

PROVINCIA DI MODENA

COMUNE DI SOLIERA

Analisi modellistica degli effetti sull'abitato di Sozzigalli dello scioglimento dell'argine maestro di contenimento posto in sinistra idrografica del fiume Secchia

Relazione Tecnica-Illustrativa

INDICE:

1. PREMESSA	2
2. IL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO E LE PORTATE DI RIFERIMENTO.....	5
3. IL MODELLO DI SIMULAZIONE NUMERICA.....	8
4. ANALISI SIMULAZIONI SENZA ELEMENTI DI PROTEZIONE DELL'ABITATO.....	28
5. ANALISI SIMULAZIONI CON ELEMENTI DI PROTEZIONE DELL'ABITATO	30
6. CONCLUSIONI	32

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 di un settore del territorio comunale di Soliera in fregio al Fiume Secchia.

Si tratta della frazione Sozzigalli che in merito alla pianificazione urbanistica necessita di adeguamenti territoriali morfologici in grado di metterla in sicurezza nei confronti di eventuali cedimenti delle arginature pensili che interessano tutto il confine Est del territorio comunale.

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 ridoddi 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 della Frazione di Sozzigalli (Soliera) (sponda sinistra del Fiume Secchia) esistono per tratti consistenti, ad una certa distanza dal piede dell'argine rilevati stradali e ferroviari la cui altezza mediamente di 1 metro costituisce ostacolo alla propagazione dell'onda o quanto meno determina un'attenuazione della spinta distruttiva.

Pertanto si è proposta in questa sede una revisione della zonizzazione della criticità idraulica del territorio escludendo dal vincolo tutte quelle zone risultanti morfologicamente "alte" o quelle aree a valle di strutture territoriali che di fatto le proteggono (vedi Cartografia)

Ad ogni buon conto, se anche non si tenesse conto della presenza di elementi morfologici continui frapposti tra il Fiume Secchia e l'area di Sozzigalli, si evidenzia come la distanza sia tale da provocare, nel caso di crollo istantaneo dell'arginatura di Secchia e di contestuale portata defluente in alveo di circa 900 mc/s, un tirante idrico sul terreno variabile tra 50 e 150 cm (in corrispondenza del perimetro esterno dell'abitato) ed avendo considerato che nella zona, l'arginatura pensile del Secchia, appartiene alla classe di altezza compresa tra 0 e 5 metri. Questa condizione non desta preoccupazione in quanto esiste lungo il limite di Sozzigalli un alto morfologico ulteriormente enfatizzabile con la realizzazione di un argine di protezione perimetrale di altezza, localmente, intorno ai 2 metri.

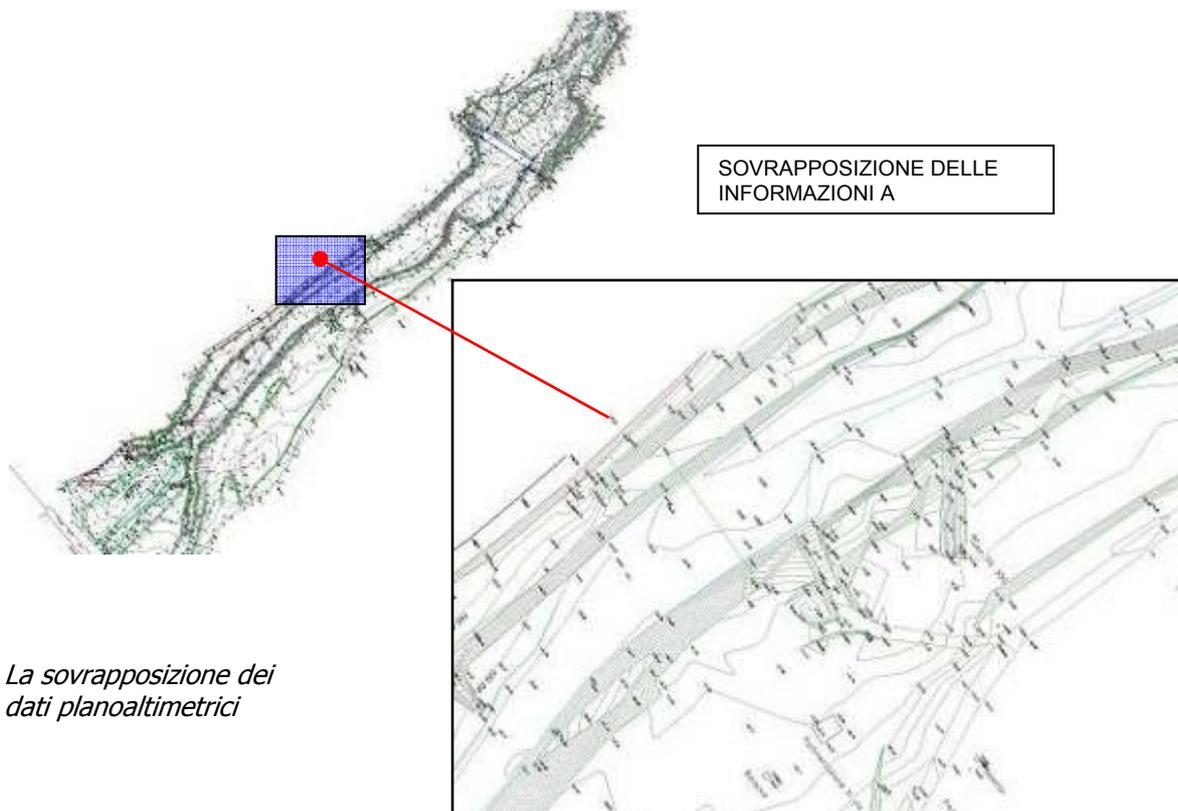
2. IL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO E LE PORTATE DI RIFERIMENTO

2.1 Modello digitale del terreno

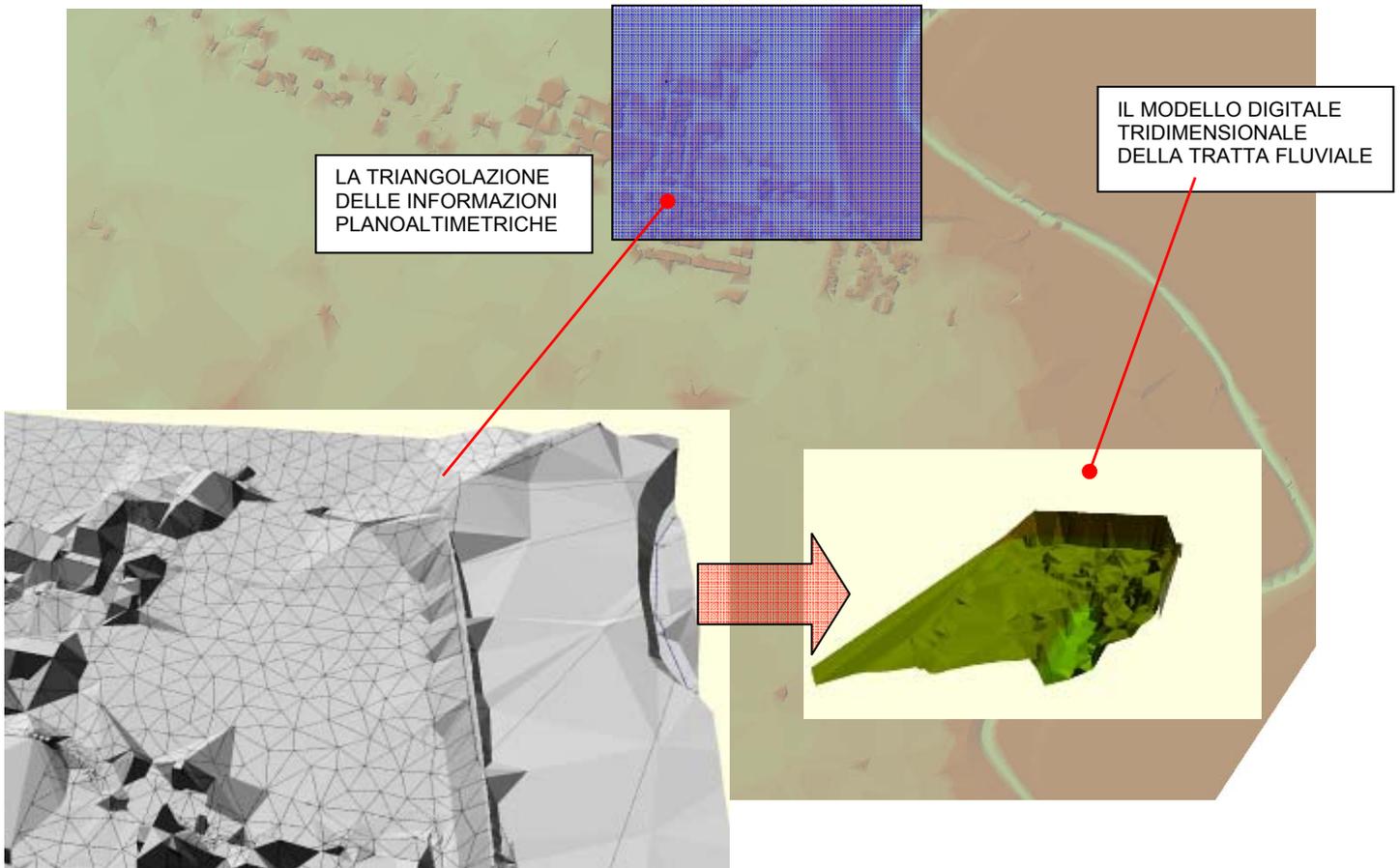
Il modello digitale del terreno nella tratta di interesse in un intorno sufficientemente esteso dell'abitato di Sozzigalli è stato ottenuto operando successivi "merge" di informazioni plano-altimetriche provenienti da fonti differenti:

- 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:



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:



La creazione del modello digitale del terreno

2.1 Le portate di riferimento

Le condizioni al contorno per il modello idraulico utilizzato sono:

- 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 nella quota di partenza ed è posta nella sezione, ubicata in corrispondenza del confine Nord di Soliera.

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 la Sezione "110" e la Sezione 130.

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. In definitiva avremo, 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 "110", per il tempo di ritorno $T = 200$ anni e la portata pari a 750 mc/s, la quota idrica di partenza è stata desunta dai livelli idrometrici forniti dalla Direttiva del '99 dell'Autorità di Bacino del Po.

