 \text{ m} < h \leq 10 \text{ m}$	$\Delta = 250 \text{ m.}$
$h > 10 \text{ m.}$	$\Delta = 320 \text{ m.}$

In tale area un'onda di piena disalveata compromette gravemente il sistema insediativo, produttivo e infrastrutturale, provocando danni ingenti al patrimonio insediativo ed infrastrutturale;

AREE A3) aree depresse ad elevata criticità idraulica situate in comparti morfologici allagabili ed aree caratterizzate da scorrimento rapido e buona capacità di smaltimento ad elevata criticità idraulica poiché situate in comparti allagabili.

Per l'ambito A1, il P.T.C.P., in sede di adeguamento dei rispettivi strumenti urbanistici, demanda alla pianificazione comunale:

- la verifica del livello di pericolosità e vulnerabilità idraulica in rapporto al sistema insediativo presente e di progetto;
- la definizione, in relazione al livello di pericolosità e vulnerabilità individuati, degli utilizzi ammissibili e delle limitazioni relative agli interventi edilizi ed urbanistici con particolare riferimento alle zone di nuova urbanizzazione;
- la definizione con elaborati adeguati delle misure di controllo in atto o da adottare al fine di rendere compatibili gli interventi di trasformazione del suolo e delle destinazioni d'uso previste;
- l'indicazione, attraverso i regolamenti edilizi, dell'utilizzo di adeguati suggerimenti edificatori atti a diminuire la pericolosità per le persone residenti negli edifici di tali aree quali: la presenza di scale interne di collegamento tra i diversi piani dell'edificio, la limitazione di vani interrati quali garage o taverne ecc.

Per l'ambito A3, con particolare riferimento alle aree interessate da rilevanti nuovi insediamenti produttivi, il P.T.C.P. demanda alla pianificazione comunale:

- l'individuazione degli interventi tecnici da adottare sia per ridurre l'effetto della impermeabilizzazione delle superfici nei confronti dell'incremento dei tempi di corrivazione dei deflussi idrici superficiali sia per mantenere una ottimale capacità di smaltimento del reticolo di scolo legato al sistema della rete dei canali di bonifica. Dovrà essere previsto il drenaggio totale delle acque meteoriche con il sistema duale, cioè un sistema minore, costituito dai collettori fognari destinati allo smaltimento delle acque nere e di parte di quelle bianche, e un sistema maggiore, costituito dalle vie di acque superficiali (anche vasche volano, taratura delle bocche delle caditoie, estensione delle aree verdi) che si formano in occasione di precipitazioni più intense di quelle compatibili con la rete fognaria.

Per gli ambiti A1, A3, il P.T.C.P. stabilisce inoltre che gli strumenti di pianificazione comunale si dotino di uno studio idrologico-idraulico che definisca gli ambiti soggetti ad inondazioni per tempi di ritorno prefissati e che permetta di verificare il grado di pericolosità e di criticità individuato dal P.T.C.P. stesso, esaminando un tratto di corso d'acqua significativo che abbia riferimento con l'area di intervento. Lo studio dovrà inoltre verificare gli eventuali fenomeni di ristagno per le diverse aree di intervento. Nelle aree soggette ad inondazione per piene con tempi di ritorno prefissati e soggette a fenomeni di ristagno, dovranno essere inoltre individuati gli interventi necessari a riportare ad un livello accettabile il rischio di inondazione e il rischio di ristagno. Essi dovranno essere compatibili con la situazione idraulica dell'ambito territorialmente adiacente alle zone di intervento.

In risposta a queste prescrizioni, per quanto concerne il reticolo principale, è stato redatto il presente studio idraulico del Fiume Secchia contenente l'applicazione di un modello numerico in moto vario con simulazione di sifonamento e liquefazione di una tratta arginale significativa. La portata al colmo di piena considerata presenta un tempo di ritorno 200-ennale (come prescritto dall'Autorità di Bacino).

Negli ambiti A1, e A3 i Comuni dovranno inoltre attivare una puntuale pianificazione dell'emergenza, finalizzata alla limitazione del rischio per la popolazione residente.

1.2. VALUTAZIONE DELLE CRITICITÀ

L'individuazione e la determinazione di fattori di criticità legati al rischio idraulico, permette di delimitare aree in cui l'elevata probabilità di esondazione e/o l'elevata vulnerabilità presente, comporta l'attivazione di impianti normativi, di processi pianificatori urbanistici, di difesa del suolo e di protezione civile atti ad assicurare un livello di sicurezza adeguato rispetto ai fenomeni alluvionali.

Si ritiene che, nell'area in esame, il fiume Secchia assume importanza in quanto fonte di rischio potenziale, in relazione ad eventuali fenomeni di alluvionamento per cedimento o tracimazione delle arginature e conseguente eventuale allagamento dei territori circostanti; sebbene allo stato attuale tale eventualità appare abbastanza remota, soprattutto in rapporto ai lavori di regimazione del corso d'acqua, sono stati tuttavia segnalati, in seguito ad eventi meteorici di una certa intensità ed a conseguenti e proporzionali eventi di piena del fiume, alcuni episodi di particolare criticità, relativi a tratti di arginatura, con presenza di franchi ridotti e acqua al piede del paramento esterno, da imputarsi con tutta probabilità ad una cattiva tenuta idraulica dell'argine stesso, fenomeni conosciuti col nome di "fontanazzi".

Questa circostanza è da temere particolarmente perché, laddove si verifica può, a lungo andare, destabilizzare l'arginatura, fluidificandone il piede esterno, causando crolli improvvisi e, ciò che è peggio, esondazioni verso la campagna circostante.

Per altro, questi elementi di criticità sono stati evidenziati in varie tratte arginali lungo il Secchia..

1.3. LIMITI E CONDIZIONI ALLA TRASFORMAZIONE

Per l'ambito fluviale s.s., ovvero per i luoghi del territorio in cui possono avere sede processi di diretta pertinenza del F. Secchia, la pianificazione e la normativa sovraordinata impongono numerose tutele e limitazioni alla trasformazione.

In questa sede si prende ovviamente atto di quanto prescritto/previsto da tali strumenti, ponendo particolare attenzione alla possibilità offerta per interventi di riqualificazione di tipo essenzialmente paesaggistico.

Per quanto riguarda tuttavia la criticità idraulica del territorio comunale, così come definita dal P.T.C.P., si ritiene si debbano fare alcune considerazioni correttive.

Il modello applicato per definire le fasce all'interno delle quali un'eventuale esondazione conseguente ad una rotta arginale del fiume provoca danni strutturali agli edifici esistenti non considera la presenza di elementi morfologici territoriali che possono attenuarne la forza.

A questo proposito si rileva che nell'ambito territoriale compreso fra la sponda sinistra del fiume Secchia ed il centro abitato di Soliera esistono per tratti consistenti, ad una certa distanza dal piede dell'argine rilevati stradali e/o ferroviari la cui altezza è stata mediamente stimata pari a 0.50 metri rispetto al piano campagna. Poiché tali elementi costituiscono ostacolo alla propagazione dell'onda o quanto meno ne condizionano l'evoluzione, si è posta estrema cura nella loro definizione. La loro presenza è stata dunque considerata basandosi pedissequamente sulle quote disponibili da cartografia CTR rilevate direttamente sul corpo stradale.

Poiché il processo di costruzione del modello digitale del terreno si appoggia ad elementi puntuali e poiché la distanza fra i punti disponibili sui rilevati stradali e quelli nei campi circostanti è spesso ragguardevole, l'elemento di discontinuità lineare (rilevato) viene ad essere mal rappresentato o escluso durante la genesi del DTM.

Si è quindi scelto di connotare forzatamente la presenza di corpi rilevati (vedi figura 14), ma solo ai fini di meglio descrivere un ostacolo di tipo lineare, senza alterarne i valori di quota in sommità.

Per quanto riguarda gli edifici, con la sola eccezione di quelli posti in prossimità della breccia arginale (figura 4) la cui presenza può condizionare la propagazione iniziale dell'onda, si è scelto di non considerarli nella rappresentazione modellistica. Ciò, sia per l'impossibilità di una compiuta descrizione dei volumi e degli ingombri, soprattutto nei contesti urbani, sia per l'estremo aggravio dal punto di vista computazionale, senza di fatto alcuna garanzia di produrre una rappresentazione fisicamente attendibile dell'interazione acqua-edifici.

2. IL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO E LE PORTATE DI RIFERIMENTO

2.1. MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

Il modello digitale del terreno nella zona di interesse, costituita da buona parte del territorio comunale, è stato ottenuto operando successivi "merge" di informazioni plano-altimetriche provenienti da fonti differenti:

- Planimetrie vettoriali fornite dall'Amministrazione Comunale
- Carte Tecniche Regionali in formato "raster"
- Sezioni fluviali dell'Autorità di Bacino del Fiume PO

Alle informazioni planoaltimetriche messe a disposizione dalle diverse Amministrazioni è stato necessario operare una attenta operazione di interpolazione dei dati insufficienti e/o mancanti:

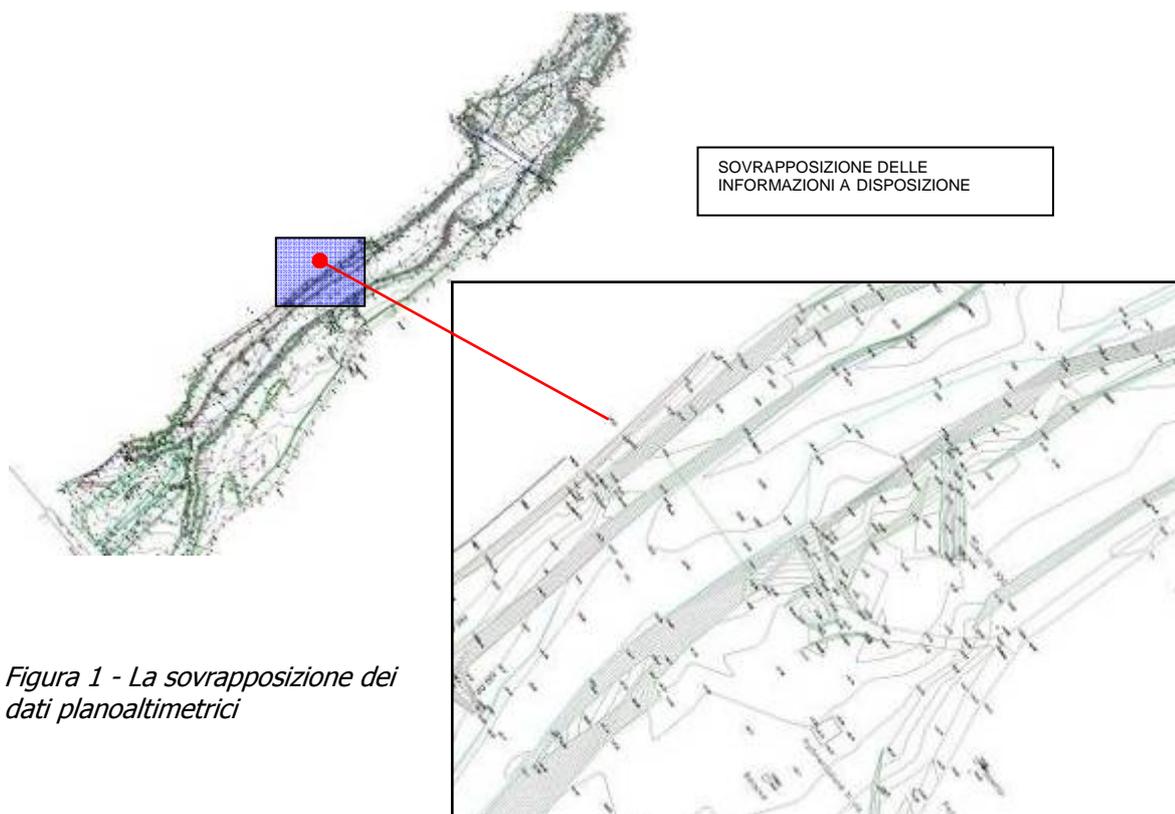


Figura 1 - La sovrapposizione dei dati planoaltimetrici

L'insieme dei rilievi ha costituito la base su cui applicare la procedura di triangolazione necessaria alla creazione del modello digitale su cui sono state effettuate le necessarie considerazioni morfologiche ed idrauliche:

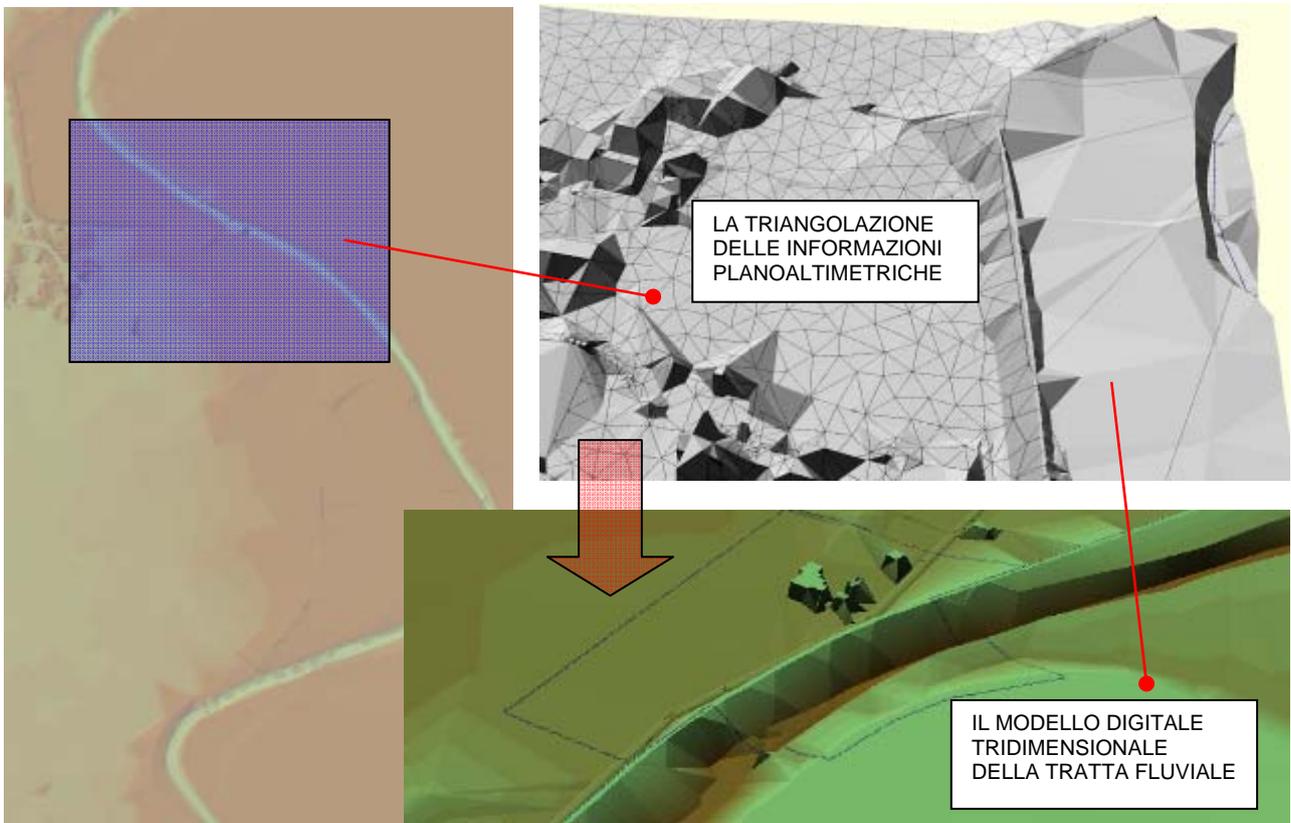


Figura 2 - La creazione del modello digitale del terreno

2.2. PORTATE DI RIFERIMENTO

In perfetta analogia e continuità con la prima parte dello Studio, relativa alla pozione Nord-est del territorio comunale, le condizioni al contorno per il modello idraulico utilizzato sono state:

- condizione al contorno di monte: consiste nella portata di piena ed è posta in corrispondenza della cassa di espansione di Rubiera;
- condizione al contorno di valle: consiste in una condizione idraulica dettata dal modello, tale per cui ogni volta che l'acqua esce dal dominio di simulazione, viene imposta l'altezza di moto uniforme in ragione della pendenza media in quel punto. Ciò riguarda sia il deflusso delle portate nell'alveo del Secchia, sia la propagazione di quelle tracimate.