3. IL MODELLO DI SIMULAZIONE NUMERICA

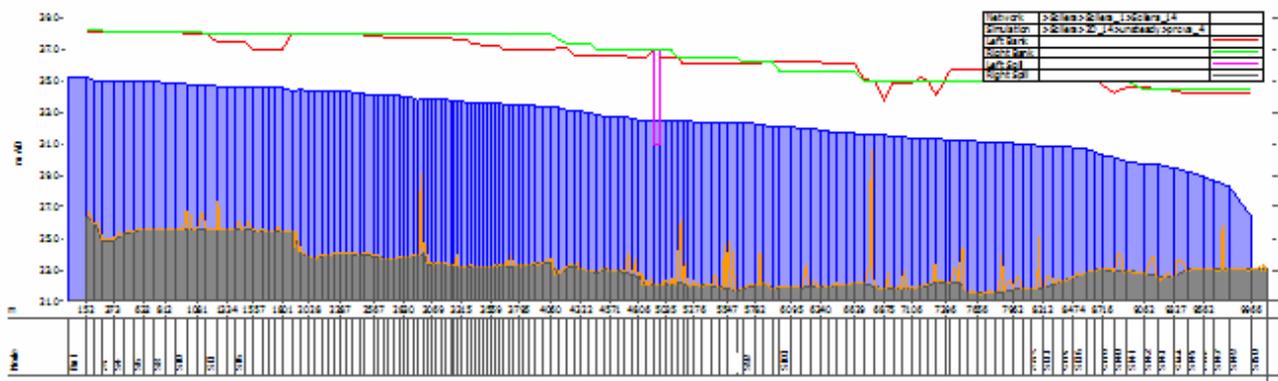
3.1 – Generalità

Come accennato nella premessa, la simulazione dei principali effetti idraulici associati alla tratta di alveo oggetto di sistemazione idraulica finalizzata al ripristino dell'equilibrio del fiume Secchia in funzione degli aspetti specifici legati al trasporto solido è stata effettuata a partire dal modello digitale della tratta fluviale specifica 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 - TATTO ESAMINATO

Il fiume Secchia nel tratto in esame ha uno scorrimento pensile tra arginature maestose che spiccano di diversi metri rispetto al piano campagna: la prima sezione in esame, Sezione 1, rilevata in prossimità del ponte dell'Uccellina, ha una quota fondo alveo di circa **26.5 m s.l.m.**; l'ultima sezione del tratto esaminato, Sezione 150, posta circa a tre km a valle del ponte di Sozzigalli, ha una quota di fondo alveo di circa **23.1 m s.l.m.**



Il dislivello del tratto in esame è di m 3.4; la sua lunghezza è di circa 10 km; la pendenza media del tratto in esame si attesta intorno a valori dello 0,035%

Viste le deboli pendenze che caratterizzano la tratta di fiume interessata dalla simulazione è possibile stabilire che il transito della corrente nelle diverse tratte considerate avvenga in condizioni idrauliche di corrente *lenta*.

Di seguito si riporta in una tabella i valori caratteristici, dal punto di vista idraulico, del tratto in esame.

Quota fondo alveo Sezione 1	26.5 m s.l.m.
Quota fondo alveo Sezione 20	23.1 m s.l.m.
Dislivello tratto	3.4 m
Lunghezza tratto	10.000 m
Pendenza media	0,035%

Valori caratteristici del tratto in esame

Lungo il tratto esaminato sono stati riscontrati due manufatti, le cui denominazioni sono riportate nella tabella seguente, anche se le simulazioni effettuate prescindono, per ora, dal ruolo specifico dei manufatti ritenuti in definitiva poco influenti ai fini delle analisi di allagamento richiesto dall'Amministrazione Comunale di Soliera:

UBICAZIONE	MANUFATTO
Comune di Soliera	Ponte dell'Uccellina
Comune di Soliera	Ponte di Sozzigalli

Manufatti caratteristici nel tratto in esame

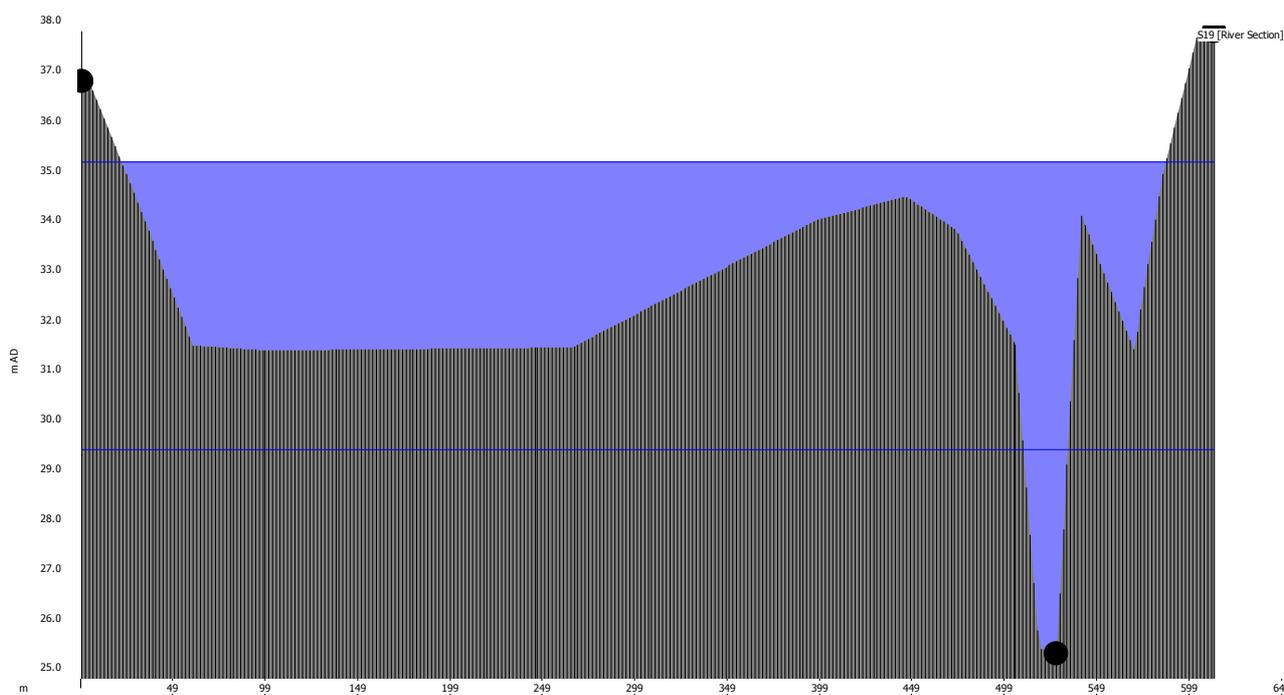
3.3 - SEZIONI TRASVERSALI

Il tratto interessato alla verifica idraulica è stato schematizzato mediante sezioni trasversali alla direzione di flusso della corrente, in osservanza alle leggi idrauliche e al modello idraulico utilizzato.

Le sezioni sono state definite a partire dal modello digitale del terreno ricostruito in maniera diffusa sul territorio analizzato e nello specifico con particolare perizia ad ogni discontinuità idraulica rilevante (cambio di scabrezza dell'alveo, cambio di pendenza del fondo alveo, ...) presente lungo il tratto in esame.

Sul "ground model" digitale creato partendo dalle informazioni planoaltimetriche reperibili sulla tratta di fiume oggetto dello studio sono state individuate 150 sezioni significative alla simulazione fluviale in relazione alla morfologia e alla specifica collocazione planimetrica; altri punti specifici sono stati funzionali alla definizione delle condizioni al contorno.

Le sezioni rappresentano sia l'alveo attivo del fiume che le aree golenali:

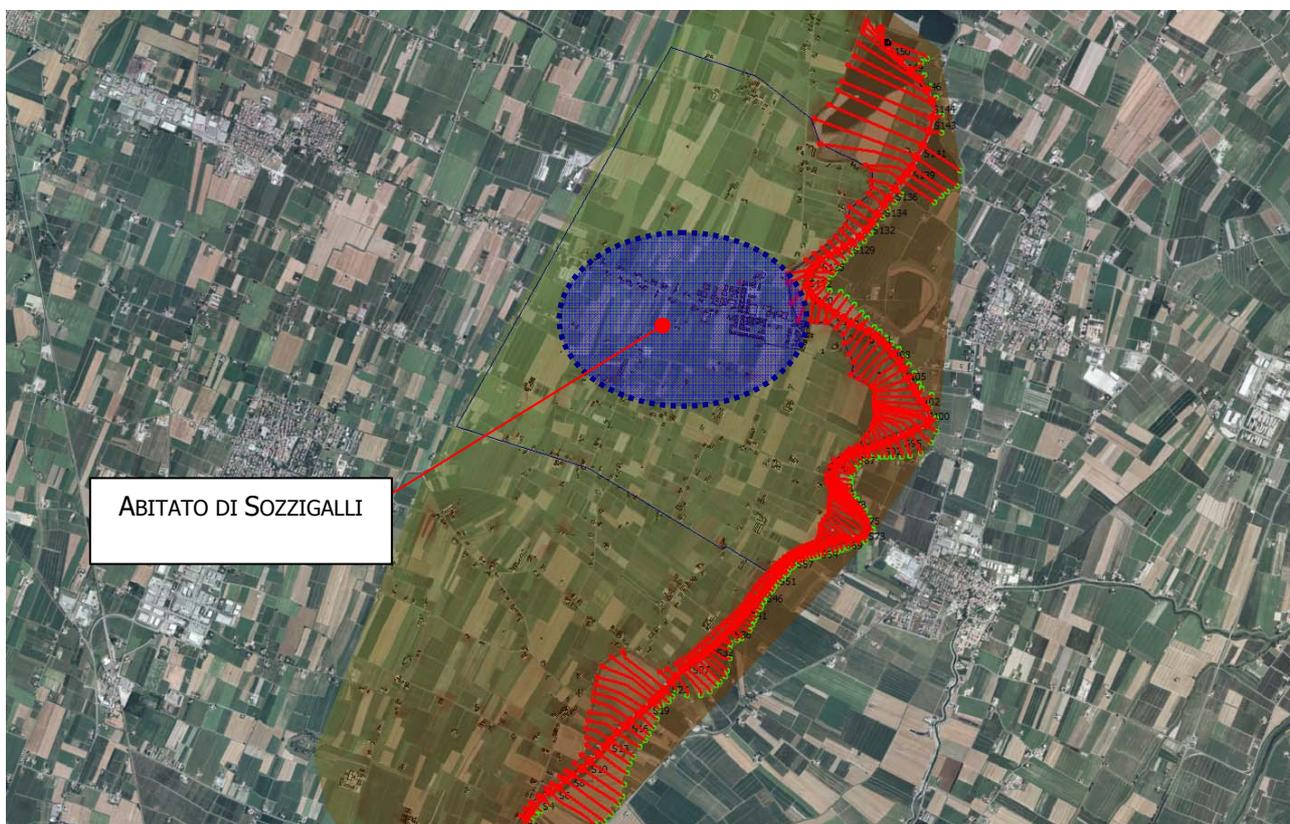


Esempio di sezione definita a partire dal ground model ricostruito.

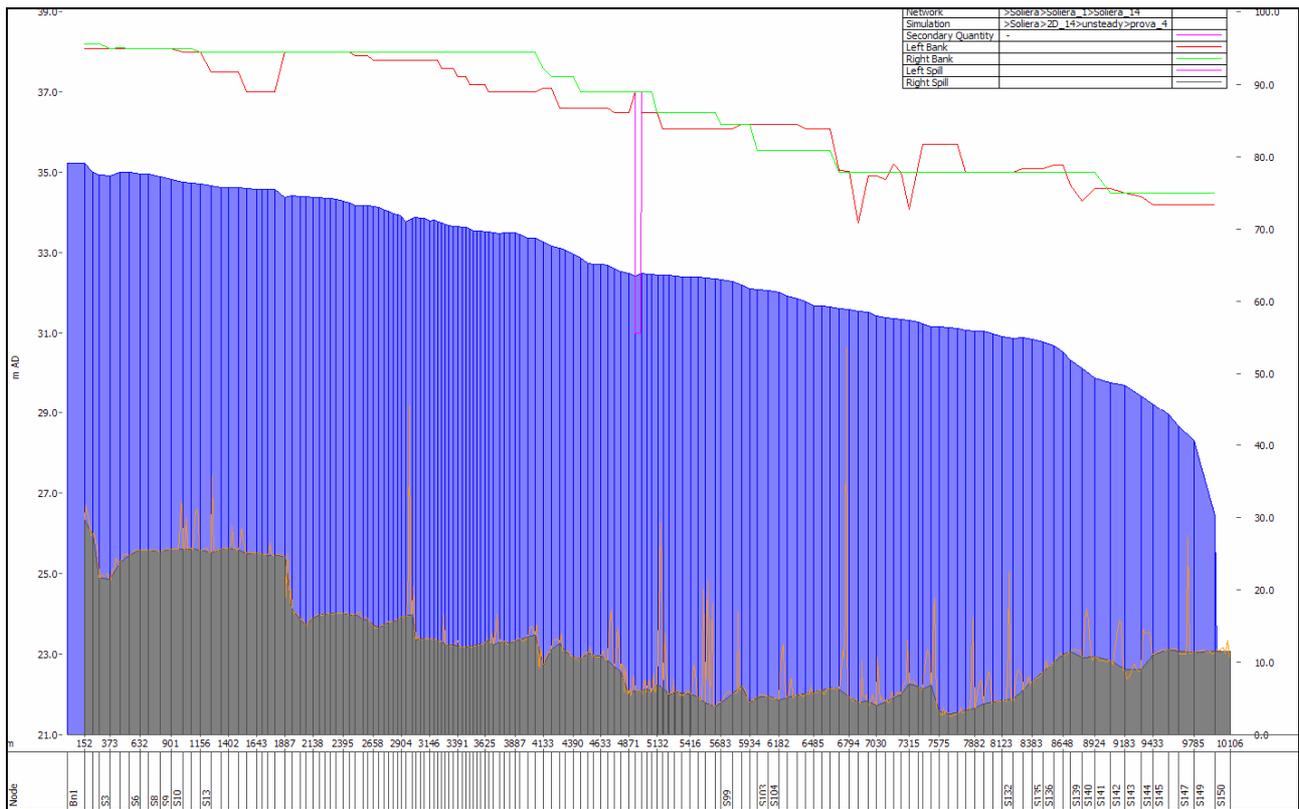
Le grandezze topografiche caratteristiche di alcune sezioni reputate particolarmente importanti, con il relativo profilo di fondo, sono state verificate dai sopralluoghi appositamente effettuati in zona al fine di verificare per il tratto in esame sia le grandezze geometriche della sezione, ricavate dalla ricostruzione del modello digitale del terreno, sia le grandezze idrauliche (scabrezza dell'alveo di magra e delle banchine) e sia, infine, per acquisire ulteriori elementi utili all'interpretazione del processo idrodinamico nella sua globalità, al fine di verificare la correttezza dei risultati del modello idraulico utilizzato.

Come appena anticipato in tutto sono state individuate 150 sezioni ad una distanza media di 65 metri; la distanza minima è di 25 metri e quella massima di circa 75 metri.

Le 150 sezioni imposte sono state numerate con numeri crescenti a partire dalla sezione di monte verso valle; le sezioni interpolate dal modello hanno il numero progressivo della sezione di monte con uno o due punti esclamativi per distinguerla da quella imposta dal modellista. Nelle seguenti immagini si illustrano le sezioni utilizzate per la verifica idraulica; nel profilo risulta evidente la loro distanza parziale (valutata rispetto all'alveo inciso):



Sezioni e del tratto esaminato



Profilo longitudinale del tratto esaminato stato di fatto

Da quanto rilevato si evince come progredendo verso valle le pendenze nei tratti non interessati dai manufatti si mantengono nell'ordine di qualche unità per mille con evidenti tratte in contropendenza che giustificerebbero l'ipotesi di considerare la corrente in tali tratte, dal punto di vista idraulico, *lenta*; tale ipotesi costituirà una condizione al contorno del modello idraulico utilizzato per la determinazione del profilo idrico in moto permanente, che sta alla base delle successive verifiche in motovario.

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

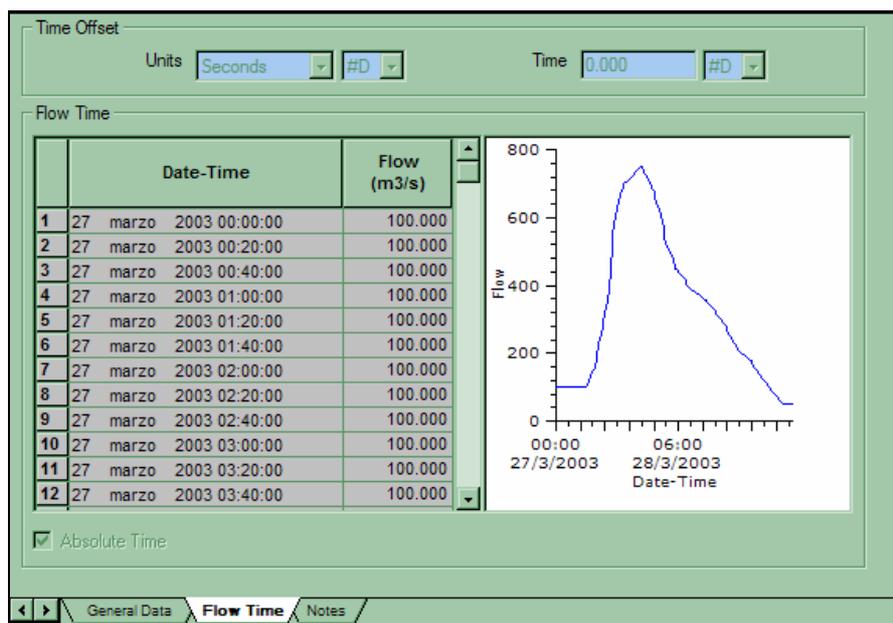
Le condizioni al contorno per il modello idraulico utilizzato sono:

- condizione al contorno di monte: consiste nella portata di piena ed è posta in corrispondenza del "Boundary Node" 1 posto circa 700 m a valle rispetto al ponte dell'Uccellina.
- condizione al contorno di valle: consiste nella quota di partenza ed è posta a valle della Sezione 150 posta circa tre km a valle rispetto al ponte sul Fiume Secchia della strada provinciale di Sozzigalli.

Osservazione: la considerevole estensione sia verso monte sia verso valle rispetto alle sezioni prese a riferimento per gli scenari di esondazione è da intendersi necessaria per conferire affidabilità all'informazione delle simulazioni effettuate; infatti risulta noto come le condizioni al contorno di un modello di simulazione numerica fluviale siano condizioni "imposte" per lo più per conferire stabilità al codice numerico. Per tale ragione maggiormente ci si allontana dalle sezioni in cui le condizioni risultano imposte e in definitiva manipolate maggiore è il grado di affidabilità ottenuto.

La portata di piena considerata è quella precedentemente definita nelle considerazioni di cui al paragrafo 2 della presente relazione tecnica:

$$Q_{\text{piena}} = 750 \text{ mc/s.}$$



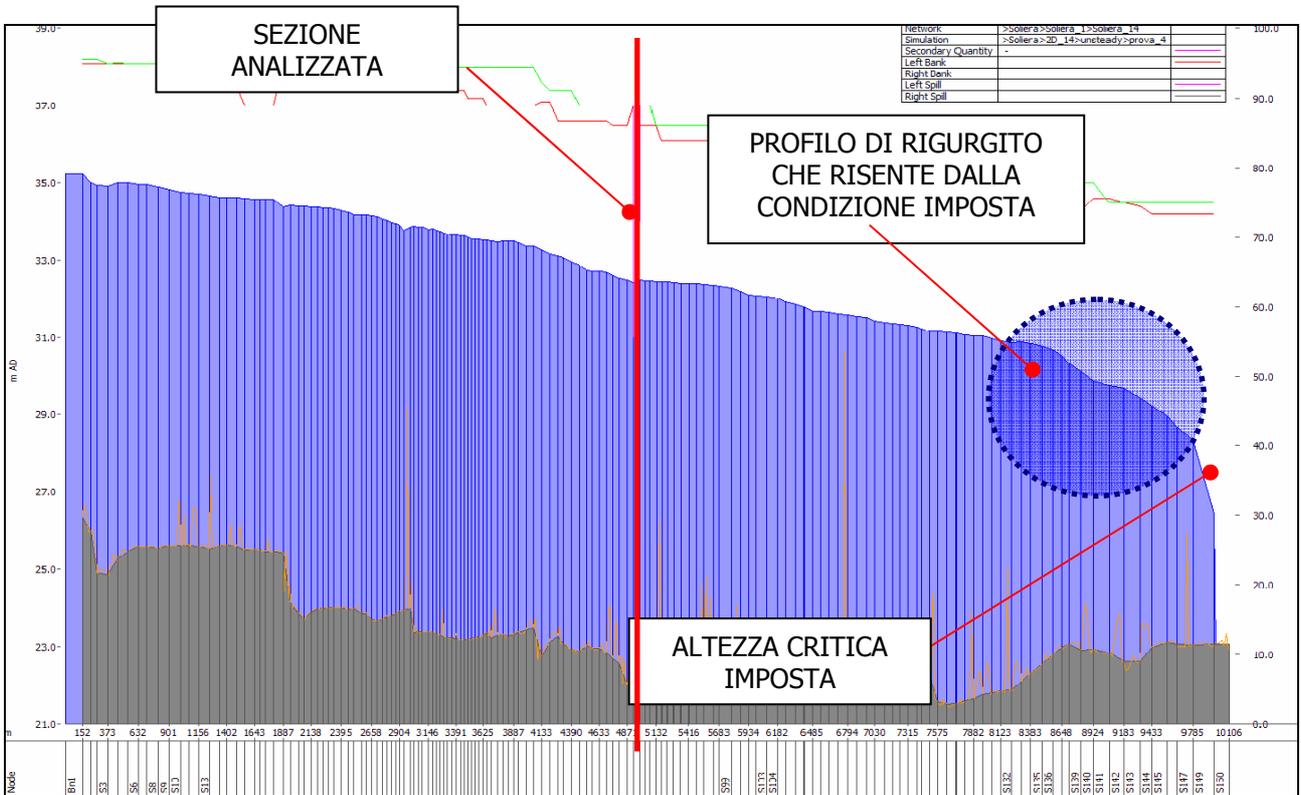
Idrogramma di "input" del modello di simulazione.

Per il modello idraulico utilizzato, la quota di partenza utilizzata non è strettamente importante nel senso che maggiore è la distanza del tratto esaminato meno si fa sentire l'influenza del valore della quota di partenza; nel nostro caso tra la Sezione 01 e la Sezione 150 ci sono circa 10 km.

Il modello calcola una "normal depth" in relazione alle condizioni iniziali di portata -100 mc/s- stabilendo per gli steps successivi le condizioni di altezza di valle che consentono la propagazione verso monte del profilo di rigurgito.

Osservazione: la portata iniziale pari a 100 mc/s è una portata "forzata" per far sì che il livello in alveo sia tale da non risentire, almeno negli istanti iniziali di modellazione numerica, delle contropendenze

naturalmente esistenti nella tratta analizzata; nelle sezioni terminali la "boundary condition" imposta per conferire al modello la massima stabilità è tale da realizzare un transito all'altezza critica:



La condizione al contorno di valle e i suoi effetti sul profilo di rigurgito.