La portata di piena considerata è quella relativa ad un tempo di ritorno $T = 200$ anni ed è indicata dall'Autorità di bacino nella Direttiva 2/99 "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica", in particolare alla Tabella 30 della suddetta direttiva denominata "Portate di piena per il fiume Secchia".

Facendo riferimento alla Tabella 30, con riferimento ai valori delle portate di interesse ($T=200$ anni), il tratto in esame è ubicato a valle della Sezione 131.

Nel tratto a monte della cassa di espansione di Rubiera, la stessa Tabella 30 indica un valore di portata pari a 1.760 mc/s.

Nella tratta a valle della cassa si ha, con riferimento alla Direttiva 2/99:

Qpiena, T=200 anni	750 mc/s	Cassa Adeguata
Qpiena, T=200 anni	900 mc/s	Cassa Attuale

Per quanto riguarda la quota di partenza del profilo, sempre nella suddetta direttiva, Tabella 77 "Profilo di piena per il Fiume Secchia" si rileva, alla sezione 127, per il tempo di ritorno $T = 200$ anni e la portata pari a 750 mc/s, la quota idrica di partenza che è stata desunta dai livelli idrometrici forniti dalla Direttiva del '99 dell'Autorità di Bacino del Po.

3. IL MODELLO DI SIMULAZIONE NUMERICA

3.1. GENERALITA'

La simulazione dei principali effetti idraulici associati alla tratta di alveo oggetto di studio del fiume Secchia è stata effettuata a partire dal modello digitale della tratta fluviale specifica e della campagna circostante mediante Infoworks RS.

Tale software rappresenta lo stato dell'arte della simulazione numerica in campo fluviale in quanto è in grado di produrre modellazioni mono e bidimensionali sia in moto permanente che in moto vario consentendo una gestione tridimensionale dei risultati ottenuti.

3.2. TRATTO ESAMINATO

Il fiume Secchia nel tratto in esame ha uno scorrimento pensile tra arginature maestose che spiccano di diversi metri rispetto al piano campagna. Il corso d'acqua è già stato frutto di estensiva modellazione monodimensionale in moto vario da parte degli scriventi nella citata prima fase di studio, che in particolare copriva il tratto compreso fra il ponte dell'Uccellino ed una sezione posta circa 3 km a valle del ponte Baccello in loc. Sozzigalli, (cfr. Studio 2009).

Nell'intento di ottimizzare il costo computazionale della modellazione numerica e volendo attribuire maggior peso alla parte di propagazione bi-dimensionale sul territorio extra-fluviale, in questa fase di lavoro si è deciso di limitare la simulazione dell'alveo ad un tratto lungo circa 250 metri a cavallo della ipotizzata breccia arginale (vedi figura 3) posta in sinistra idraulica circa 700 a valle del Ponte dell'Uccellino. La suddetta localizzazione è stata valutata come peggiorativa nel novero dei potenziali punti di rottura, per caratteristiche di impatto distruttivo sul territorio comunale urbanizzato. La validità dell'ipotesi semplificativa assunta, nonché della condizione al contorno di valle imposta, hanno trovato conferma nei risultati del precedente studio sopra menzionato.

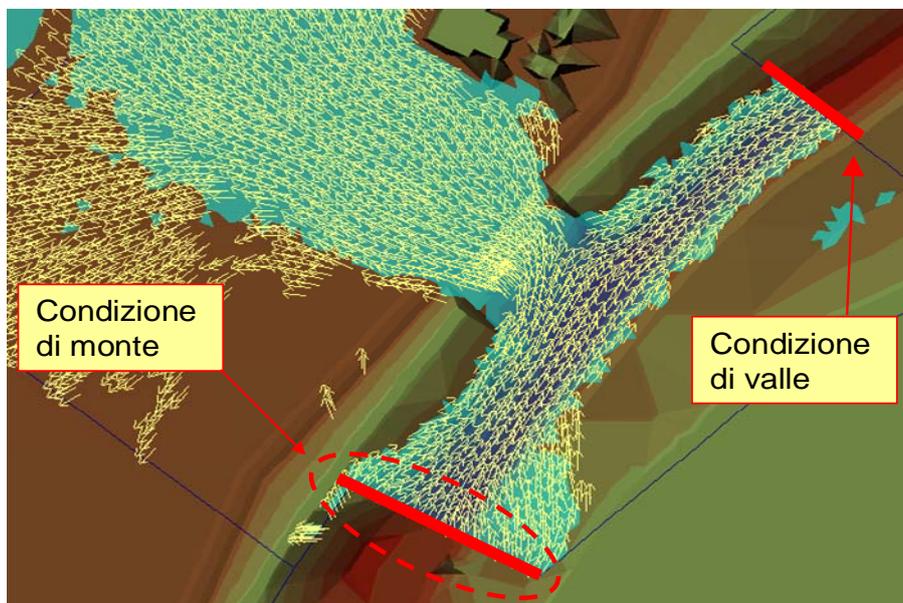


Figura 3 - Tratto di alveo in prossimità della breccia arginale, secondo la simulazione 2D del presente lavoro.

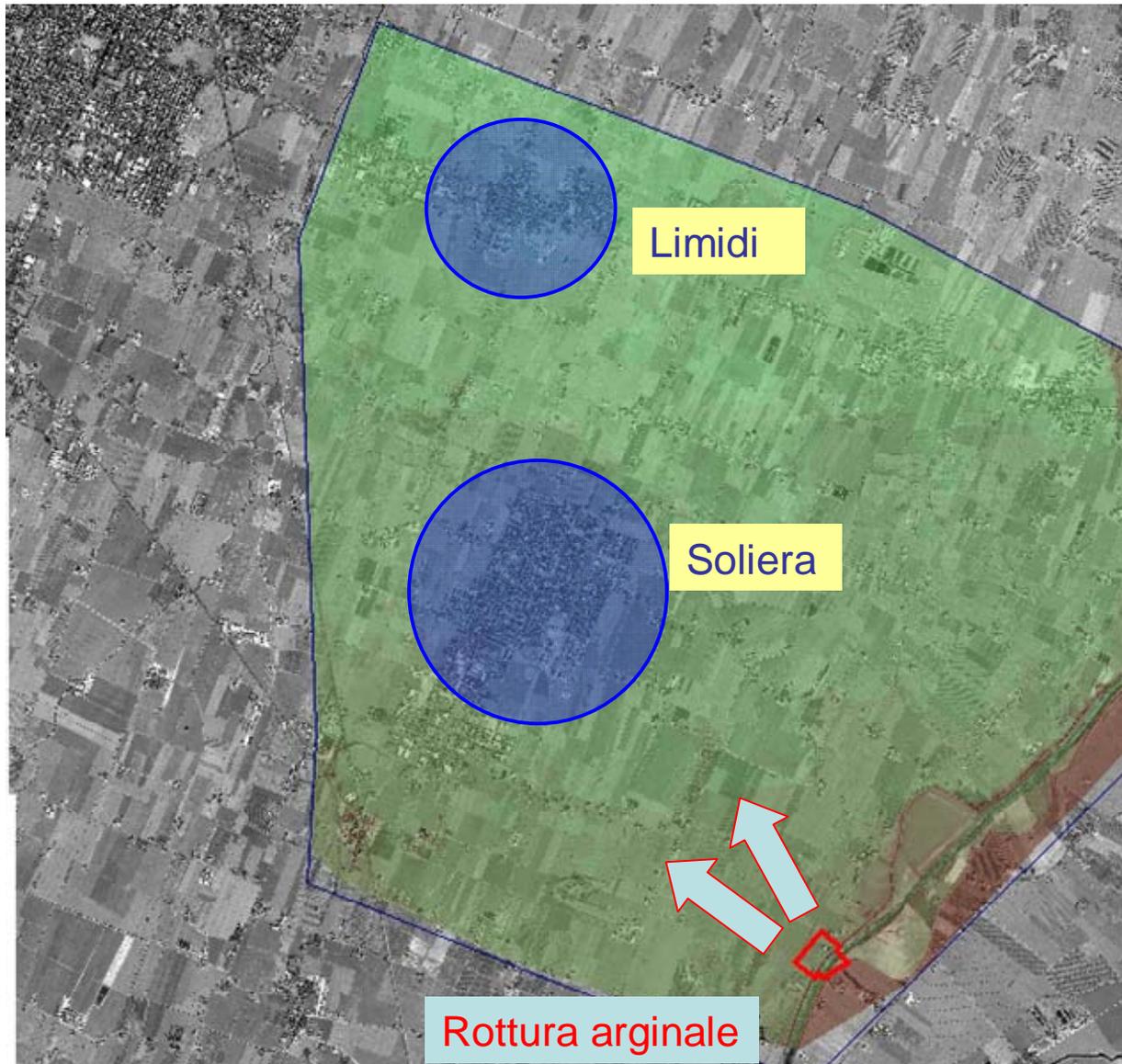


Figura 4 – Estensione del DTM elaborato per la simulazione idraulica condotta.

3.3. MODELLO IDRAULICO UTILIZZATO

Da un punto strettamente logistico le simulazioni effettuate possono essere suddivise in due categorie:

- simulazioni monodimensionali
- simulazioni bidimensionali

Le prime riguardano di norma la propagazione dell'onda di piena in alveo; le seconde sono in grado di valutare il comportamento in alveo, con maggior dettaglio (ma notevolmente maggiore costo computazionale), e soprattutto le caratteristiche dell'esondazione sul piano campagna dopo il collasso della struttura arginale.

Nel presente lavoro si farà ricorso sempre e solo alla modellazione di tipo bi-dimensionale.

Di seguito i principali step da seguire per raggiungere una modellazione numerica corretta e rappresentativa delle condizioni al contorno:

- definizione delle caratteristiche dell'onda di piena all'interno dell'alveo. (Par. 3.4)
- caratterizzazione della fenomenologia di crollo delle arginature e conseguente durata dell'esondazione (Par. 3.5)
- definizione delle caratteristiche dell'esondazione sul piano campagna (modellazione bidimensionale, Par. 3.6)

3.4. CONDIZIONI AL CONTORNO (PORTATA DI PIENA E QUOTA DI PARTENZA)

Le condizioni al contorno per il modello idraulico utilizzato sono:

- condizione al contorno di monte: idrogramma di piena derivato da quello menzionato nel precedente paragrafo 2, avente valore massimo pari a 750 m³/s (Figura 5). L'idrogramma è imposto nella sezione evidenziata nella figura 3, collocata circa 100 metri a monte della prevista breccia arginale.
- condizione al contorno di valle: condizione di tipo "normal", ossia livello idrico imposto pari all'altezza di moto uniforme sulla base della pendenza media in quel punto (vedi figura 3).

Si ribadisce che la scelta di considerare un tratto d'alveo di soli 250 metri di lunghezza, seppur con dettaglio bi-dimensionale, è resa possibile dalle preesistenti simulazioni 1D su un tratto assai più significativo (circa 10 km) e dal conseguente confronto e validazione delle ipotesi assunte.

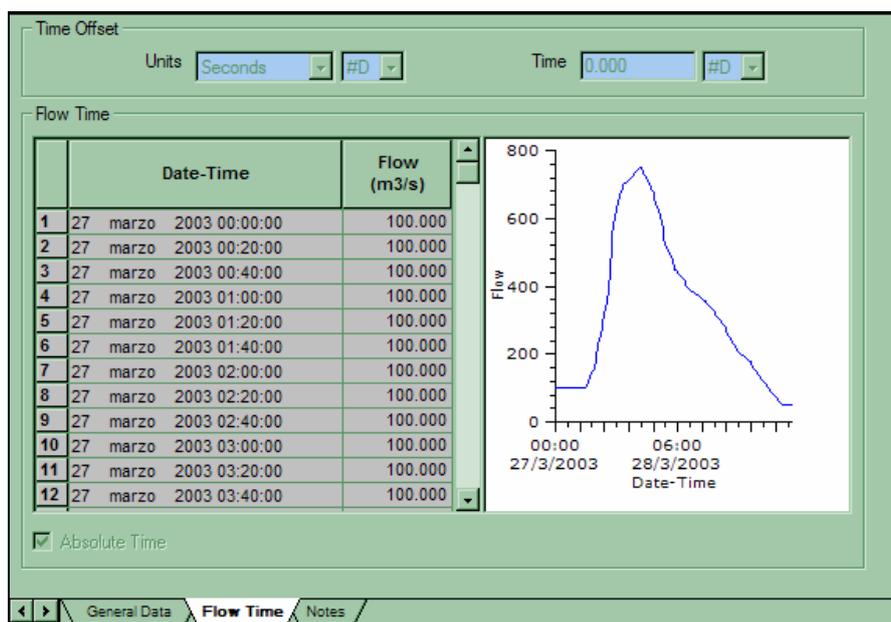


Figura 5 - Idrogramma di "input" del modello di simulazione.

Definizione dell'onda di piena

La figura 6 mostra il medesimo idrogramma di progetto Q750, già riportato in figura 5. Ipotizzando, come si ribadirà in seguito, che la rottura arginale avvenga per sifonamento e non per tracimazione e che essa avvenga creando una breccia la cui quota di fondo è pari a quella del terreno esterno all'argine (31.50 m slm), è possibile stimare l'andamento della portata che fuoriesce da tale breccia (Q esondata).