Gli effetti della condizione al contorno di valle –transito all'altezza critica- si ripercuotono per circa un km verso monte diminuendo progressivamente il loro effetto; la sezione scelta per l'esonazione si trova a circa 5 km dalla sezione di valle

3.5 - 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

Per quanto riguarda i tratti di alveo naturale, per l'alveo inciso, in considerazione dello stato morfologico, granulometrico e della natura dei sedimenti, della presenza di vegetazione nelle aree golenali, del grado di sinuosità, si sono adottati i seguenti coefficienti:

$n_0 = 0.026$ per alveo costituito da alluvioni grossolane/fine
$n_1 = 0.000$ per irregolarità delle sezioni trascurabile
$n_2 = 0.005$ variazione bassa della forma e della dimensione della sezione trasversale
$n_3 = 0.005$ effetto trascurabile-moderato delle ostruzioni
$n_4 = 0.005$ effetto basso della vegetazione
$m_5 =$ grado di sinuosità dell'alveo

Elementi del coefficiente di scabrezza n di Manning per l'alveo inciso

Con tali valori si ottiene un valore medio del coefficiente di Manning per l'alveo inciso pari a **0.048** $m^{1/3} / s$.

Per il coefficiente di scabrezza delle aree golenali si è stimato un valore pari a **0.055** $m^{1/3} / s$ per il coefficiente di Manning.

La tabella seguente riassume i diversi coefficienti di Manning utilizzati.

CONDIZIONI FONDO	MANNING m ($m^{1/3} / s$)
ALVEO INCISO	0.048
BANCHINE	0.055

Coefficienti di scabrezza utilizzati

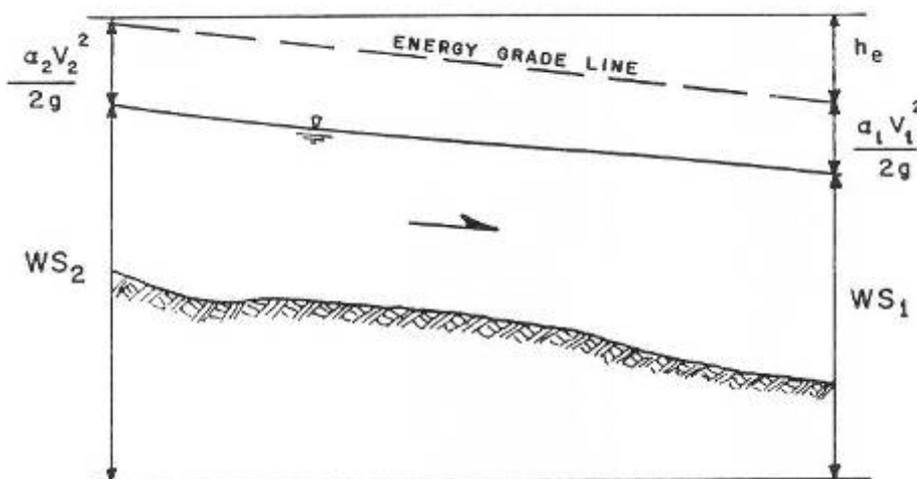
3.6 - MODELLO IDRAULICO UTILIZZATO

Le quote idriche, **in moto permanente**, sono state determinate mediante il modello idraulico utilizzato dal codice di calcolo di INFOWOKS RS realizzato dalla Walingford Software.

Il modello idraulico utilizzato dal programma INFOWOKS RS determina le quote della superficie idrica in un tratto d'alveo individuato da due sezioni mediante la risoluzione, tramite iterazioni successive, delle equazioni di conservazione dell'energia e delle perdite di carico:

$$WS_2 + A_2 V_2^2 / 2g = WS_1 + A_1 V_1^2 / 2g + h_e$$

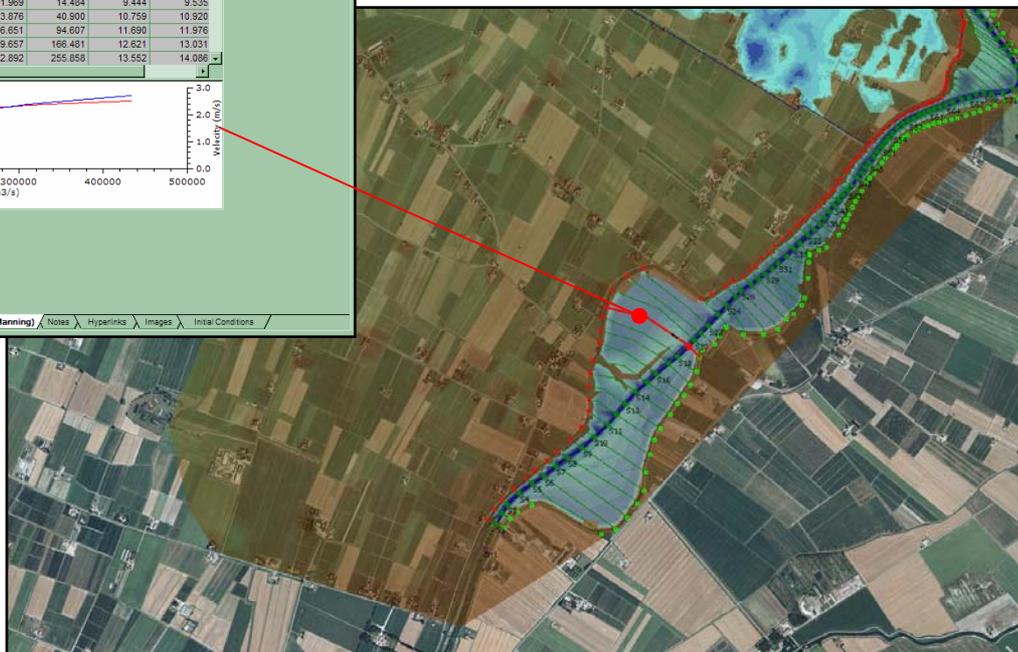
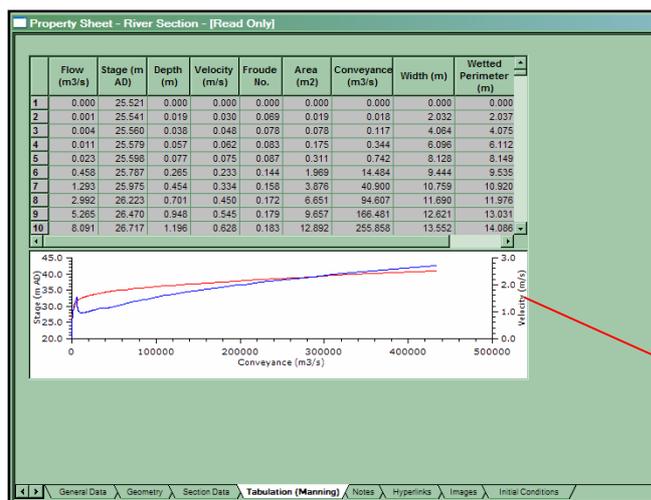
$$h_e = L i + C | A_2 V_2^2 / 2g - A_1 V_1^2 / 2g |$$



dove:

WS_1, WS_2	livelli idrici nelle sezioni, alle estremità del tratto considerato
V_1, V_2	velocità medie nelle sezioni, alle estremità del tratto considerato
A_1, A_2	coefficienti di correzione dell'energia cinetica nelle sezioni
h_e	perdite di carico totale nel tratto considerato
L	distanza del tratto considerato (tra due sezioni)
C	coefficiente di perdita per espansione o contrazione della vena fluida
i	pendenza del tratto considerato

Il modello per ciascuna sezione ricostruisce la scala di deflusso in funzione delle principali grandezze idrauliche (raggio idraulico, resistenze al moto, velocità, ecc.) inserite come input del modello numerico: la scala di deflusso rappresenta, in definitiva, sistema attraverso cui il modello istante per istante propaga verso valle l'idrogramma di piena, ricostruendo conseguentemente il profilo di rigurgito:



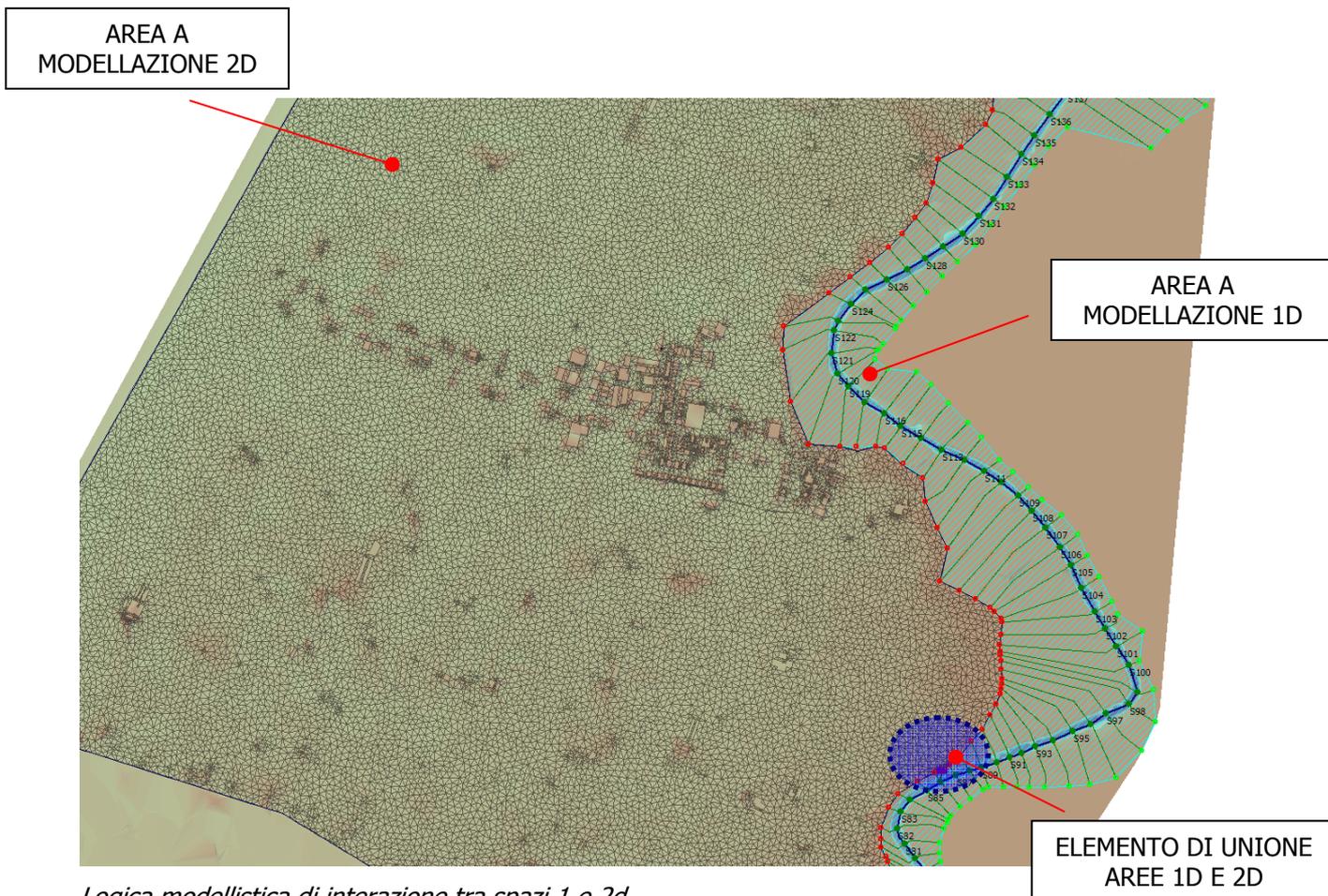
La ricostruzione delle scale di deflusso delle diverse sezioni

La simulazione in moto permanente dell'istante iniziale dell'evento di piena preso a riferimento costituisce uno degli input della successiva modellazione **in moto vario**; tale condizione costituisce uno degli elementi utilizzati dal simulatore per conferire "stabilità" ai successivi step della modellazione idraulica.