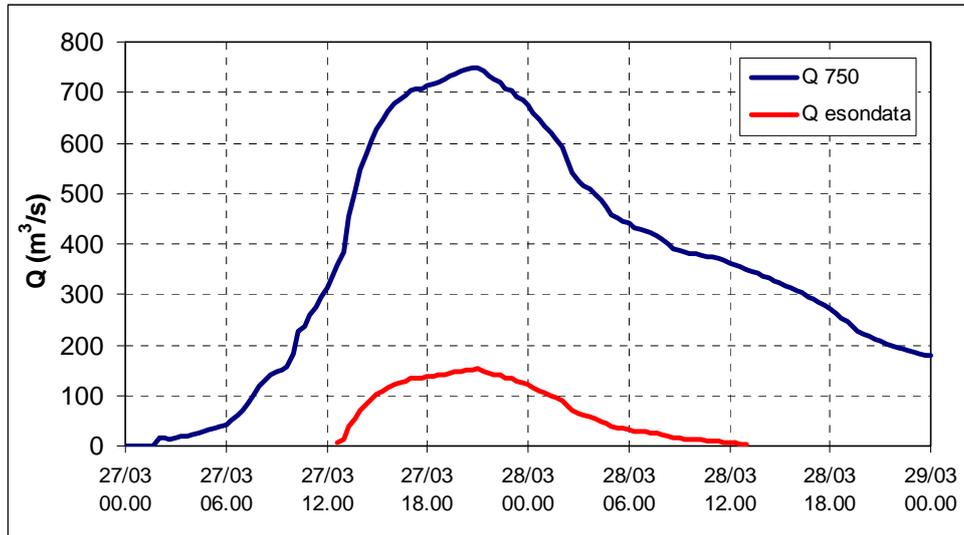


Figura 6 - Portata in alveo in arrivo da monte e portata fuoriuscita attraverso la breccia arginale.

Il modello numerico ci dice che l'acqua arriva a quota 31.50, ossia inizia a sfiorare, quando la portata è circa pari a 350 m³/s. Il volume sotteso dalla curva Q esondata (volume totale fuoriuscito) sarebbe pari a 6,820,000 m³ nell'arco di 24 h circa.

Tuttavia, tanto per ragioni di risparmio computazionale, quanto per la volontà di rappresentare una situazione sufficientemente realistica (non pare ragionevole supporre che nell'arco di 24h non vi sia alcun intervento nei confronti della breccia) si sono fatte delle ipotesi su due finestre temporali (12h e 18h) in cui l'esondatazione è di fatto attiva.

Il grafico di figura 7 mostra un ingrandimento della curva Q esondata di cui sopra, congiuntamente al valore del volume uscito, considerando finestre di 12 o 18 ore, in funzione dell'istante iniziale della finestra.

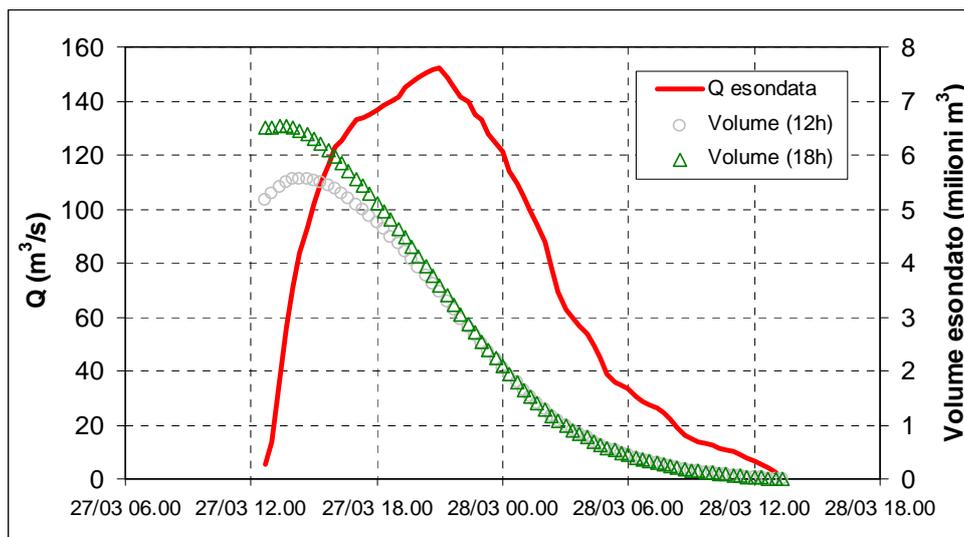


Figura 7 – Volume complessivo fuoriuscito per finestre temporali di 12h e 18h, in funzione del loro istante iniziale.

In sintesi:

- il max volume fuoriuscito che si può ottenere con una finestra di durata 12h è pari a 5,563,555 m³ (82% del totale).
- il max volume fuoriuscito che si può ottenere con una finestra di durata 18h è pari a 6,540,865 m³ (96% del totale).

Si è pertanto scelto di effettuare una simulazione della durata di 18h, immaginando che l'inizio di tale simulazione coincida di fatto con il cedimento dell'argine. Non vi è dubbio che la combinazione di questa serie di ipotesi risulti oltremodo gravosa, ma proprio per questo resta a favore di sicurezza in un processo di valutazione come quello oggetto del presente studio.

3.5. CARATTERIZZAZIONE DELLA FENOMENOLOGIA DI CROLLO DELLE ARGINATURE

Un crollo "spontaneo" di un argine in materiale incoerente è un fenomeno che di norma può avvenire per due cause principali:

- crollo per tracimazione prolungata;
- crollo per sifonamento.

In ogni caso è il trasporto progressivo ad opera della corrente del materiale di cui l'argine medesimo risulta essere costituito a definire le modalità di evoluzione che nel tempo definiscono la fenomenologia complessiva dello "scioglimento" arginale e la conseguente esondazione sul territorio limitrofo alla breccia.

Un precedente studio effettuato sul territorio del Comune di Soliera ha portato dapprima all'individuazione delle sezioni fluviali dove, a causa delle peculiarità specifiche dell'alveo, poteva verificarsi con maggiore probabilità una combinazione di cause di natura idraulica tali da creare un crollo dell'argine maestro realizzato a protezione del territorio posto in sinistra idrografica del fiume Secchia.

In particolare l'attenzione è da subito ricaduta sulle anse golenali del Secchia dove l'energia cinetica del deflusso idrico e i meccanismi di trasporto solido tendono ad erodere sulla parte esterna del deflusso realizzando fenomenologie di sedimentazione sulla parte "interna" del deflusso

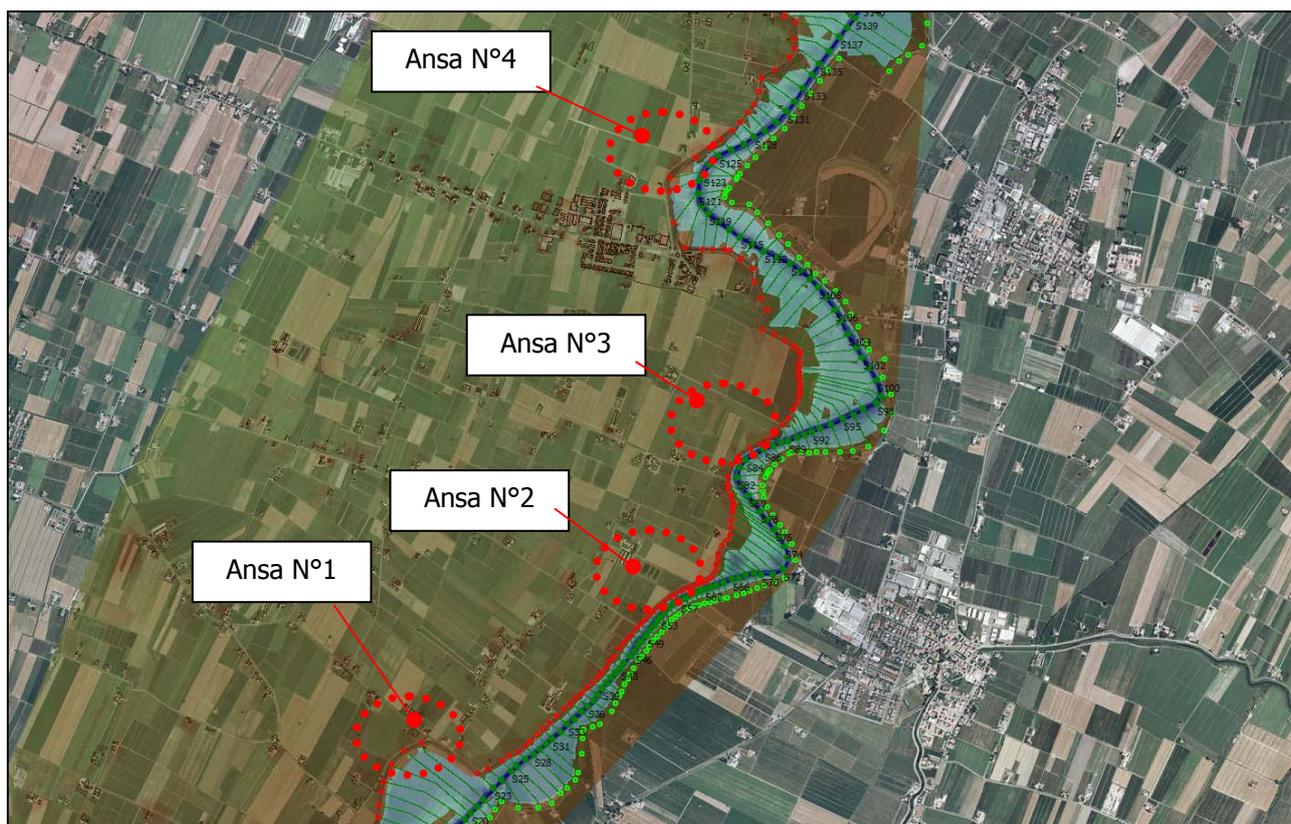


Figura 8 - Anse "critiche" per il territorio del Comune di Soliera in Sinistra Idrografica del fiume Secchia.

Tra i punti evidenziati in figura 8, fu l'ansa n° 3 a risultare a maggior rischio di cedimento, in quanto molto pronunciata e con velocità di deflusso che in concomitanza del transito dell'onda di piena tendono a sfiorare i 2 m/s; va detto che quanto analiticamente determinato con il modello idraulico trova perfetto riscontro in quanto realmente osservato: l'ansa n. 3 di Figura 8 si trova in corrispondenza dello Stradello Rotta, sede della penultima rottura arginale significativa registrata (novembre 1862) – cfr. doc. in Allegato.

Ancor più critico per il territorio urbanizzato è risultato il punto di rottura scelto per le simulazioni del presente lavoro (figura 4).

Esso infatti è posto in un tratto ad alveo inciso (sezione stretta e profonda, figura 9), poco prima che esso possa sfociare in una zona golenale di larghezza decisamente maggiore. Nel punto scelto, quando circolano le portate previste dall'idrogramma di figura 6, si verificano velocità quasi sempre superiori a 2 m/s e spesso eccedenti 3-4 m/s. Inoltre tale punto è in corrispondenza di una curva verso destra, dove la combinazione con le elevate velocità induce un grado di rischio indubbiamente alto.

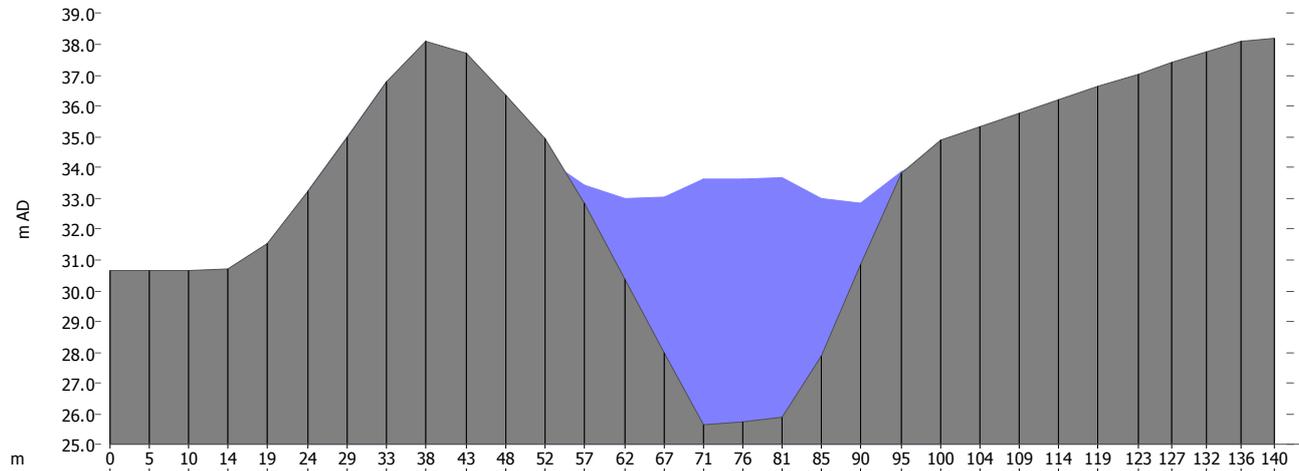


Figura 9 – Sezione ad alveo inciso, in prossimità di dove avverrà la rottura.

Nel caso specifico si è supposto che la rottura dell'argine avvenga per "sifonamento" -e non per tracimazione-, con sifoni impostati sulla quota del terrazzamento di golena (quota 31.50 m slm), per una lunghezza complessiva della breccia pari a 50 metri. L'effetto finale è quello evidenziato nella seguente figura 10.

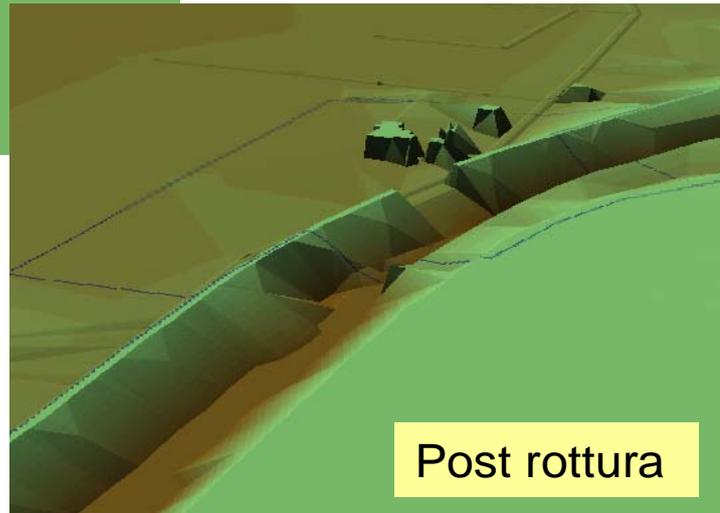


Figura 10 – Rappresentazione della rottura arginale mediante il modello digitale del terreno abbinato a quello idraulico.

Nelle seguenti immagini una immagine "virtuale" della sezione analoga a quella in cui è stato simulato il crollo; si noti in particolare come a collasso arginale avvenuto il profilo di rigurgito raccordi due correnti lente passando attraverso l'altezza critica sopra lo stramazzo laterale:

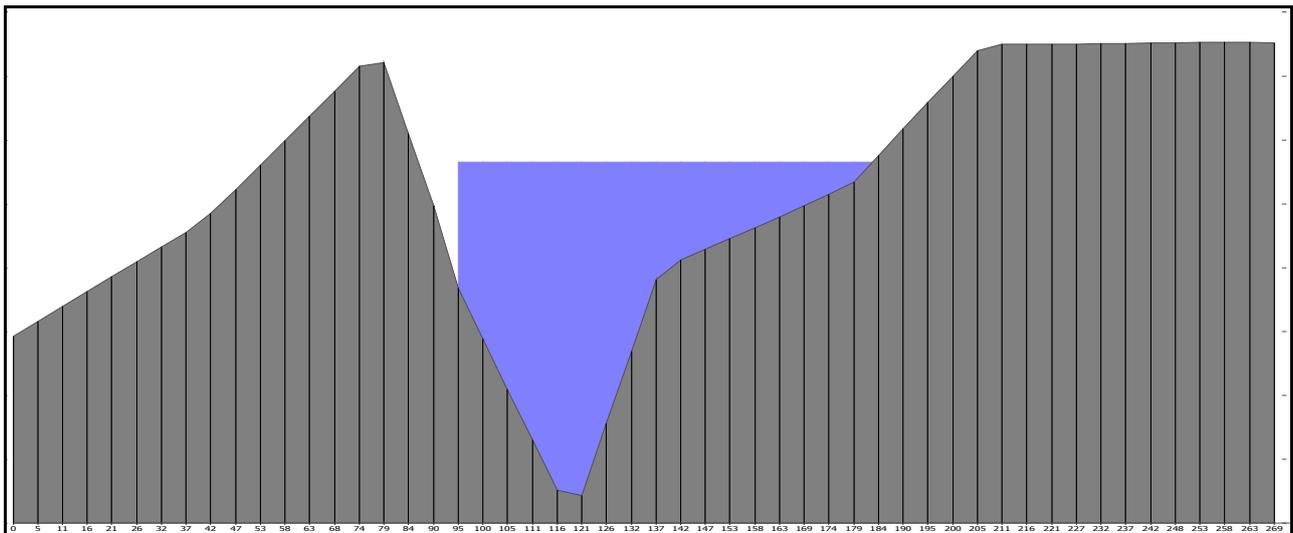


Figura 11 - Sezione tipo ad alveo inciso, prima del crollo arginale

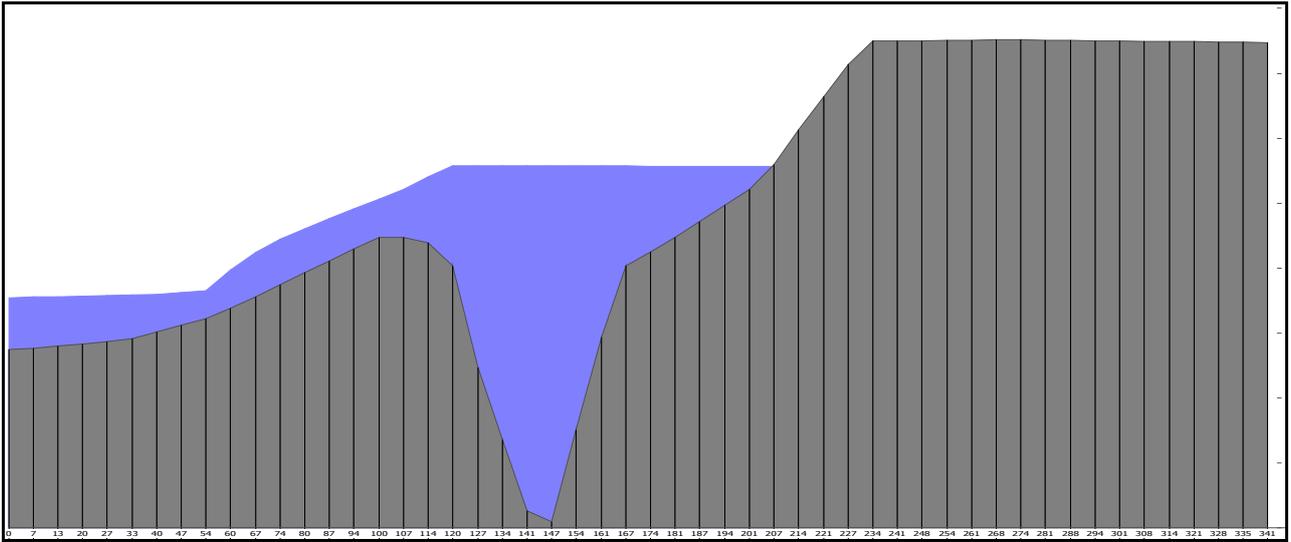


Figura 12 - Sezione tipo ad alveo inciso a crollo avvenuto

3.6. DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELL'ESONDAZIONE SUL PIANO CAMPAGNA (MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE)

La ricostruzione morfologica dell'areale di simulazione è stata definita con una mesh – o maglia – bidimensionale a passi differenti a seconda del punto caratteristico oggetto di modellazione idraulica: come risulta evidente dall'immagine sotto riportata, il passo caratteristico della mesh nell'alveo e nella zona prossima alla fuoriuscita dell'acqua risulta essere notevolmente maggiore di quello utilizzato per la propagazione nella pianura circostante. Ciò per l'ovvia importanza da un lato di riprodurre fedelmente la sorgente dell'onda di piena ed il campo di velocità con cui essa abbandona l'alveo per propagarsi nelle campagne circostanti. Dall'altro vi sono altrettanto ovvie esigenze di risparmio computazionale.

La simulazione avviene per step successivi di calcolo applicando un codice numerico bidimensionale: la superficie raggiungibile dall'acqua viene suddivisa in elementi triangolari bi-dimensionali a cui viene associata una quota/profondità in ragione dell'andamento del modello digitale del terreno. Ognuna delle celle triangolari rappresenta un elemento di calcolo dove il modello esegue il calcolo degli elementi idraulici rappresentativi del fenomeno dell'esondazione.

Per ciascun elemento del "mesh" 2d vengono calcolate istante per istante le informazioni rappresentative del fenomeno di deflusso e esondazione quali ad esempio l'altezza idrometrica e la velocità di deflusso; tali informazioni del codice di calcolo costituiscono:

- l'input del modello per il successivo step di calcolo
- l'output di indicazioni complessivamente accessibili a quel determinato step di calcolo.

Anche in questo caso l'utente modellista deve definire le caratteristiche e le condizioni al contorno della cella singola di calcolo e del poligono 2d complessivamente. Nel caso specifico si è definita una scabrezza media delle superfici di deflusso, imponendo altresì che i "bordi" del poligono di simulazione 2d simulassero una sorta di continuazione verso le aree limitrofe della fenomenologia di scorrimento e deflusso superficiale dell'esondazione:

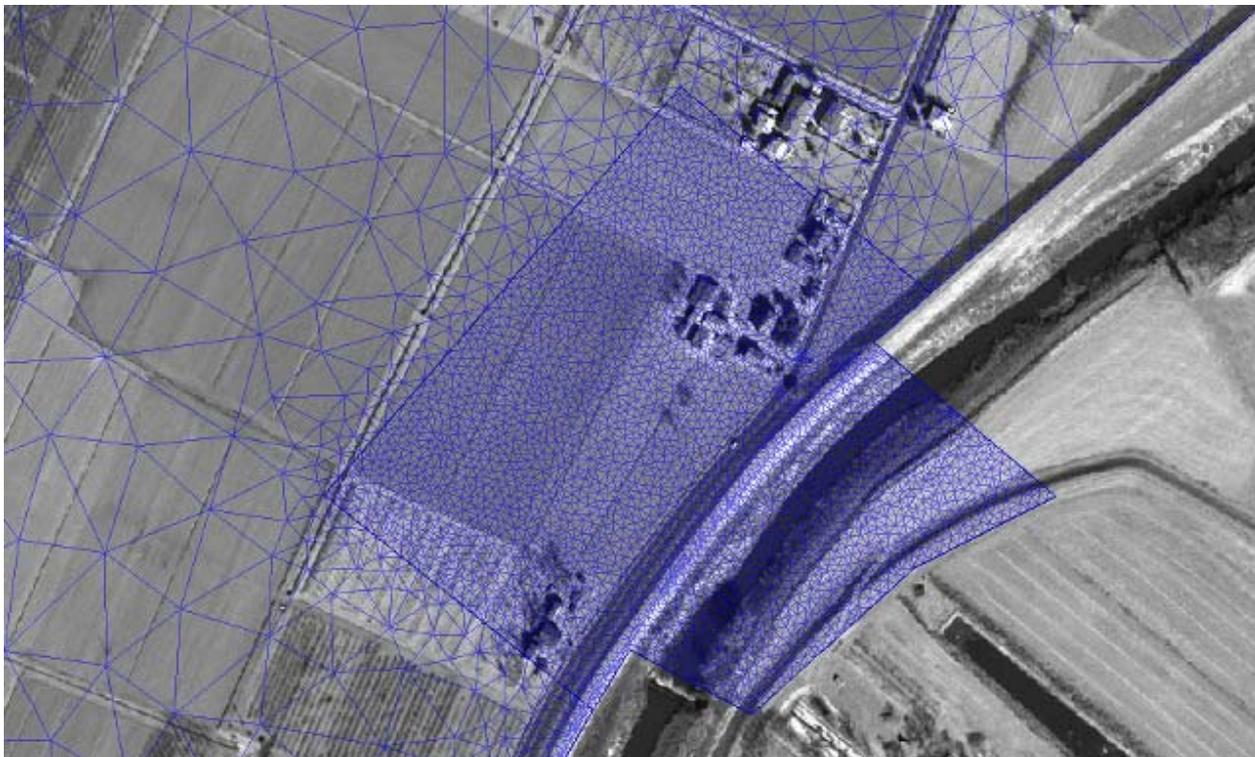


Figura 13 – Mesh a diverse densità, volte a rappresentare alveo e fuoriuscita da una parte, propagazione dall'altra

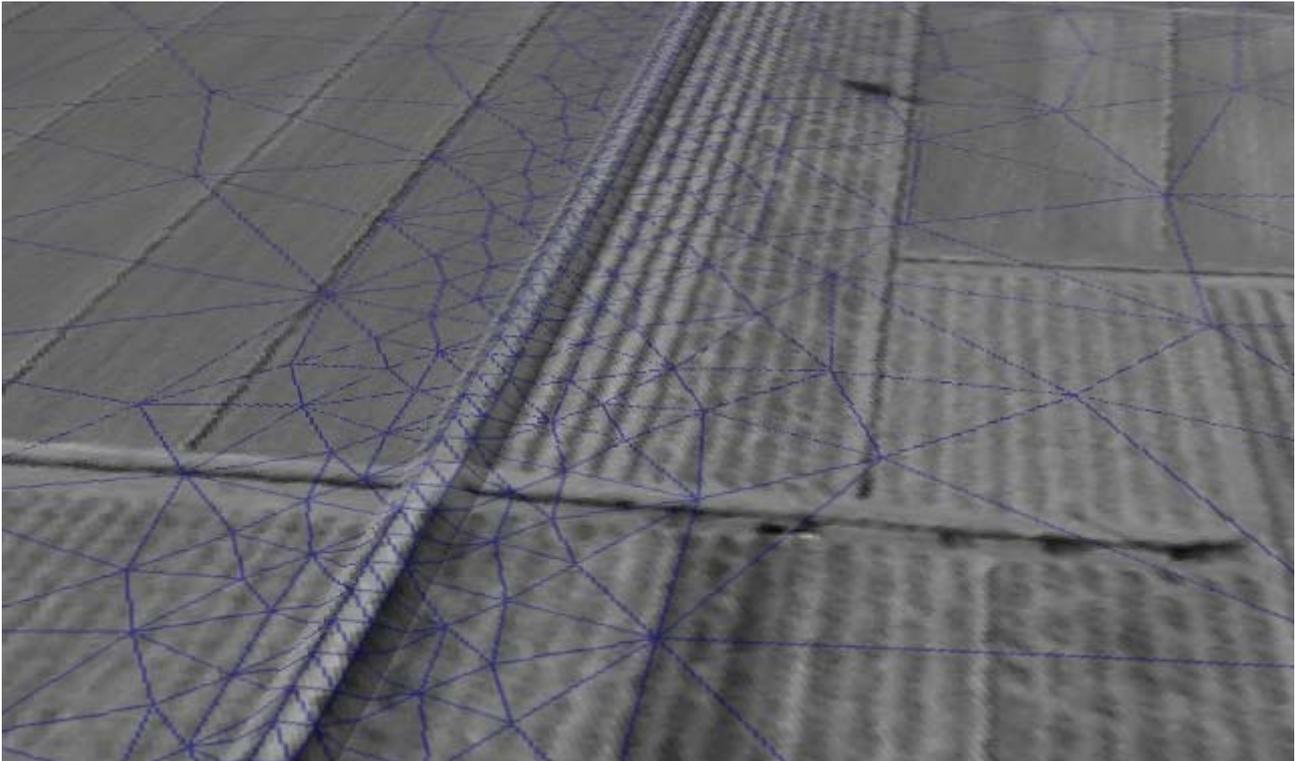


Figura 14 – Mesh a bassa densità nel territorio di pianura, più densa e adeguata in corrispondenza dei rilevati stradali.

Va però chiarito che, in corrispondenza di variazioni di quota del terreno di particolare rilevanza ai fini della propagazione (rilevati stradali) è possibile vincolare la tessitura della mesh alla geometria degli stessi rilevati. Questo causa ovviamente un raffittimento delle celle, ma fornisce anche maggiore garanzia di rappresentatività proprio sugli elementi più critici (Figura 14).

Alla mesh bidimensionale adottata viene attribuito un valore di scabrezza caratteristico per le condizioni in alveo, ma soprattutto per quelle della campagna circostante. In particolare per queste ultime si è scelto un valore piuttosto cautelativo (Manning = 0.040 s/m^{1/3})

La scabrezza (cfr. paragrafo successivo) costituisce il parametro di taratura del modello bidimensionale, funzionale ad ottenere risultati delle simulazioni il più possibile aderenti a valori verificatisi nella realtà.

COEFFICIENTI DI SCABREZZA

Il coefficiente di scabrezza rappresenta, come misura globale, la resistenza al moto da parte del flusso idrico.

E' stato assunto un valore diverso per la scabrezza per l'alveo inciso e per le aree golenali, nel rispetto dell'ipotesi di parzializzare la portata di piena in tali aree.