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

1. simulazioni monodimensionali
2. simulazioni bidimensionali

Le prime hanno riguardato la propagazione dell'onda di piena nell'alveo; le seconde hanno definito le caratteristiche dell'erosione sul piano campagna dopo il collasso della struttura arginale; da un punto di vista modellistico il "confine" tra un sistema di simulazione monodimensionali e uno bidimensionale è normalmente definito da un elemento specifico e caratteristico che definisce le modalità di interazione tra i due spazi logici differenti:



Logica modellistica di interazione tra spazi 1 e 2d

L'elemento di unione tra gli spazi logici 1 e 2D nel caso specifico è uno "spill" posto in corrispondenza della sezione d'argine di cui si è convenuto di simularne la rottura.

Detto elemento –spill- non è altro che un elemento del calcolo idraulico a cui vengono associate un insieme di equazioni che descrivono l'evoluzione nel tempo della fenomenologia specifica che si vuole simulare, nella fattispecie lo "scioglimento" dell'argine.

Da un punto di vista della successione degli steps di ricostruzione della fenomenologia idraulica complessiva si è dunque proceduto successivamente simulando via via le fenomenologie legate ai tre momenti principali di seguito elencati:

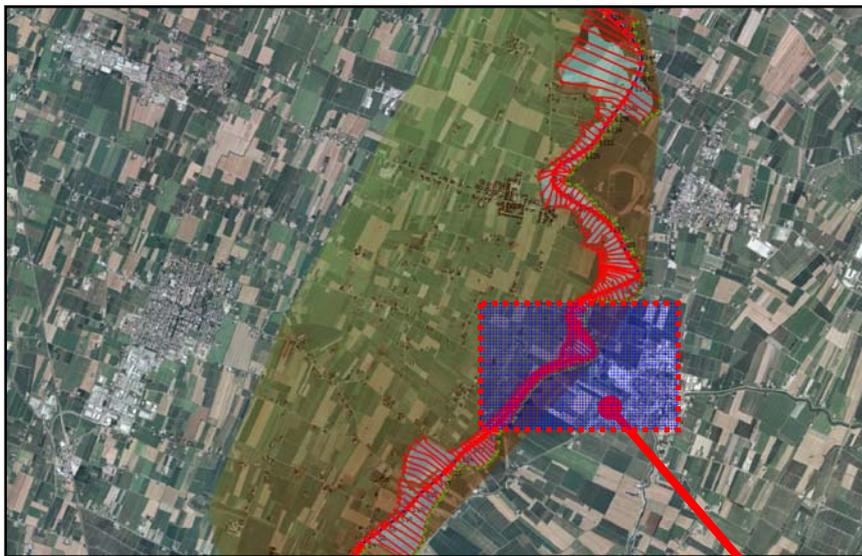
1. definizione delle caratteristiche del deflusso dell'onda di piena all'interno del sedime d'alveo (modellazione monodimensionale)
2. caratterizzazione della fenomenologia di crollo delle arginature
3. definizione delle caratteristiche dell'erosione sul piano campagna (modellazione bidimensionale)

3.7-DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL DEFLUSSO DELL'ONDA DI PIENA ALL'INTERNO DEL SEDIME D'ALVEO (MODELLAZIONE MONODIMENSIONALE)

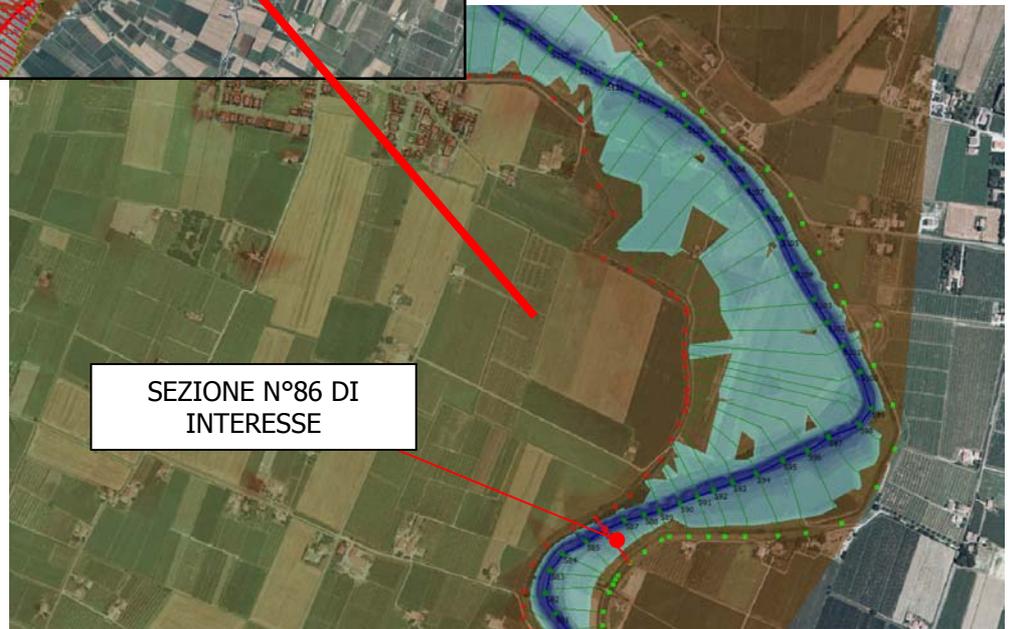
La ricostruzione monodimensionale delle leggi di deflusso in alveo avvengono applicando iterativamente le equazioni di de Saint Venant a partire dalle condizione al contorno fissate e prestabilite dal modellista.

Essendo il deflusso specifico in corrente lenta il modello propaga verso monte le altezze idrometriche ricostruendo istante per istante il profilo di rigurgito in funzione della portata specifica.

In assenza dell'ipotesi di rottura arginale il deflusso dell'onda di piena di 750 mc/s rimane confinata all'interno dell'area golenare definita in destra e in sinistra idraulica dall'andamento delle arginature maestre:



Il deflusso dell'onda di 750 mc/s all'interno dell'area golenare



Concluse le simulazioni di tipo numerico il modello può essere interrogato in merito all'andamento nel tempo delle principali grandezze caratteristiche di tipo idraulico ;

Gli elementi costitutivi del modello sono di due tipi:

- elementi puntuali –punti, sezioni ,nodi,-
- elementi lineari –rami spill link spill unit-

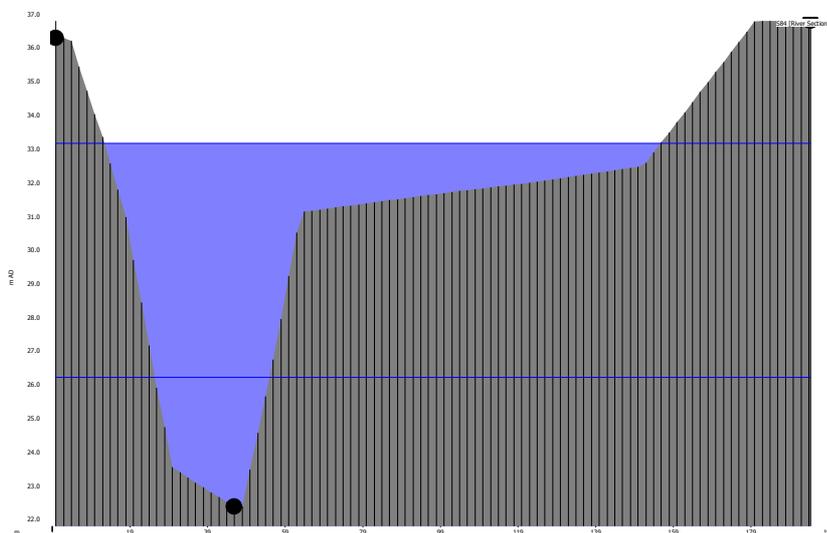
Gli elementi "speciali" quali bridge, weir, ecc... possono essere ricondotti da un punto di vista logico-modellistico a una delle precedenti categorie.

Con specifico riferimento al modello fluviale del Secchia nel Comune di Soliera, una volta ricostruita la legge di deflusso dell'onda di piena di riferimento -750 mc/s- in assenza di crollo arginale, da subito si è proceduto all'analisi delle caratteristiche del deflusso relativamente ad alcune sezioni ritenute "critiche" per caratteristiche peculiari, concentrando l'attenzione principalmente su due parametri di natura idraulica:

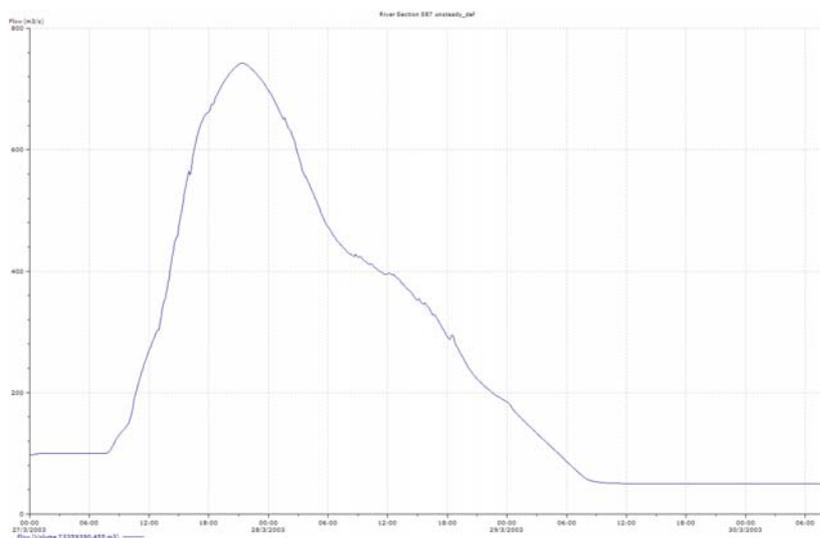
- stage –altezza idrometrica-
- velocità –velocità media di deflusso-

ritenendo che la combinazione dei due fattori sopra puntualizzati avrebbe fornito indicazioni in merito alla probabilità che in una sezione piuttosto che in un'altra potessero verificarsi le condizioni per il sifonamento e il successivo crollo arginale.