Per rappresentare la scabrezza per l'alveo inciso viene utilizzato il coefficiente di Manning ottenuto secondo le indicazioni presenti nell'"*Open channel hydraulics*", Ven Te Chow, McGraw Hill International Editions.

La formula utilizzata è la seguente:

$$v = (1/n) R^{2/3} i^{0.5}$$

dove:

v = velocità media della corrente (m/s),

R = raggio idraulico (m)
 i = pendenza di fondo (m/m)
 n = coefficiente di Manning.

Il coefficiente di Manning è valutato come:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

I singoli fattori che determinano il coefficiente di scabrezza n sono ottenuti dalla seguente tabella:

n ₀ materiale costituente l'alveo	Terra	0.020
	Roccia	0.025
	Alluvione grossolana	0.028
	Alluvione fine	0.024
n ₁ irregolarità della superficie della sezione	Trascurabile	0.000
	Bassa	0.005
	Moderata	0.010
	Elevata	0.020
n ₂ variazione della forma e delle dimensione della sezione trasversale	Graduale	0.000
	Variazione occasionalmente	0.005
	Variazione frequente	0.010-0.015
n ₃ effetto relativo alle ostruzioni	Trascurabile	0.000
	Modesto	0.010-0.015
	Apprezzabile	0.020-0.030
	Elevata	0.040-0.060
n ₄ effetto della vegetazione	Basso	0.005-0.010
	Medio	0.010-0.025
	Alto	0.025-0.050
	Molto alto	0.050-0.100
m ₅ grado di sinuosità dell'alveo	Modesto	1.000
	Apprezzabile	1.150
	Elevato	1.300

Fattori del coefficiente di scabrezza n di Manning

Il tratto del Fiume Secchia esaminato, per quanto riguarda l'alveo di magra, è formato prevalentemente da limi e argille affioranti, mentre le zone golenali sono ricoperte da vegetazione rada e, in pochi tratti, da vegetazione a basso fusto; inoltre sono stati riscontrati tratti il cui nell'alveo prevalente il solo strato argilloso.

La tabella seguente riassume i diversi coefficienti di Manning utilizzati.

CONDIZIONI FONDO	MANNING m (m ^{1/3} / s)
ALVEO INCISO	0.033
CAMPAGNA	0.040

Coefficienti di scabrezza utilizzati

4. - RISULTATI

Sulla base di tutte le premesse addotte nei paragrafi precedenti e dopo vari tentativi intermedi, si è effettuata una simulazione ritenuta definitiva, per una durata temporale di 18 ore, tale da rappresentare la rottura dell'argine in sinistra idraulica durante il passaggio della piena con $Tr = 200$ anni.

Il processo di calibrazione che ha condotto alla struttura della simulazione finale ed al suo set di parametri, si è avvalso dei dati storici dell'alluvione del 1966 (cfr. doc. in Allegato).

Grazie ad alcune fotografie dell'epoca e ad una rappresentazione planimetrica delle aree alluvionate, si è potuto tracciare il confine delle aree che furono raggiunte dall'acqua in quell'occasione.

Sebbene la rottura del 1966 sia avvenuta molto più a monte del caso qui proposto, il suddetto confine fornisce di certo un utile parametro di confronto per un generico fenomeno di propagazione di deflussi altamente superficiali, diretti verso Nord, attraverso quella medesima porzione di pianura.

La figura 15 mostra l'inviluppo dei massimi valori di livello idrico raggiunto in pianura durante le 18h di simulazione, insieme al "corridoio" di propagazione definito grazie ai dati storici.

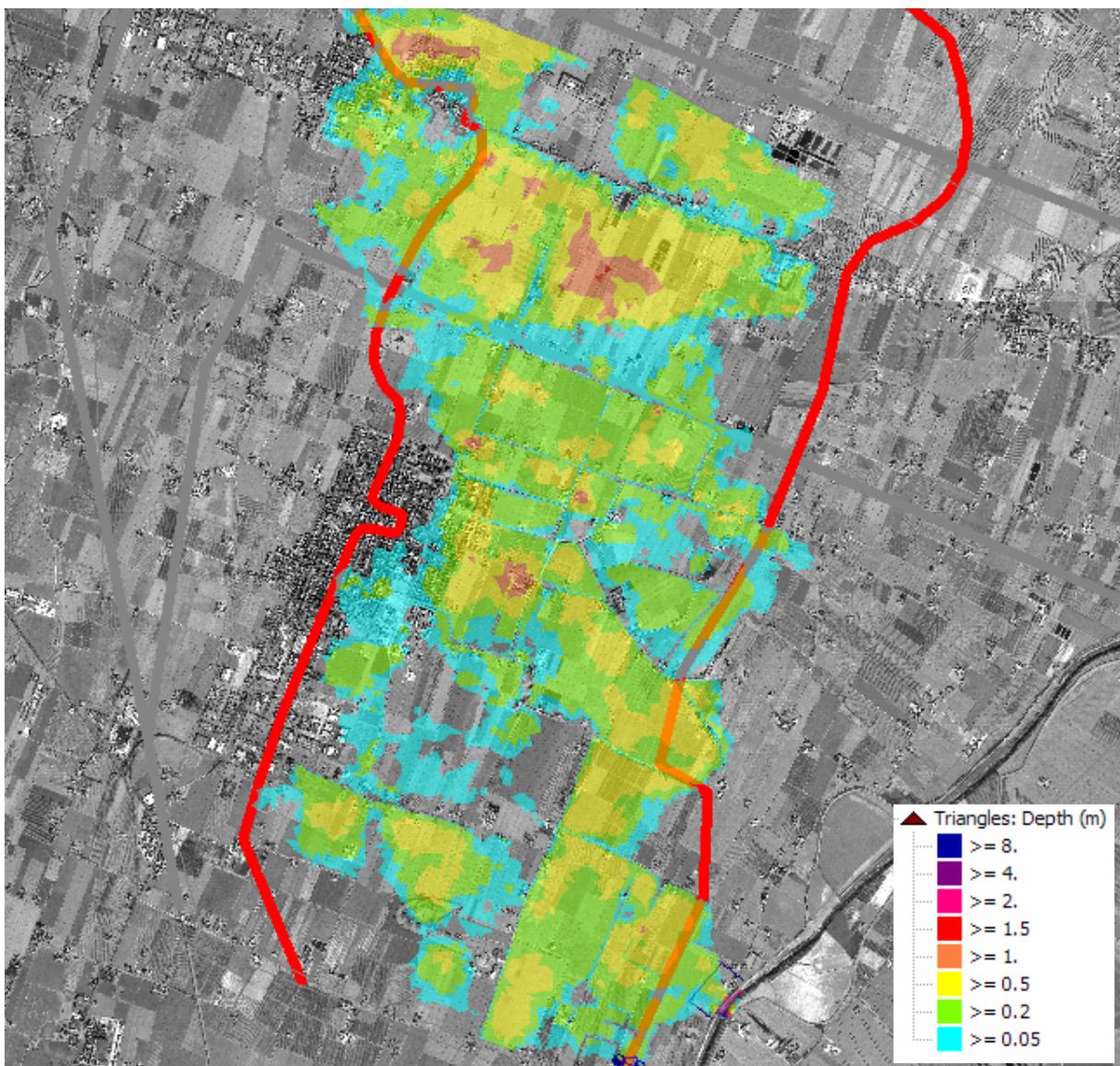
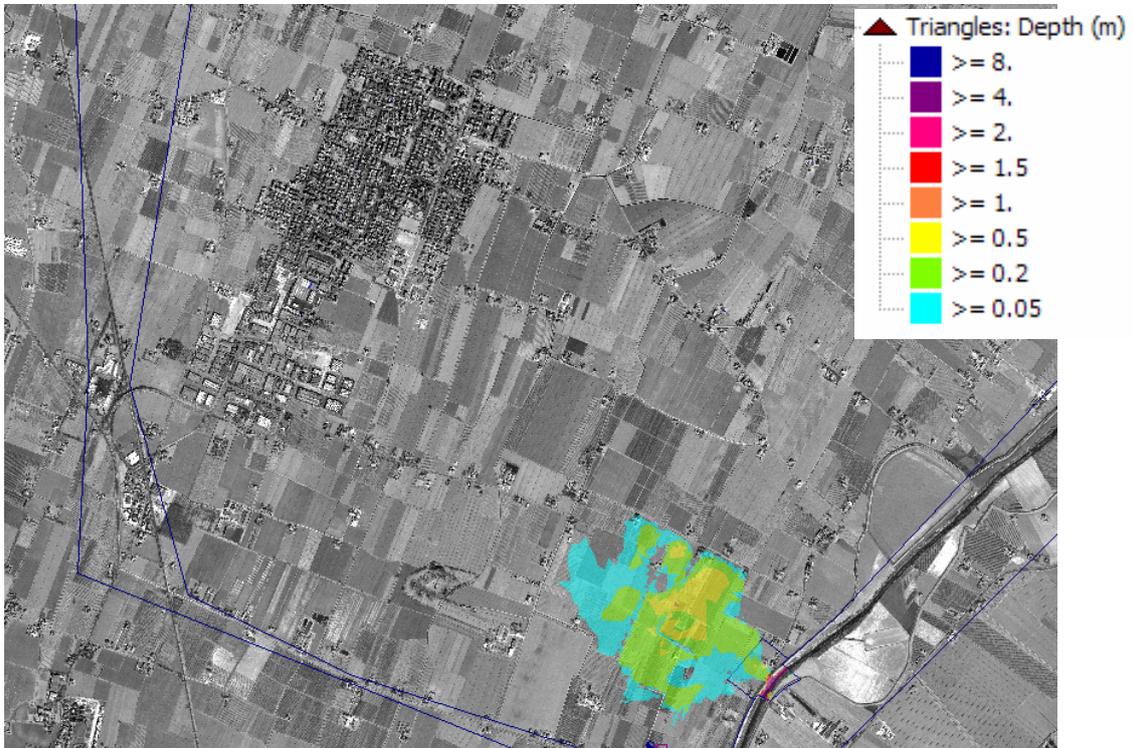


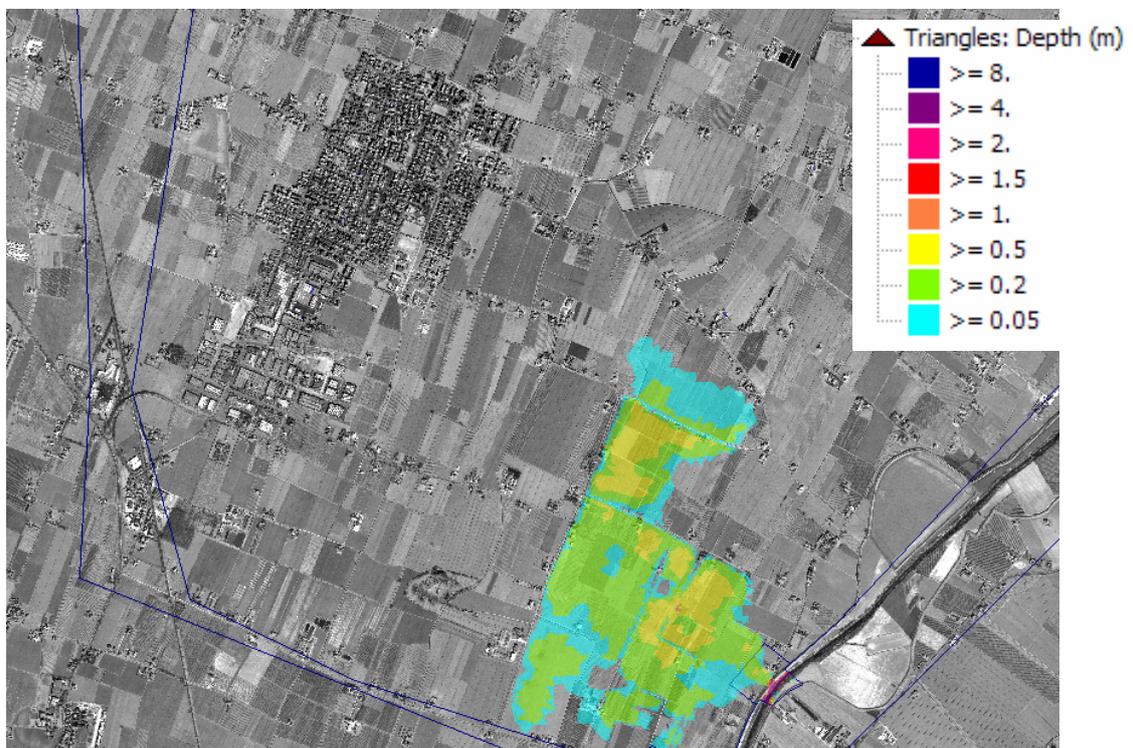
Figura 15 – Inviluppo dei massimi livelli idrici (vedi legenda) simulati dal modello nel corso delle 18h di rottura arginale, raffrontati alla linea di confine (rossa) delle aree raggiunte dall'acqua nel 1966.

4.1. PORZIONE TERRITORIO SOLIERA

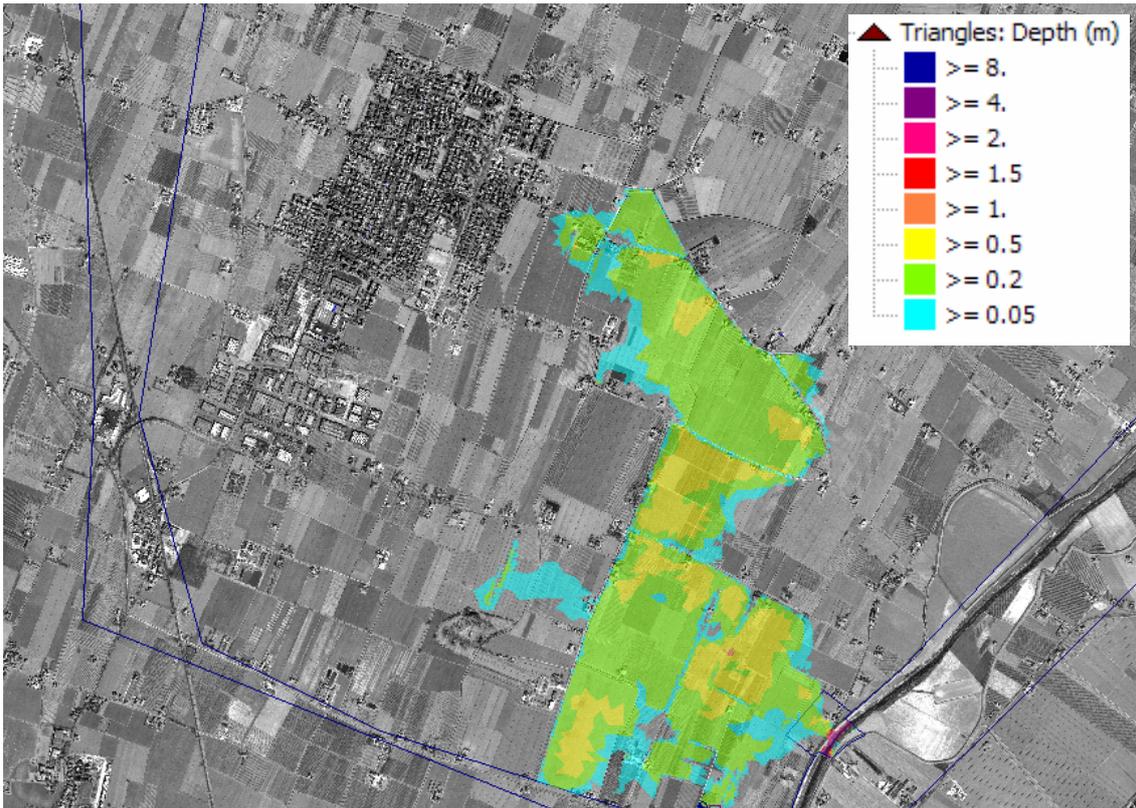
I fotogrammi seguenti mostrano la modalità e conseguentemente anche i tempi con i quali l'acqua fuoriuscita dall'alveo del Secchia si propaga attraverso la campagna.