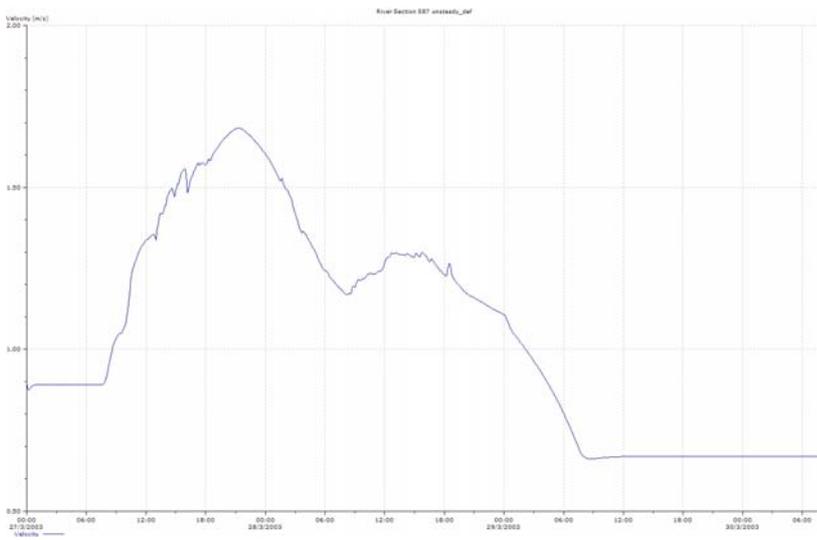
In particolare nella sezione N° 86 sopra evidenziata il modello evinceva un transitò dell'onda di piena con una velocità media di deflusso che tendeva ad essere di circa 0.5 m/s superiore alla media di quella delle altre sezioni; in concomitanza della medesima sezione l'altezza di deflusso tendeva ad imporsi ad un livello idrometrico tale da rendere in qualche modo "preoccupante" un eventuale crollo della parte di arginatura che spicca oltre a quella misurata per l'area golenare:



Livelli minimo e massimo di deflusso nella sezione N°86



Caratteristiche del deflusso dell'onda di piena -750 mc/s- nella sezione N°86



Velocità di deflusso nella sezione N°86

3.8-CARATTERIZZAZIONE DELLA FENOMENOLOGIA DI CROLLO DELLE ARGINATURE

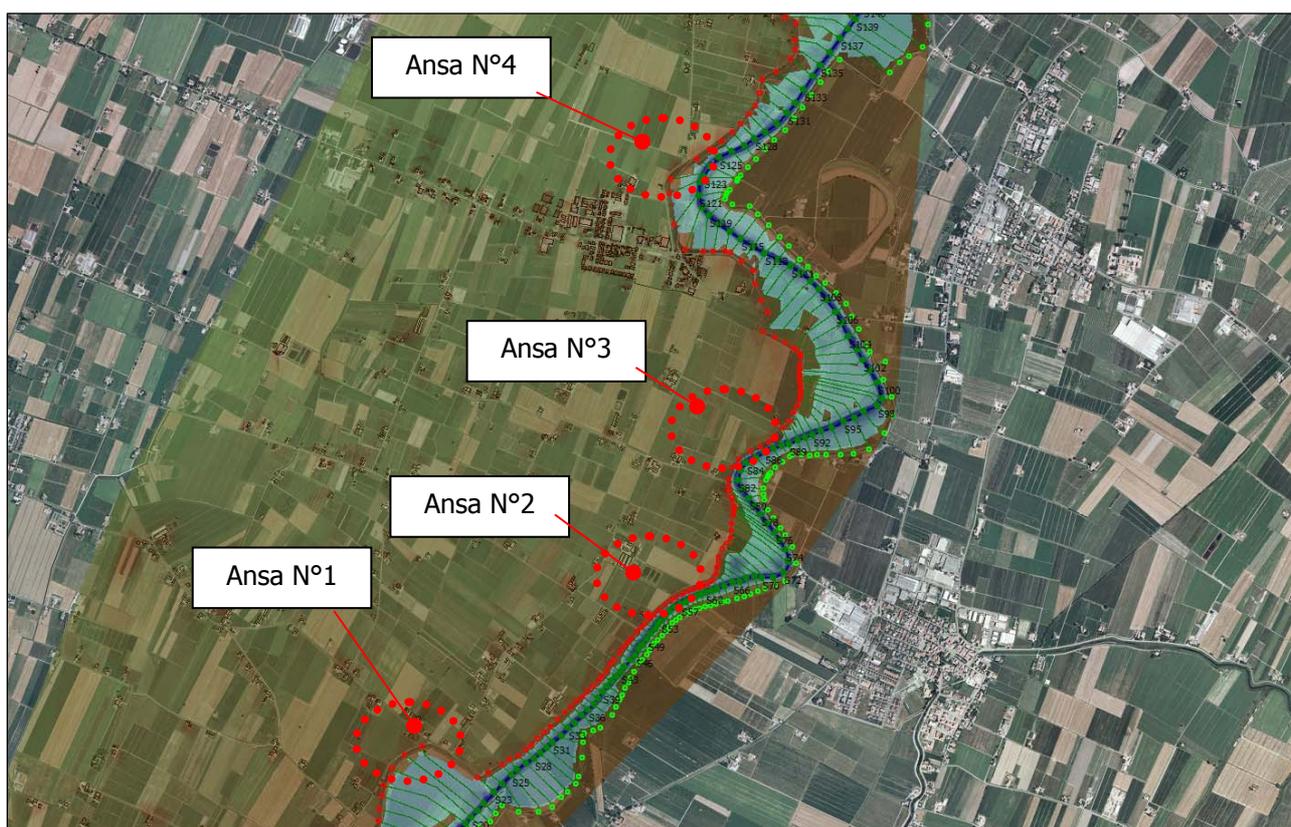
Un crollo "spontaneo" di un argine in materiale incoerente è un fenomeno che di norma può avvenire per due cause principali:

- 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.

Lo 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 idrografia del fiume Secchia.

In particolare l'attenzione è da subito ricaduta sulle anse golenari 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



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

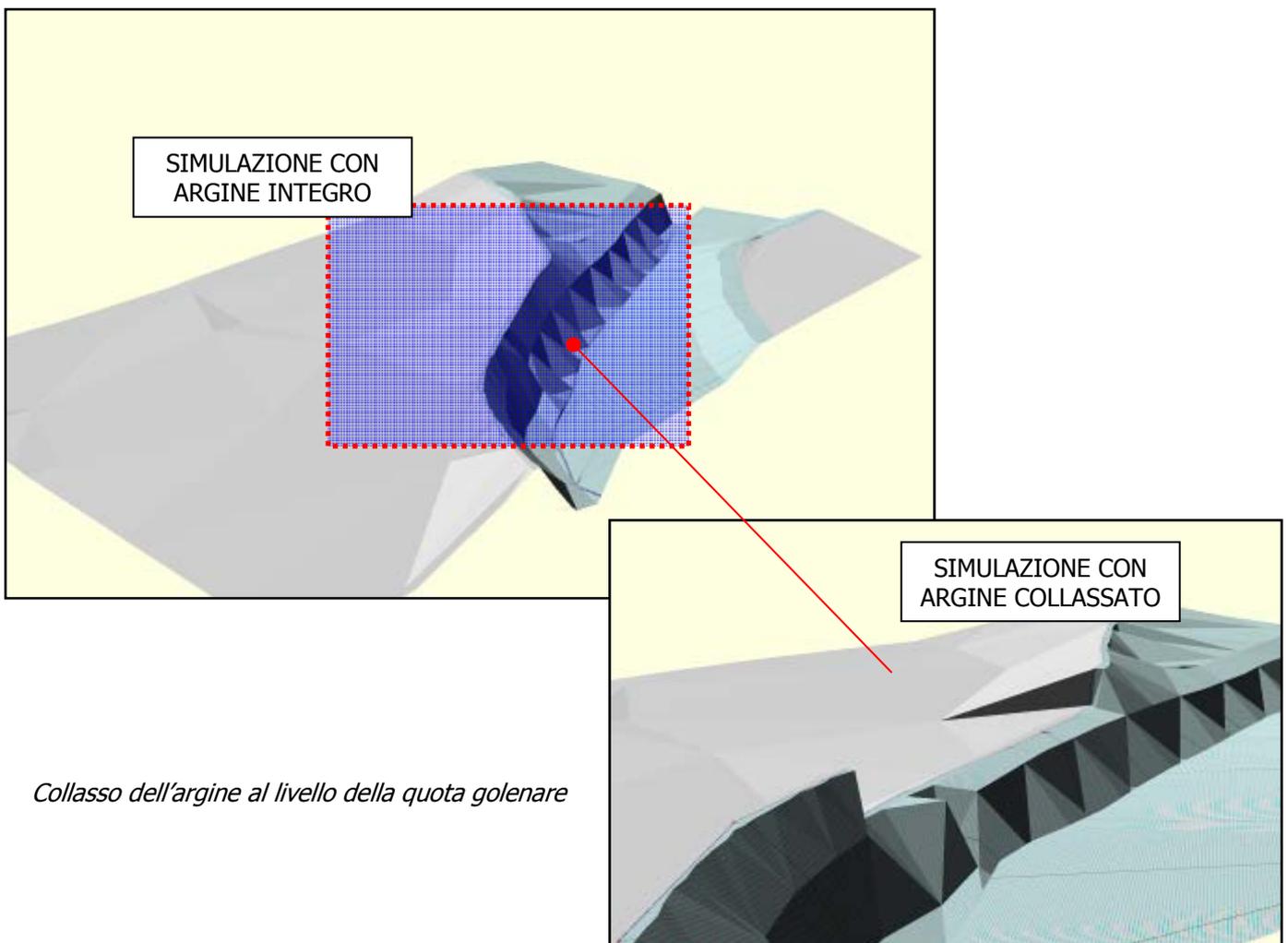
Con specifico riferimento alle quattro aree sopra evidenziate si riassumono le seguenti motivazioni qualitative supportate dalle simulazioni numeriche effettuate:

- l'argine in sx dell'ansa n°1 è stato ritenuto a rischio cedimento medio basso in quanto risulta essere posto in una zona di ampia golena dove si verificano velocità di deflusso sufficientemente lente e comunque tali da scongiurare fenomenologie erosive;

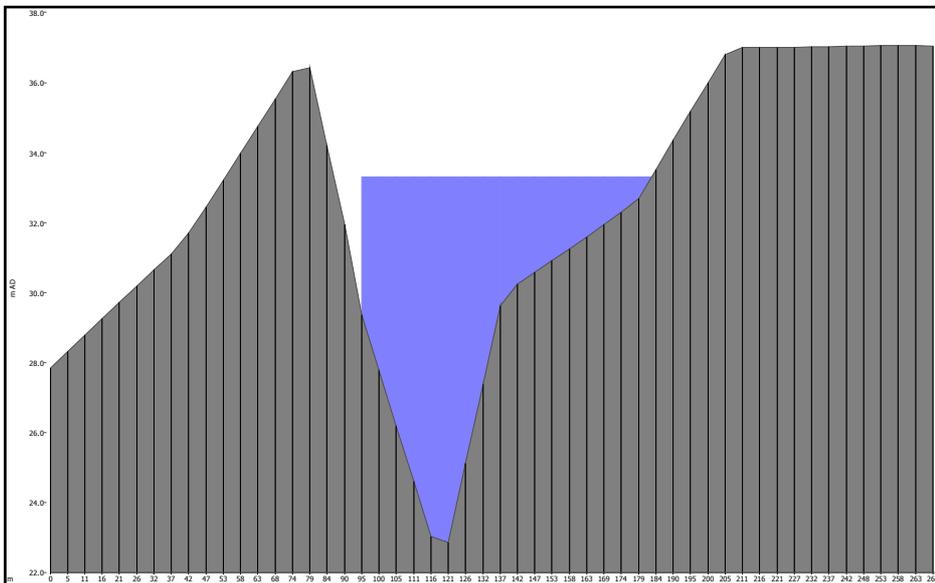
- l'argine in sx dell'ansa n°2 è stato ritenuto a rischio cedimento medio basso in quanto sufficientemente rettilineo e comunque posto a monte di un'area di golena dove la velocità di deflusso tende a rallentare limitando le fenomenologie erosive.
- l'argine in sx dell'ansa n°3 è stato ritenuto a rischio cedimento medio alto in quanto l'ansa risulta essere molto pronunciata e con velocità di deflusso che in concomitanza del transito dell'onda di piena tendono a sfiorare i 2 m/s;
- l'argine in sx dell'ansa n°4 è stato ritenuto a rischio cedimento medio alto ma fuori dal campo di interesse per l'indagine in corso per conto dell'Amministrazione Comunale.

In definitiva è stato imposto il crollo della struttura arginale al livello della sezione N°86 in corrispondenza dell'ansa N°3.