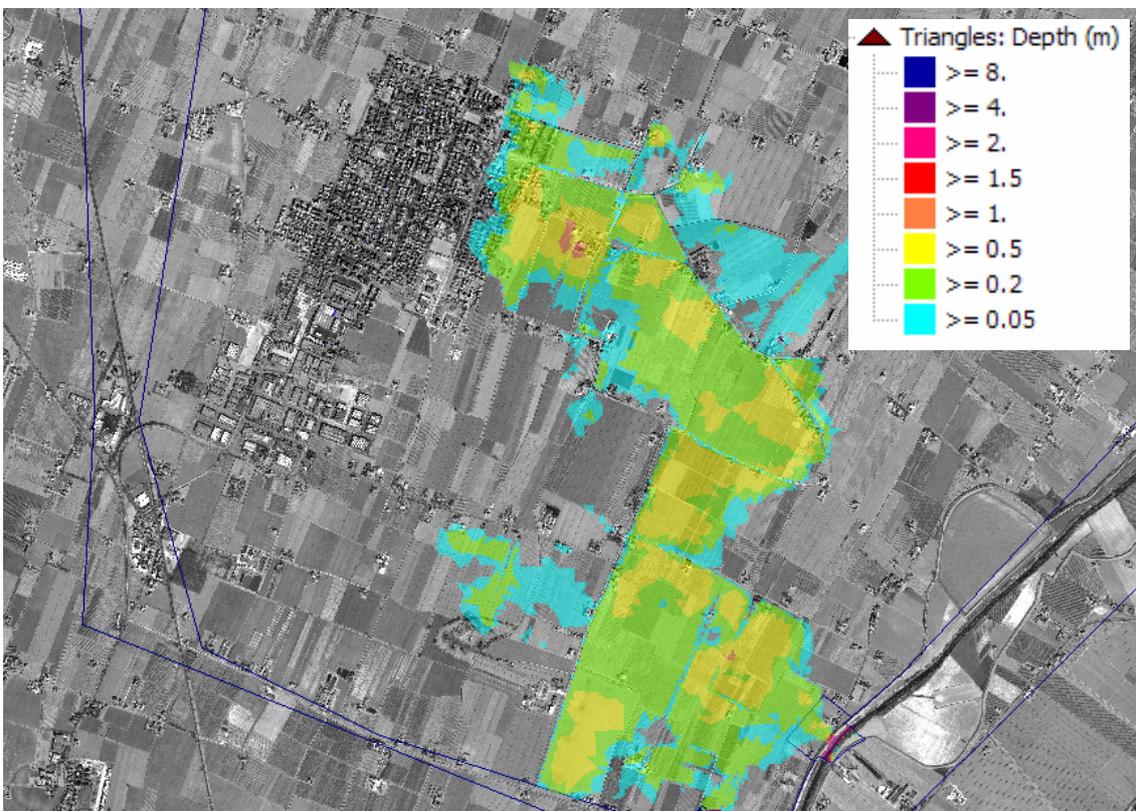
Esondazione: $t=1h$ dalla rottura arginale. I colori indicano la profondità dell'acqua



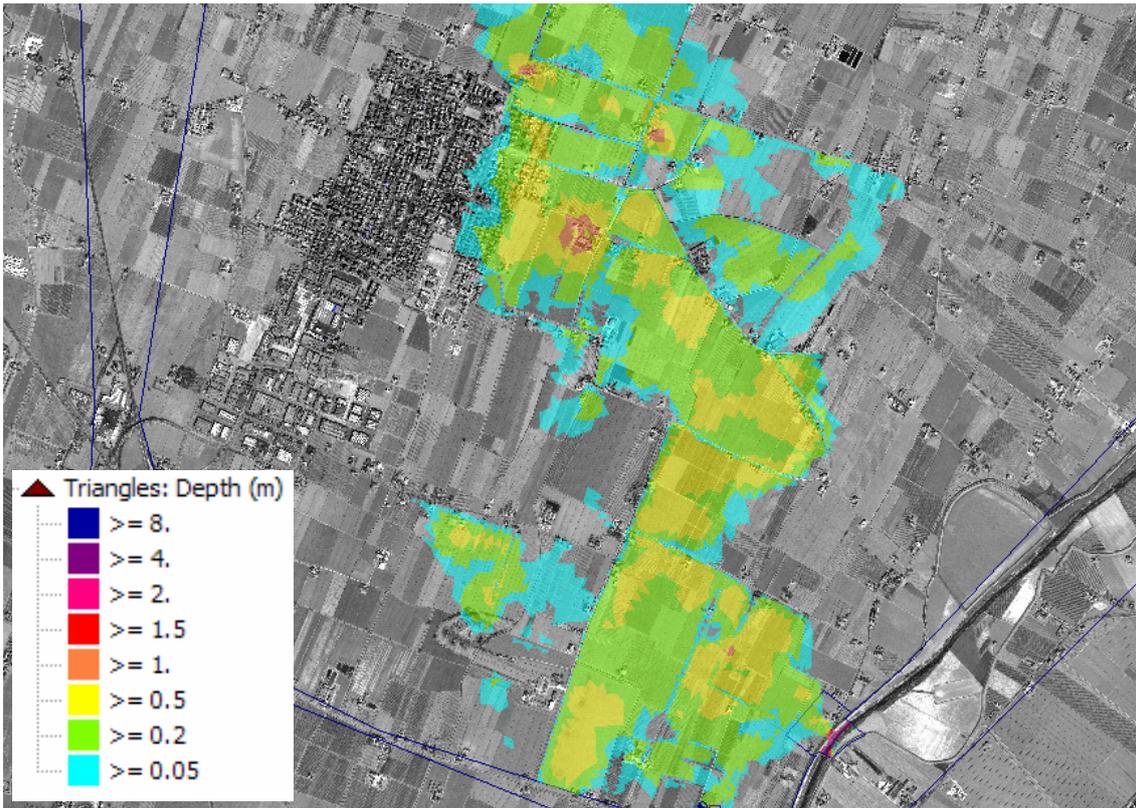
Esondazione: $t=2h$ dalla rottura arginale. I colori indicano la profondità dell'acqua



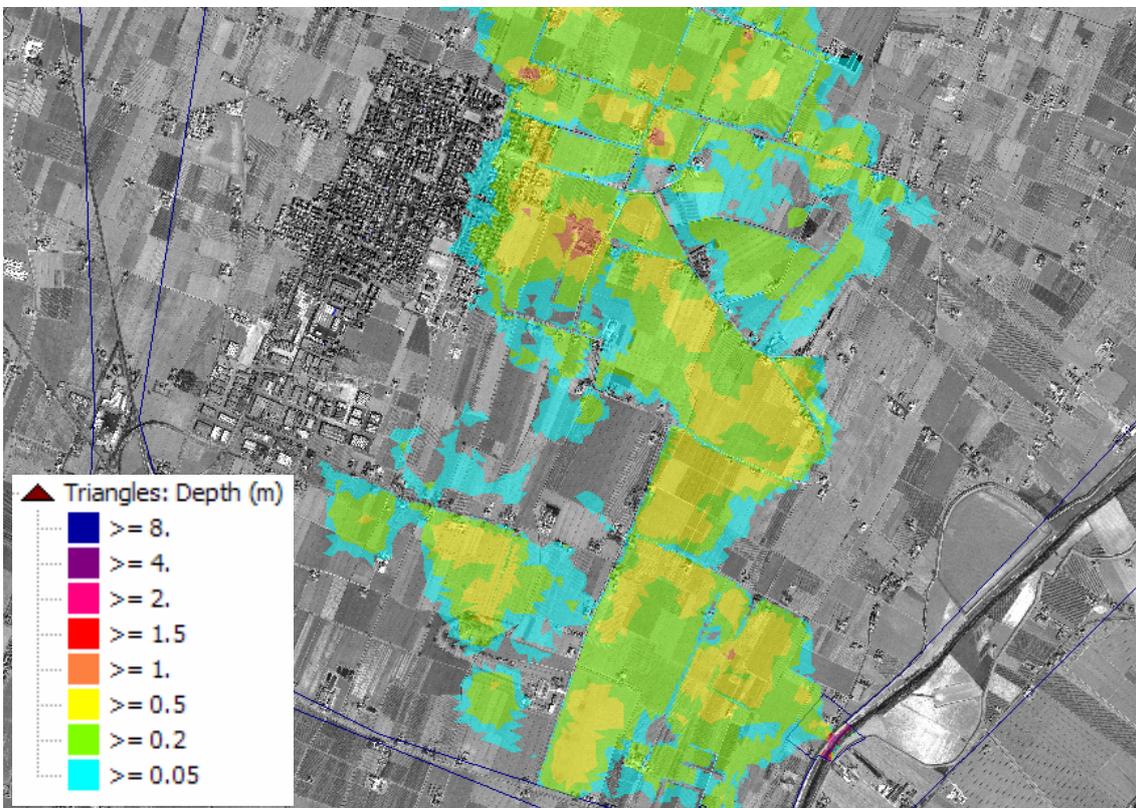
Esondazione: t=3h dalla rottura arginale. I colori indicano la profondità dell'acqua



Esondazione: t=4h dalla rottura arginale. I colori indicano la profondità dell'acqua



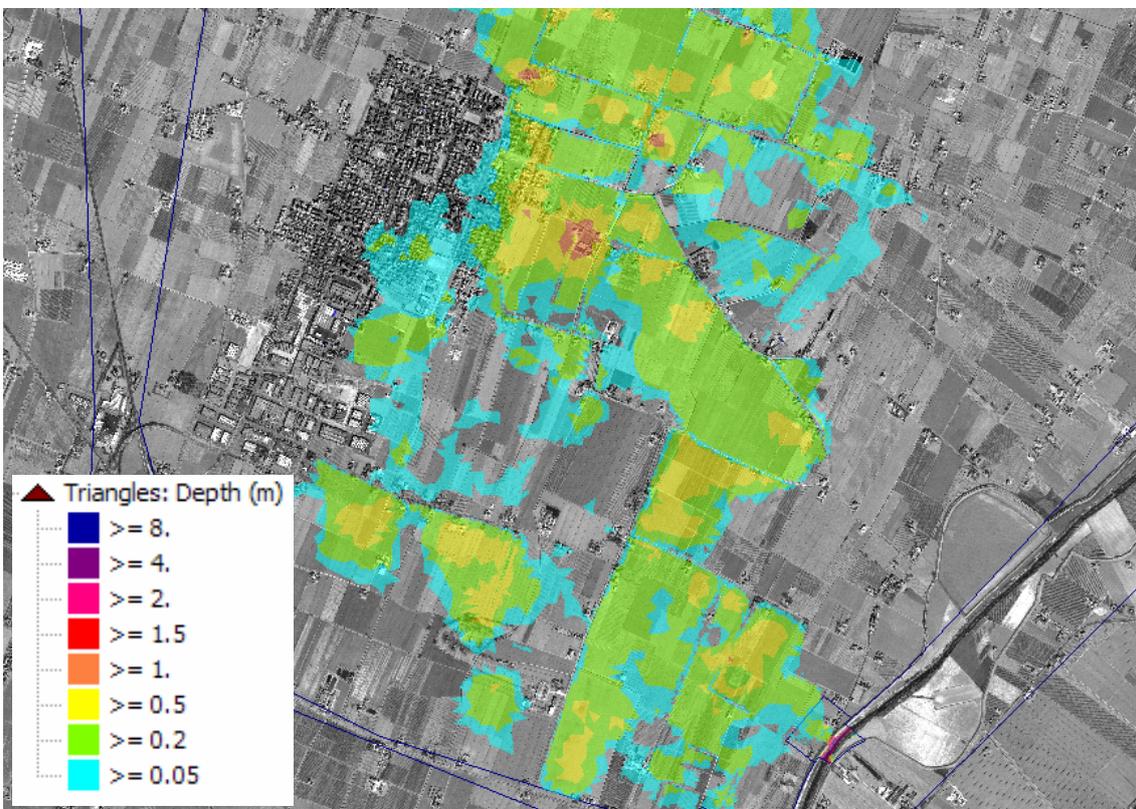
Esondazione: t=5h dalla rottura arginale. I colori indicano la profondità dell'acqua



Esondazione: t=8h dalla rottura arginale. I colori indicano la profondità dell'acqua



Esondazione: t=11h dalla rottura arginale. I colori indicano la profondità dell'acqua