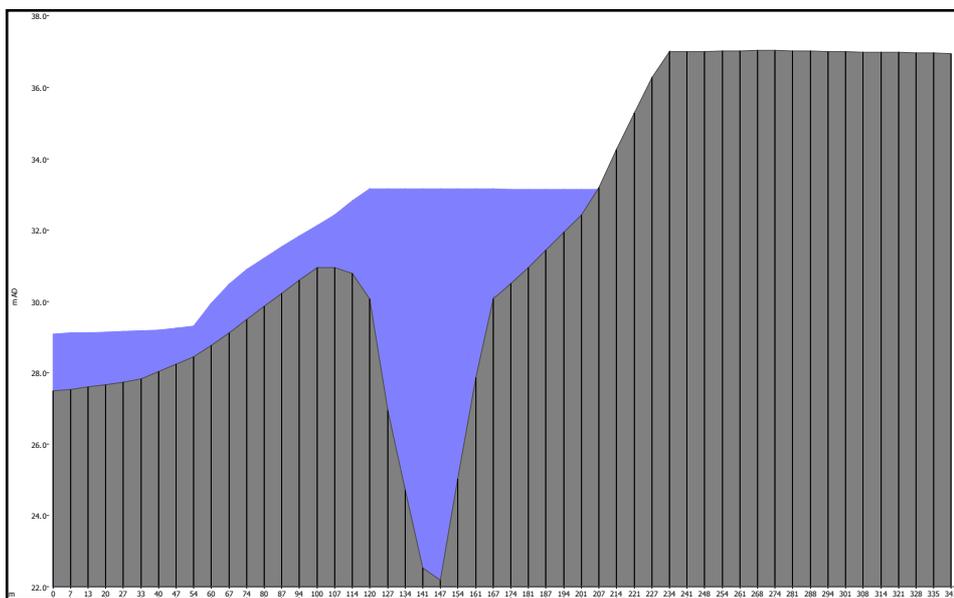
Nel caso specifico si è supposto che la rottura dell'argine avvenga per "sifonamento" -e non per tracimazione-, con sifoni impostati sulla quota del terrazzamento di golena. L'effetto finale è quello evidenziato nella seguente immagine:



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



Sezione N°86 prima del crollo arginale



Sezione N°86 dopo il crollo arginale

Come precedentemente indicato il "confine" modellistico tra aree 1d e 2d è rappresentato da uno "Spill" che conserva in se le equazioni che definiscono le "modalità" di interazione delle due aree logiche differenti; lo "spill" non è altro che un'equazione che definisce "come" avviene il "lancio" dell'acqua dal fiume alla territorio oggetto di esondazione: nella fattispecie l'equazione utilizzata risulta del tutto simile a quella di uno stramazzo laterale.

Il battente idrometrico sopra allo stramazzo varia in funzione sia dell'altezza idrometrica del fiume in alveo, sia in funzione del crollo successivo della sponda arginale.

3.9-DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELL'ESONDAZIONE SUL PIANO CAMPAGNA (MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE)

Nella seguente sequenza di immagini il modello simula il fenomeno dell'esonazione sul piano di campagna. La simulazione avviene per step successivi di calcolo applicando un codice numerico bidimensionale: la superficie di esondazione viene "mesciata" ovvero suddivisa in elementi triangolari tridimensionali ognuno dei quali rappresenta un elemento di calcolo dove il modello esegue il calcolo degli elementi idraulici rappresentativi del fenomeno dell'esonazione.

Per ciascun elemento del "mesch" 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'imput 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'esonazione:



*Simulazione dell'esonazione :
sifonamento dell'argine*



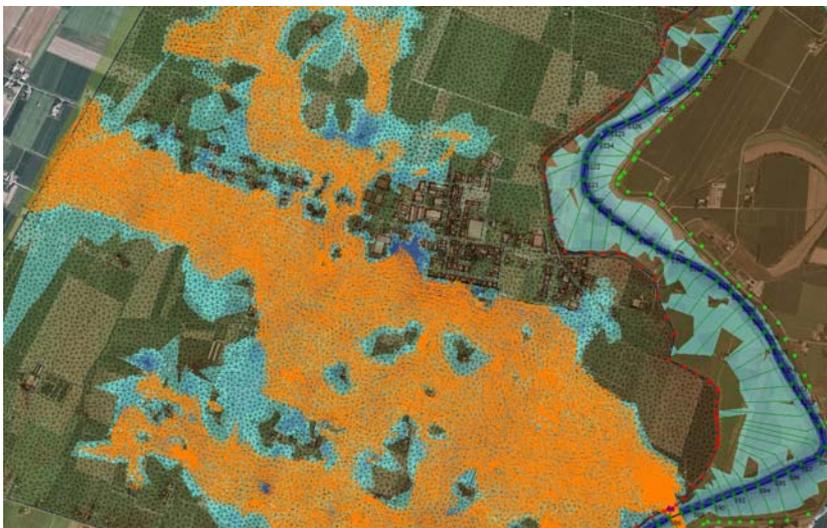
*Simulazione dell'esonazione :
crollo dell'argine*



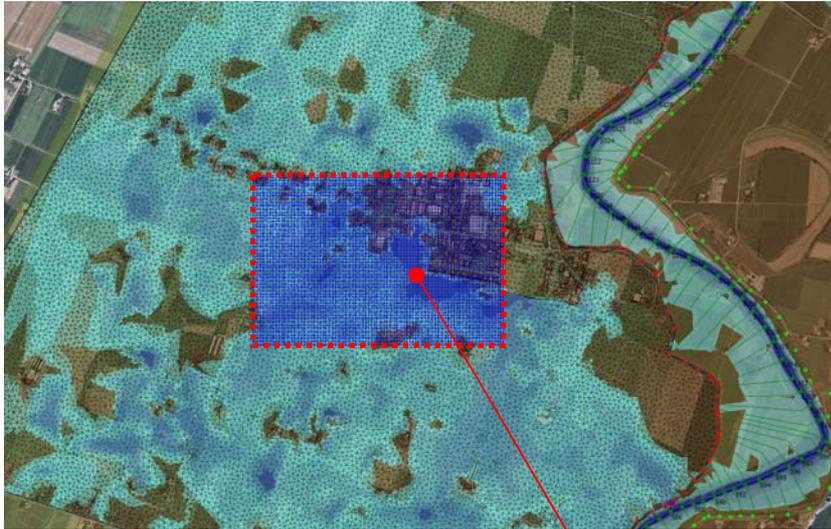
*Simulazione dell'esondazione :
dopo crollo si assiste ad una
rapida evoluzione della
fenomenologia*



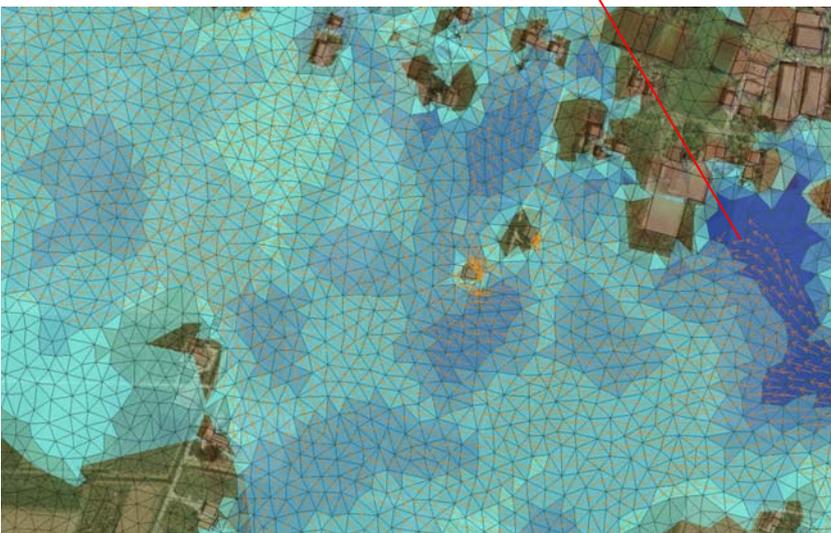
*Simulazione dell'esondazione :
dopo circa 1 h 30' l'onda di
piena raggiunge l'abitato di
Sozzigalli.*



*Simulazione dell'esondazione :
dopo circa 3 h 30' l'onda di
piena raggiunge il limite ovest
dell'area oggetto di simulazione*



Simulazione dell'esondazione : allagamento massimo dell'evento simulato si verifica circa dopo 12h dal crollo poco dopo il transito del picco dell'onda di piena



Simulazione dell'esondazione : altezza idrometrica massima: circa 1,65 m

3.10 – CONCLUSIONI.

La definizione della fenomenologia complessiva associata

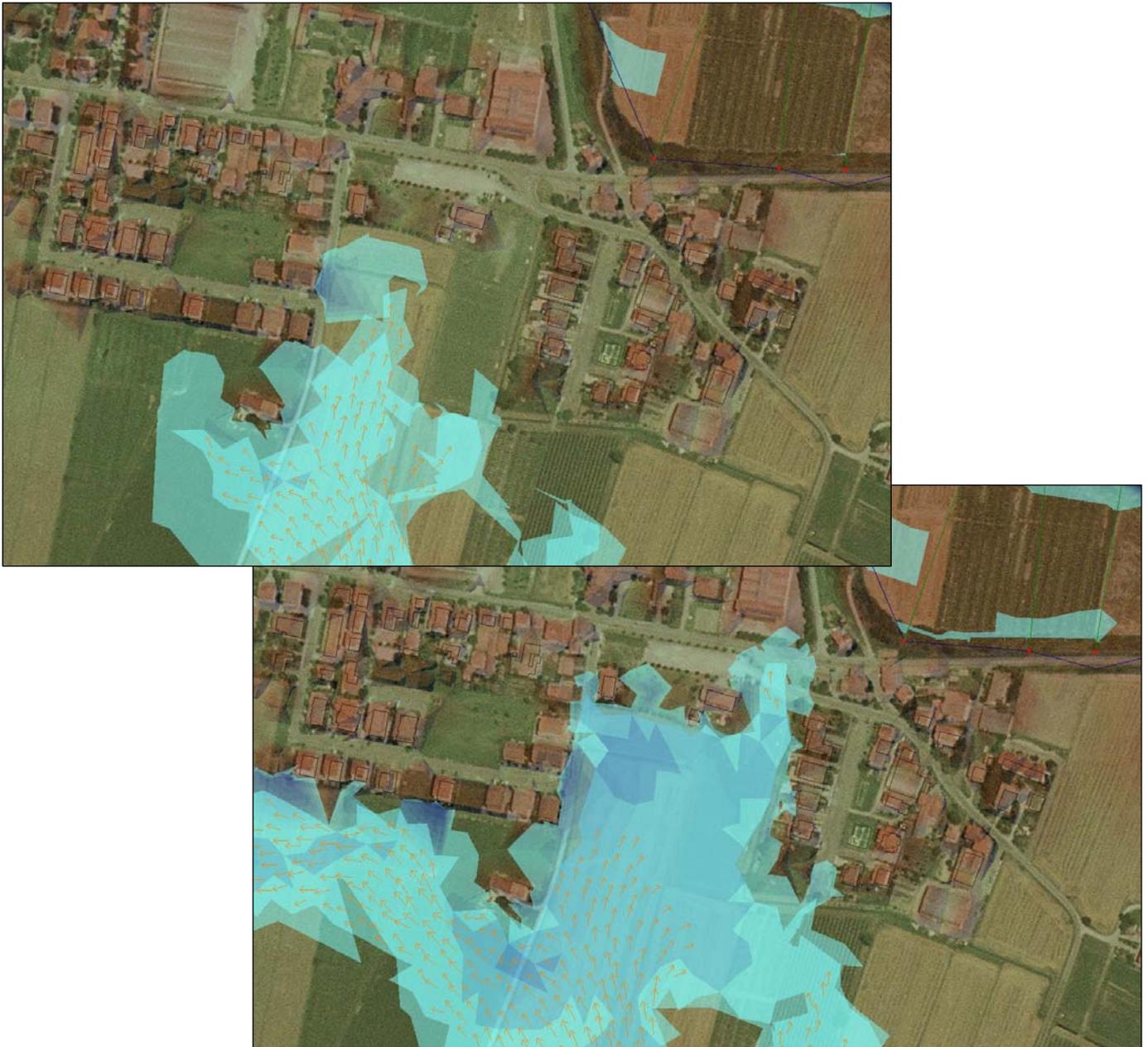
1. al deflusso dell'onda di piena nell'alveo del Fiume Secchia,
2. alle modalità del crollo arginale e
3. al successivo deflusso sulla superficie territoriale oggetto di verifica

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.