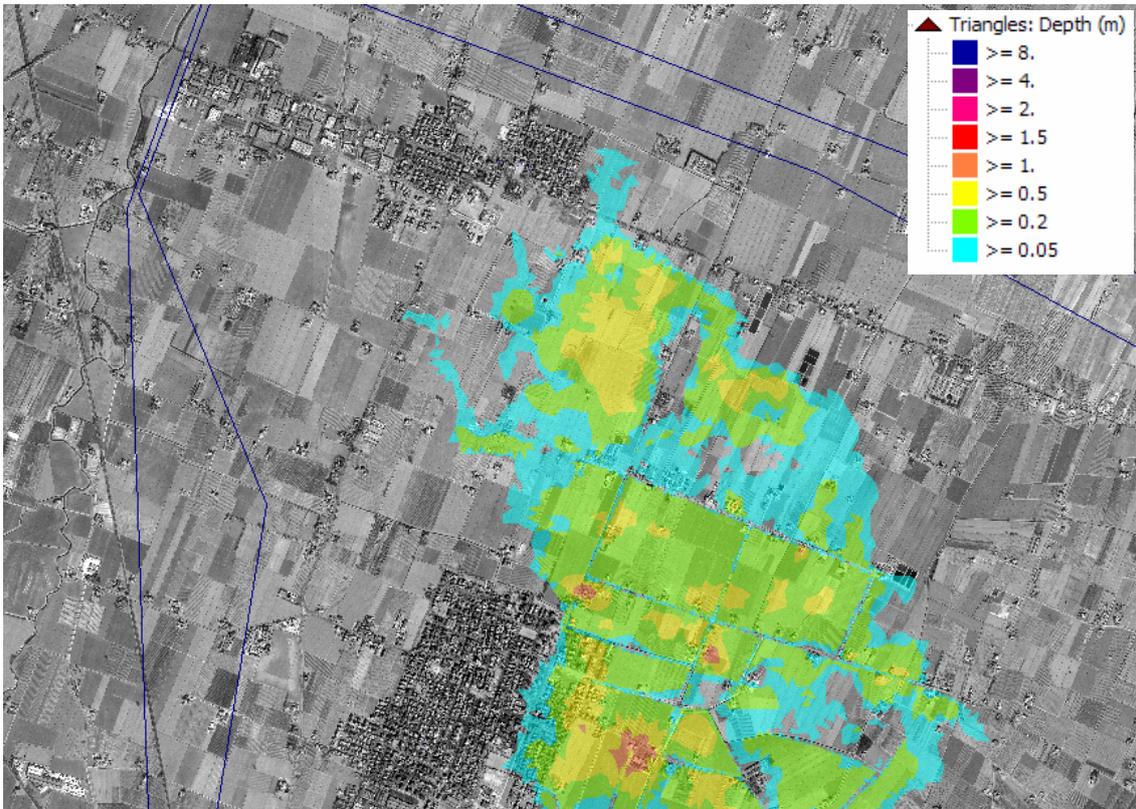


Esondazione: t=14h dalla rottura arginale. I colori indicano la profondità dell'acqua

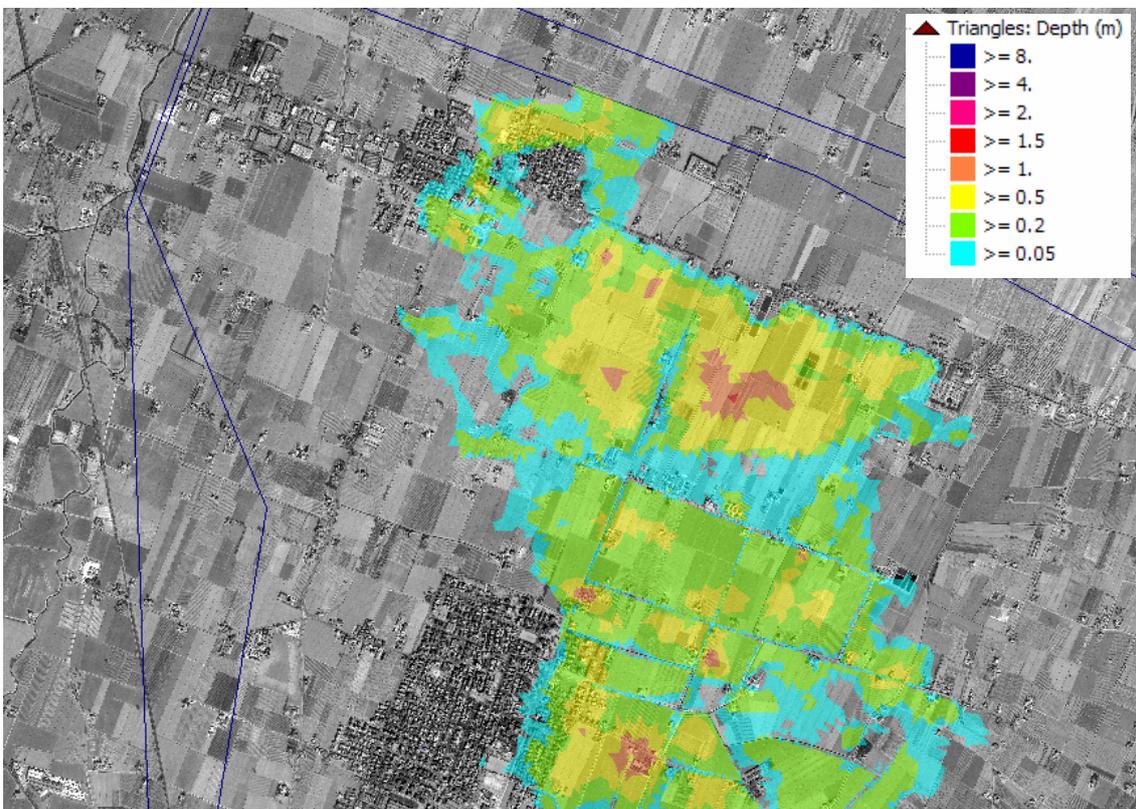


Esondazione: $t=18h$ dalla rottura arginale. I colori indicano la profondità dell'acqua

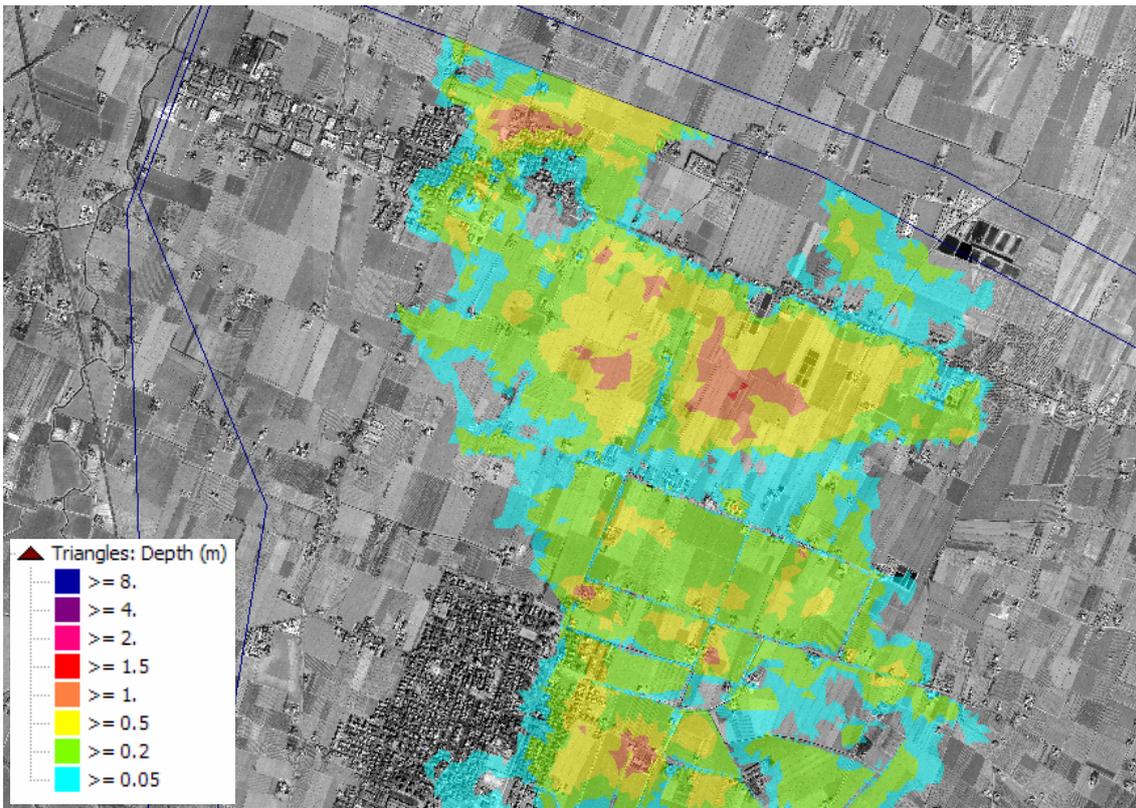
4.2. PORZIONE TERRITORIO LIMIDI



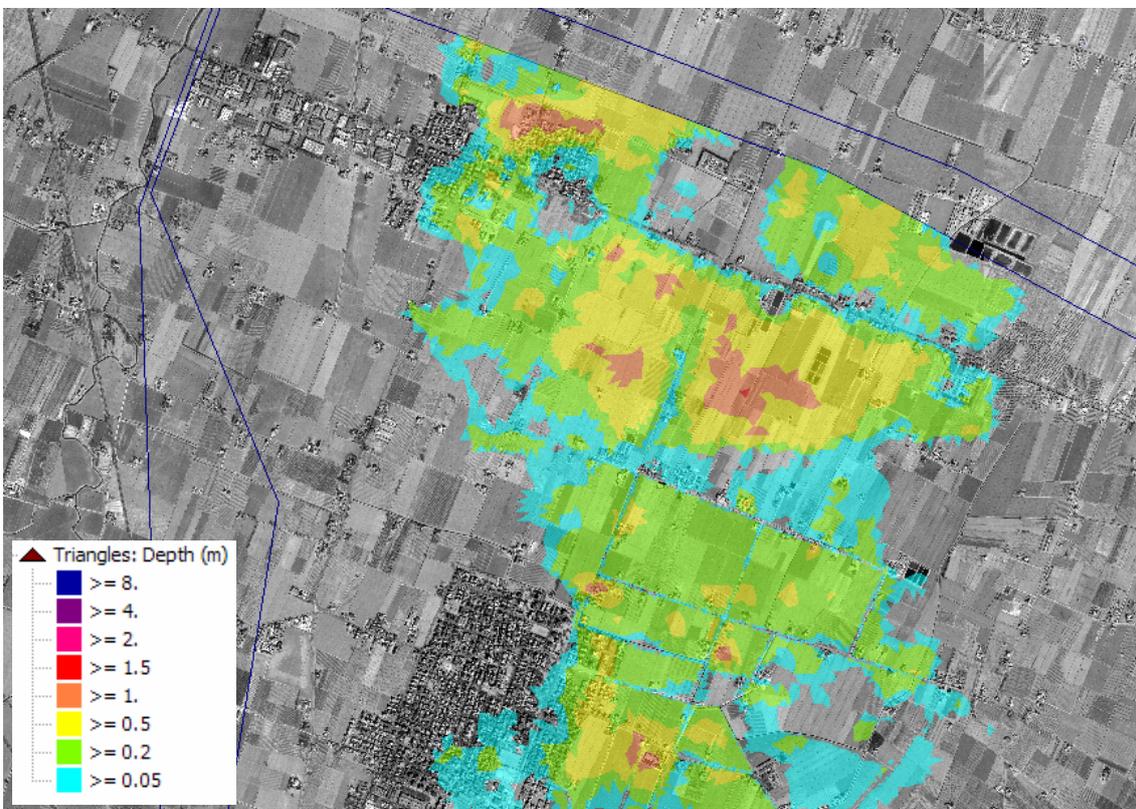
Frazione di Limidi: t=7h dalla rottura arginale. I colori indicano la profondità dell'acqua



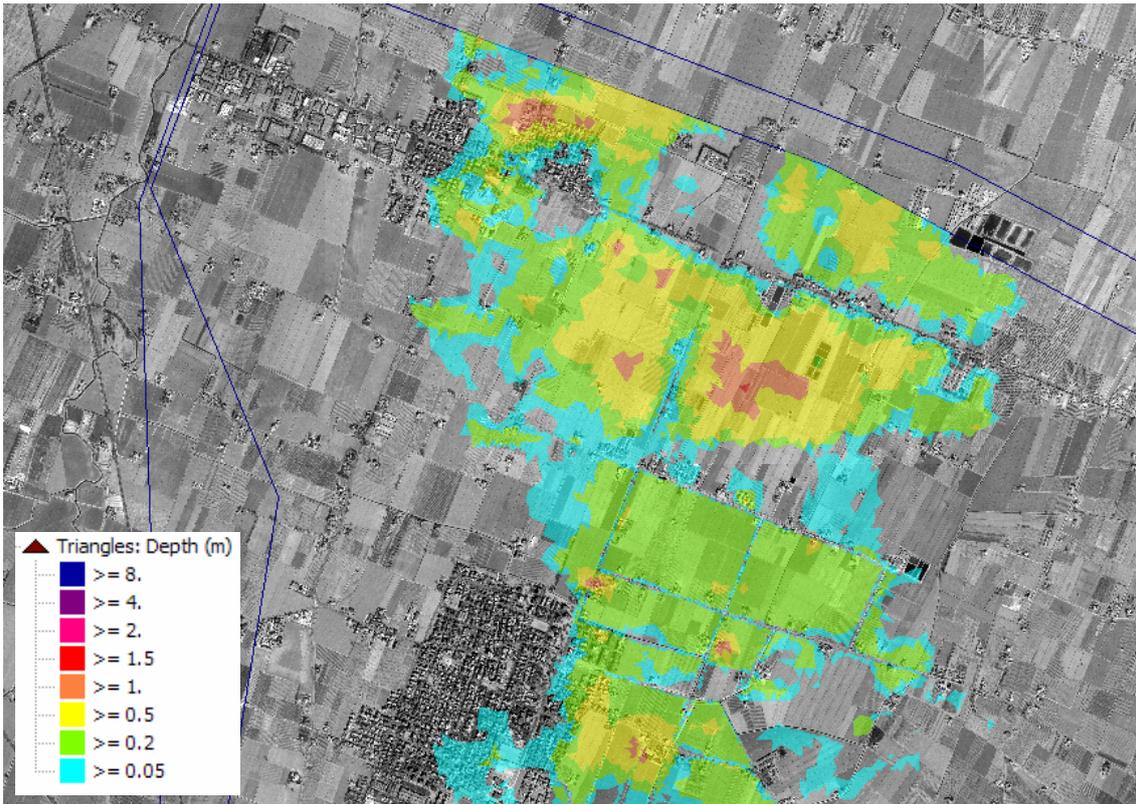
Frazione di Limidi: t=9h dalla rottura arginale. I colori indicano la profondità dell'acqua



Frazione di Limidi: t=11h dalla rottura arginale. I colori indicano la profondità dell'acqua