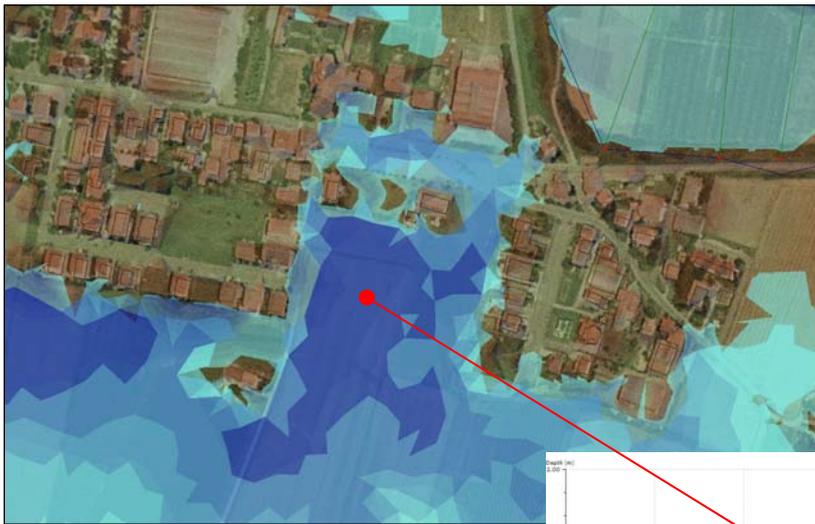
Il risultato è una compiuta descrizione della fenomenologia complessiva che consente in prima approssimazione di definire tempistiche e modalità di intervento per limitare le problematiche associate all'evento simulato, prevedendo altresì elementi di protezione funzionali a preservare una determinata zona dagli effetti disastrosi di una esondazione

4. ANALISI SIMULAZIONI SENZA ELEMENTI DI PROTEZIONE DELL'ABITATO

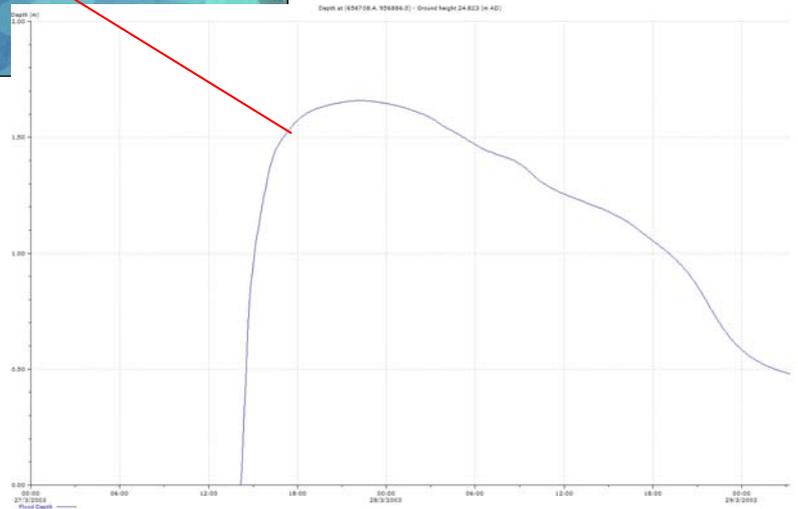
Con specifico riferimento all'area dell'abitato di Sozzigalli oggetto di interesse per l'Amministrazione Comunale ai fini della realizzazione di un immobile ad uso collettivo-sociale il modello mette in evidenza come le superficie destinate ad essere oggetto di riqualificazione immobiliare risultano interessate dall'onda di piena dopo circa 1h 30' da far tempo dal collasso del fluviale:



Simulazione dell'esonazione : $t=t_0+ 1h 30'$ dove t_0 =tempo del collasso arginale



Livello idrometrico massimo a tergo dell'area oggetto di intervento: $h=1,65$



Il livello idrometrico massimo in fregio alle aree previste per il nuovo insediamento immobiliare raggiungerebbe circa 1,65 m rispetto all'attuale piano campagna, in virtù di una altimetria specifica locale piuttosto sfavorevole.

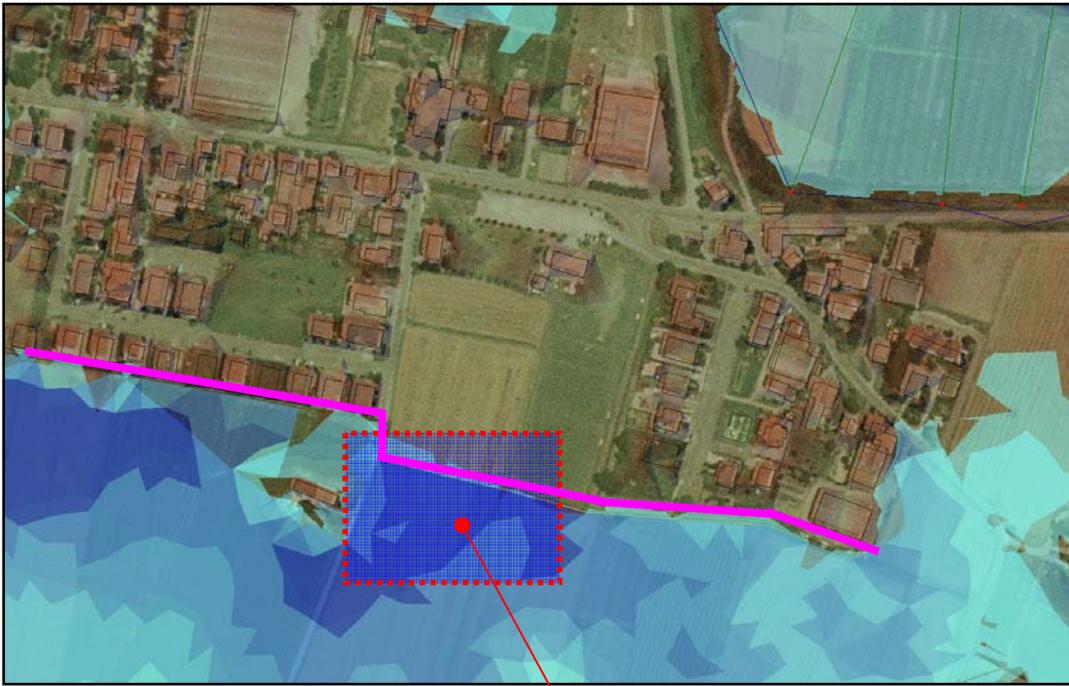
5. ANALISI SIMULAZIONI CON ELEMENTI DI PROTEZIONE DELL'ABITATO

L'inserimento di un "cordolo" di protezione dell'abitato consentirebbe di ovviare alle problematiche di esondazione, così come messo in evidenza nelle seguenti immagini:

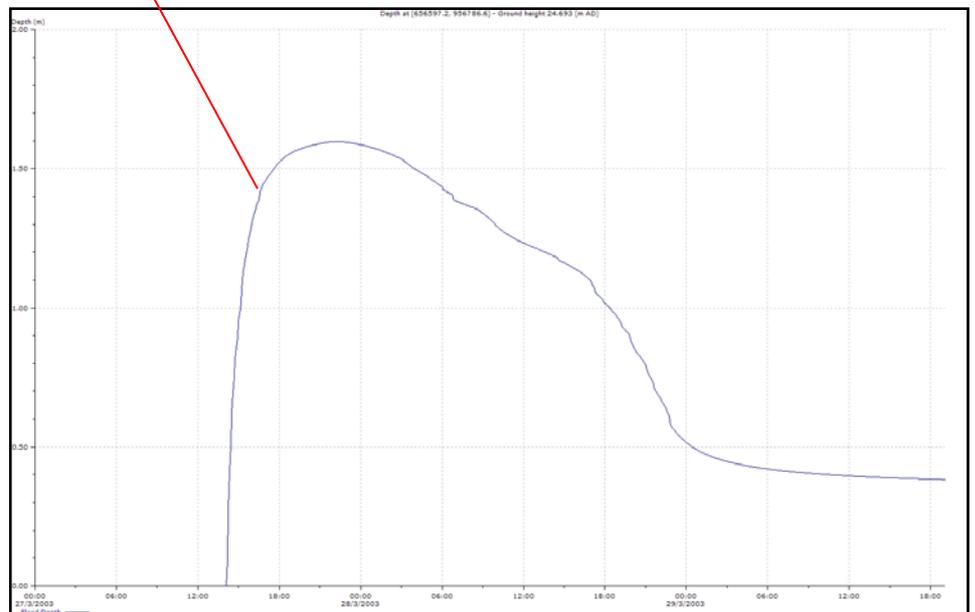


Simulazione dell'esondazione CON INSERIMENTO DEL CORDOLO DI PROTEZIONE : $t=t_0+ 1h 30'$ dove t_0 =tempo del collasso arginale

L'elemento di protezione potrebbe essere realizzato mediante un presidio di tipo urbanistico quale ad esempio una "collina" molto morbida o attraverso un elemento infrastrutturale quale una pista ciclabile, una strada di servizio secondaria, una tangenziale dell'abitato; la sua altezza rispetto all'attuale piano campagna dovrà essere maggiore a quella idrometrica messa in evidenza dalle simulazioni effettuate $H > 1,65$ m:



Massima altezza di invaso a tergo del cordolo di protezione $h > 1,65$ m



6. CONCLUSIONI

Attraverso un modello di modellazione numerica è stato possibile, per la prima volta sul territorio della provincia di Modena, 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 una porzione del territorio del Comune di Soliera valutandone gli effetti e le necessarie predisposizioni infrastrutturali per limitarne disagi e distruttività.

L'analisi ha riguardato un intorno dell'abitato di Sozzigalli del Comune di Soliera dove è prevista la realizzazione di un edificio ad uso della collettività per il quale risulta d'obbligo l'attenzione particolare riservata dall'Amministrazione Comunale per le tematiche oggetto del presente studio.

In particolare dallo studio effettuato è risultata particolarmente efficace, a presidio delle problematiche di esondazione evidenziate, la realizzazione di un elemento di protezione idraulica o "cordolo" di altezza >1,65 m posto in continuità nella zona Sud dell'abitato di Sozzigalli.

La predisposizione di un siffatto elemento di presidio del territorio consentirebbe in definitiva di limitare gli effetti disastrosi di un crollo arginale quale quello simulato.

Ing. Adelio Pagotto



Ing. Yos Zorzi