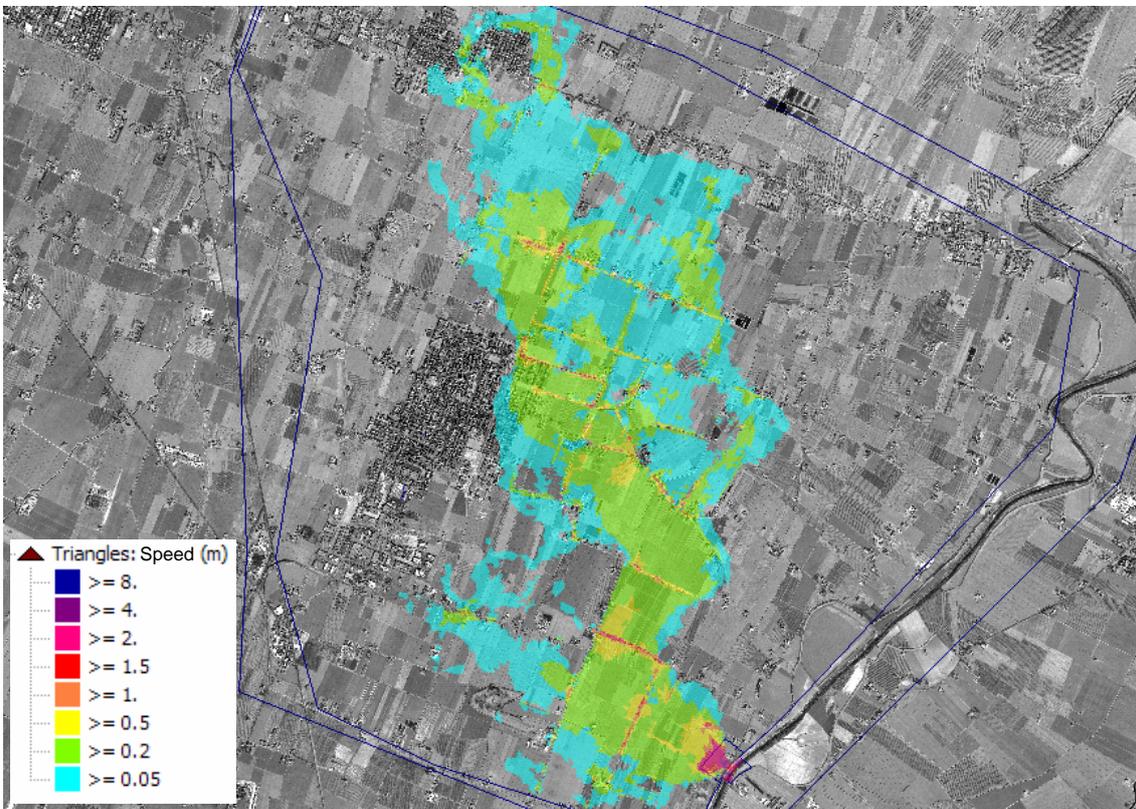


Frazione di Limidi: t=15h dalla rottura arginale. I colori indicano la profondità dell'acqua



Frazione di Limidi: t=18h dalla rottura arginale. I colori indicano la profondità dell'acqua

VELOCITA' DI PROPAGAZIONE DELL'ACQUA SUL TERRITORIO PIANEGGIANTE



Istante di transito del picco in alveo: t=8h dalla rottura arginale. I colori indicano la velocità dell'acqua

5. CONCLUSIONI.

Attraverso un modello di modellazione numerica è stato possibile adempiere alle specifiche prescrizioni previste dal PTCP in materia di protezione idraulica del territorio con riferimento a quanto previsto sull'analisi degli effetti di una esondazione causata da un collasso delle strutture arginali a presidio delle piene di un corso idrografico principale.

In particolare è stato possibile, seppur al livello sperimentale, applicare una metodologia di ricostruzione della fenomenologia di esondazione di un'ampia porzione del territorio del Comune di Soliera valutandone gli effetti, le modalità di propagazione e dunque i tempi possibilmente disponibili per allarmare e/o evacuare parte della popolazione.

L'analisi ha riguardato il tratto di pianura compreso fra il fiume Secchia ed il capoluogo di Soliera, oltre alla porzione di territorio posta a Nord dello stesso capoluogo, inclusiva della frazione di Limidi.

La definizione della fenomenologia complessiva associata:

1. al deflusso dell'onda di piena nell'alveo del Fiume Secchia,;
2. alle modalità del crollo arginale;
3. al successivo deflusso sulla superficie territoriale oggetto di verifica;

è avvenuta attraverso una analisi accurata delle tre fasi prese dapprima singolarmente e successivamente messe in relazione attraverso alcuni elementi specifici di modellazione in grado di unire spazi che lavorano mediante logiche tra di loro differenti.

La rappresentatività del modello numerico così costituito trova conferma nel confronto con il confine delle aree alluvionate in occasione dell'evento del 1966. Il raffronto è da ritenersi positivo, soprattutto se si considera che tale confine si deve ad una rottura avvenuta assai più a monte di quella qui studiata e che quindi l'evento a cui ci si raffronta è analogo, ma non identico.

Il risultato è una compiuta descrizione della fenomenologia complessiva che consente in prima approssimazione di definire tempistiche e modalità di intervento per limitare le problematiche associate all'evento simulato.

Dalle simulazioni emergono le seguenti indicazioni di massima in termini quantitativi:

- i primi edifici del centro abitato di Soliera vengono raggiunti dopo circa 3h 30min dall'istante in cui l'argine cede. Tale tempo potrebbe ridursi fino a 2h 30min, qualora il cedimento avvenisse proprio nel momento in cui sta transitando il picco di portata ($750 \text{ m}^3/\text{s}$).
- dalla quarta all'ottava ora la zona dell'abitato alluvionata resta costante, interessando solo la porzione orientale. Successivamente dopo circa 11h, giunge un ulteriore contributo da Sud che allaga le zone Sud orientali dell'abitato ed il lembo orientale della zona artigianale.
- La frazione di Limidi viene interessata dopo circa 7h, nella sua parte centro orientale; mentre la relativa zona artigianale è esclusa.
- Il massimo allagamento si raggiunge dopo circa 13h per Soliera capoluogo e dopo circa 15h per Limidi.
- Le velocità di propagazione dell'acqua attraverso la campagna raramente superano i 30 cm/s, ad eccezione ovviamente della zona prossima alla breccia arginale e dei punti in cui i rilevati stradali vengono traccimati, venendo di fatto a funzionare quali soglie sfioranti.

ALLEGATO – Report documentale e fotografico di alluvioni storiche in Comune di Soliera

ALLUVIONE 14 NOVEMBRE 1862

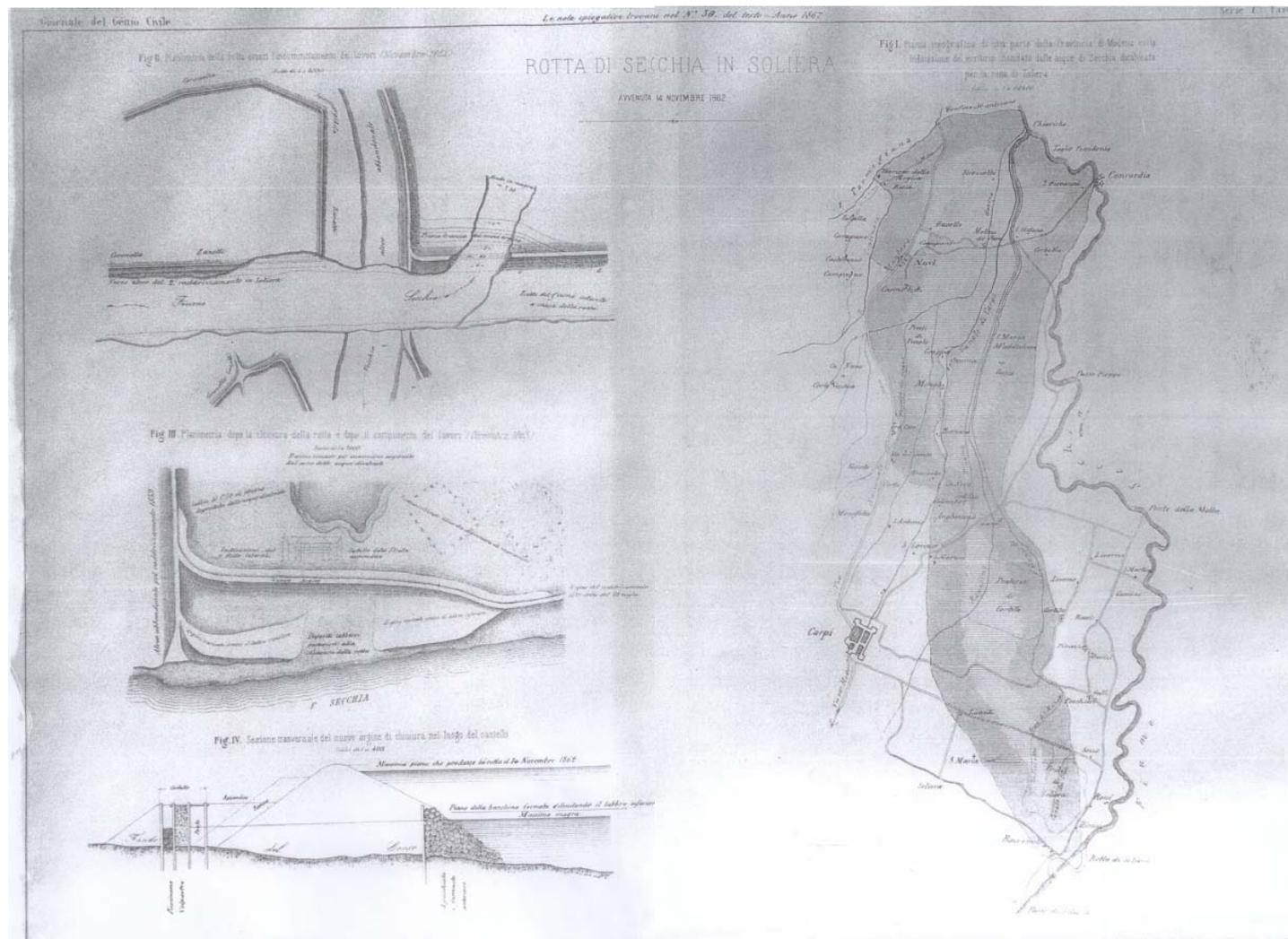


Fig. A0 – Estratto del Giornale del Genio Civile Anno 1867, descrittivo della rotta arginale a monte della fraz. Sozzigalli (Stradello Rotta) e degli interventi di ripristino succedutisi.

COMUNE DI SOLIERA
PROVINCIA DI MODENA

All'On. MINISTERO DEI LL.PP.	- <u>ROMA</u>
All'On. MINISTERO AGRICOLTURA E FORESTE-	<u>ROMA</u>
A S.E. IL PREFETTO DELLA PROVINCIA DI	<u>MODENA</u>
Ai Sigg. On. PARLAMENTARI MODENESI	- <u>MODENA</u>
ALL'UFFICIO GENIO CIVILE di	<u>MODENA</u>
ALL'ISPETTORATO PROV. AGRICOLTURA - Via Taglio 24	<u>MODENA</u>
ALL'UFFICIO MAGISTRATO PER IL PO - Ufficio Idrografico per il Po - Strada Garibaldi 75	<u>PARMA</u>
ALLA BONIFICAZIONE PARMIGIANA MOGLIA	<u>REGGIO EMILIA</u>

Mi prego trascrivere qui di seguito l'ordine del giorno approvato all'unanimità da questo Consiglio Comunale nella seduta del 15 Novembre 1966 in merito all'oggetto: "Situazione venutasi a determinare in seguito all'alluvione del 4 Novembre - Proposte e provvedimenti del caso":

IL CONSIGLIO COMUNALE

Udita la relazione del Presidente:

- fa propri gli O.d.G. votati dal Consiglio Provinciale in seduta n. 9 del 9 Novembre 1966 - oggetto n. 36 - "Danni conseguenti ad alluvioni- Provvedimenti" -;
- ricorda che il Comune ebbe a subire una alluvione, la più recente, nel 1960, per la rottura degli argini del Secchia, in località Sozzigalli;
- richiama gli organi preposti allo scopo sulla necessità di un rapido intervento per riparare gli argini del fiume Secchia, non solamente ove sono avvenute rotture, ma in tutti i luoghi (e sono moltissimi) ove la rapida corrente li ha corrosi, ed ove si sono aperti pericolosi "fontanazzi", che indubbiamente, nel caso deprecato di una altra piena del fiume, determinerebbero la caduta in quei punti degli argini stessi;
- ricorda che il COMUNE DI SOLIERA è fiancheggiato, per tutta la sua lunghezza, dal fiume Secchia ed è perciò più esposto degli altri ad allagamenti in seguito a rottura degli argini;
- prega le Autorità di intervenire efficacemente presso gli Enti di Bonifica perchè i canali di loro proprietà siano tenuti sgombri di modo che le acque possano defluire liberamente e con rapidità;
- invita gli organi tecnici a por mente al fatto che il fiume Secchia, in alcuni punti, è divenuto tanto stretto da non permettere un rapido deflusso delle acque;
- fa riferimento a precedenti studi compiuti in merito alla sistemazione dell'alveo del fiume Secchia, che potrebbero, come si ritiene, essere di valido ausilio per potere intervenire con rapidità e compiere i lavori che scongiurino il ripetersi di alluvioni".

IL SINDACO

Fig. A1 - Estratto Verbale C.C. del 15/11/1966 riunitosi a seguito dell'alluvione.



Fig. A2 – Soliera, Novembre 1966, Via Roma. Mettendo al riparo il bestiame.



Fig. A3 – Soliera, Novembre 1966, Via Arginetto incrocio Via Vaccheria.



Fig. A4 – Soliera, Novembre 1966, Via Arginetto incrocio Via Vaccheria.



Fig. A5 – Soliera, Novembre 1966, Via Vaccheria.



Fig. A6 – Soliera, Novembre 1966, Via Marconi, sede Coop Muratori.



Fig. A7 – Soliera, Novembre 1966, Via Grandi.



Fig. A8 – Soliera, Novembre 1966, Via Matteotti.



Fig. A9 – Soliera, Novembre 1966, Via Grandi incrocio Via Leopardi.



Fig. A10 – Soliera, Novembre 1966, Via Marconi, Parco Campori.



Fig. A11 – Soliera, Novembre 1966, Via Roma vista dal Castello; si nota il limite delle aree allagate che non raggiunge la quota del centro storico.



Fig. A12 – Soliera, Novembre 1966, Via Grandi dal tetto del "palazzone".



Fig. A13 – Soliera, Novembre 1966, Via Grandi, retro del "palazzone".



Fig. A14 – Soliera, Novembre 1966, Vista in direzione Sud-Est dal tetto del "palazzone".



Fig. A15 – Soliera, Novembre 1966, Vista in direzione Est dal tetto del "palazzone".



Fig. A16 – Soliera, Novembre 1966, Vista in direzione Sud-Est dal tetto del "palazzone".



Fig. A17 – Soliera, Novembre 1966, Vista in direzione Est dal tetto del "palazzone".



Fig. A18 –Soliera, Novembre 1966, Vista in direzione Nord dal tetto del "palazzone", Via Palazzina.



Fig. A19 –Soliera, Novembre 1966, Vista in direzione Ovest dal tetto del "palazzone", Via Grandi.



Fig. A20 – Soliera, Novembre 1966, Passo dell'Uccellino.



Fig. A21 – Soliera-fraz.Limidi, Novembre 1966, Via Carpi-Ravarino incrocio Via Gambisa.

- Tutte le riprese fotografiche riportate a cura del Geom. Salvaterra (1966). Archivio Comune di Soliera -