

Committente:

COMUNE DI TORTONA

Oggetto:

**INTERVENTI DIFESA IDROGEOLOGICA TORRENTE
GRUE NELL'AREA A MONTE DELL'AREA ARTIGIANALE
(CUP progetto J34J18000420002)**

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione idraulica

SCALA:

-

DATA:


Dicembre 2022

Identificazione elaborato	Ambito	Tipologia		Commessa	n° elaborato	2
IDPE1351-2	ID	P	E	1351		

Dati Progettisti:

Studio ANSELMO Associati
Via Vittorio Emanuele n°14
10023 CHIERI (TO)
Tel./Fax 011 9415835
e-mail: info@anselmoassociati.it

Dott. Ing. Virgilio Anselmo
Dott. For. Fulvio Anselmo
Collaboratori:
Dott. For. Davide Spada
Dott. Ing. Donato Vittore

Rev.	Redatto	Controllato	Approvato	Data	Timbri e Firme
0	Ing. L. Petrolo	Ing. V. Anselmo	Ing. V. Anselmo	12-2022	

Il Responsabile del procedimento: Ing. Laura Lucotti

FIRMA

File :

Sommario

1	PREMESSA.....	1
2	INDAGINI IDRAULICHE	1
2.1	La documentazione di riferimento	1
2.2	Caratterizzazione dell'area	4
2.3	Descrizione degli interventi	5
2.4	La modellazione idraulica	6
2.4.1	Il modello numerico	6
2.4.2	Le condizioni fisiche di riferimento: scenari oggetto di verifica	7
2.4.3	Geometria impiegata	8
2.4.4	Portata in ingresso	10
2.4.5	Scabrezza	11
2.4.6	Condizioni al contorno in uscita e settaggi di calcolo	11
2.4.7	Risultati	12
2.5	Conclusioni	15
3	RIFERIMENTI	16
	APPENDICE - A . Evento alluvionale del 13 ottobre 2014: ricostruzione della dinamica e degli effetti al suolo a cavallo del ponte della S.P. 99 tramite le testimonianze raccolte.	17
	APPENDICE - B . Approfondimenti e valutazioni in merito alla caratterizzazione idrologico - idraulica dell'evento alluvionale dell'ottobre 2014.	23
	APPENDICE - C . Caratteristiche del codice di calcolo bidimensionale SOBEK-RURAL.	27
	APPENDICE - D . Documentazione topografica disponibile.....	33

COMUNE DI TORTONA
Interventi difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale
Progetto Esecutivo
RELAZIONE IDRAULICA

1 PREMESSA

L'area industriale di Tortona, allineata fra la ex SS 10 e la ferrovia Milano-Genova in Località Villoria, risulta vulnerabile nei confronti degli eventi di piena del T. Grue con tempo di ritorno dell'ordine di grandezza di 200 anni. Il fenomeno si è reso particolarmente evidente in occasione dell'evento di piena del 13 ottobre 2014.

Sulla base di quanto emerso nell'ambito degli approfondimenti e della sequenza die venti illustrati nella relazione illustrativa, l'area industriale risulta difendibile mediante la realizzazione di un manufatto di presidio, realizzato in adiacenza alla sponda sinistra del fosso proveniente dal settore collinare e dall'area commerciale di cui è previsto l'adeguamento con altro progetto. Il manufatto si trova a circa 120 m dalla strada per Voghera (SR 10) dismessa a competenza comunale.

L'intervento risulta finanziato nell'ambito del Piano Operativo Ambiente FSC 2014/2020 come "Interventi di difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale" (CUP J34J18000420002).

La relazione presenta, in allegato, gli approfondimenti idraulici a corredo della progettazione definitiva ed esecutiva dell'opera. La modellazione idraulica è stata effettuata con codice di calcolo bidimensionale allestita su base topografica di dettaglio.

2 INDAGINI IDRAULICHE

La modellazione idraulica è finalizzata al dimensionamento ed alla verifica del comportamento della struttura, a corredo della progettazione definitiva ed esecutiva dell'opera.

Lo studio è condotto secondo i criteri dell'analisi idraulica approfondita ai sensi della D.G.R. 64-7417 del 07/07/2014, secondo il seguente schema:

- 1) Definizione del campo di inondazione e delle modalità di propagazione della piena conseguente ad un evento dell'ordine di grandezza dell'evento del 2014, a cui è stato associato un tempo di ritorno di 200 anni. La verifica idraulica viene allestita con modello numerico 1D+2D in moto vario bidimensionale, a partire dal DTM del terreno elaborato sulla base di rilievi topografici di dettaglio (restituzione aerofotogrammetrica) e di rilievi a terra (sezioni idrauliche del T. Grue e della Roggia Cadè).
- 2) Definizione del coronamento del manufatto e quantificazione degli effetti dell'intervento in progetto rispetto alle condizioni attuali.

2.1 La documentazione di riferimento

La valutazione del campo di inondazione del T. Grue e l'individuazione degli interventi per la mitigazione della pericolosità idraulica per l'area di interesse sono stati oggetto di indagine in studi precedenti. Ulteriori studi sono stati predisposti a seguito dell'evento alluvionale dell'ottobre 2014.

COMUNE DI TORTONA
Interventi difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale
Progetto Esecutivo
RELAZIONE IDRAULICA

In merito agli aspetti idrologici, idraulici e modellistici, ai fini della redazione del presente studio, si assumono i seguenti riferimenti:

- COMUNE DI TORTONA (2010): Progetto Preliminare della Variante al PRG di adeguamento al PAI: *"Allegato 4 – Verifica idraulica per progetto di discarica in loc. Montemerla (T. Grue)"*.
- COMUNE DI TORTONA (2016): *"Interventi di mitigazione del rischio idraulico. Realizzazione di un manufatto di presidio di protezione civile in Località Punta di Garbagna"*.
- COMUNI DI VIGUZZOLO (CAPOFILA) DERNICE, GARBAGNA, AVOLASCA, CASASCO, MONTEMARZINO, MONTEGIOCO, CERRETO GRUE, SAREZZANO, TORTONA, CASTELNUOVO SCRIVIA (2016): *"Studio idraulico dell'intero bacino del Torrente Grue"*.
- COMUNE DI TORTONA (2018): *"Valutazione del campo di inondazione del torrente grue per evento con tempo di ritorno 50 anni – Relazione idrologico-idraulica"*.
- COMUNI DI TORTONA (CAPOFILA) DERNICE, GARBAGNA, AVOLASCA, CASASCO, MONTEMARZINO, MONTEGIOCO, CERRETO GRUE, SAREZZANO, VIGUZZOLO, CASTELNUOVO SCRIVIA (2018): *"Studio idraulico dell'intero bacino del Torrente Grue - Rimodulazione della proposta di intervento"*.

Si specifica che, sulla base delle indicazioni fornite dai Settori regionali competenti in materia di Difesa del suolo, l'evento dell'ottobre 2014 ha assunto il riferimento di evento duecentennale (riferimenti in Figura 2-1). Poiché l'argomento merita attenzione, nelle Appendici viene riportato quanto segue:

- Ricostruzione degli effetti al suolo definita tramite le testimonianze raccolte (riferimenti in APPENDICE - A).
- Caratterizzazione idrologico-idraulica dell'evento in parola (riferimenti in APPENDICE - B).

COMUNE DI TORTONA
Interventi difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale
Progetto Esecutivo
RELAZIONE IDRAULICA

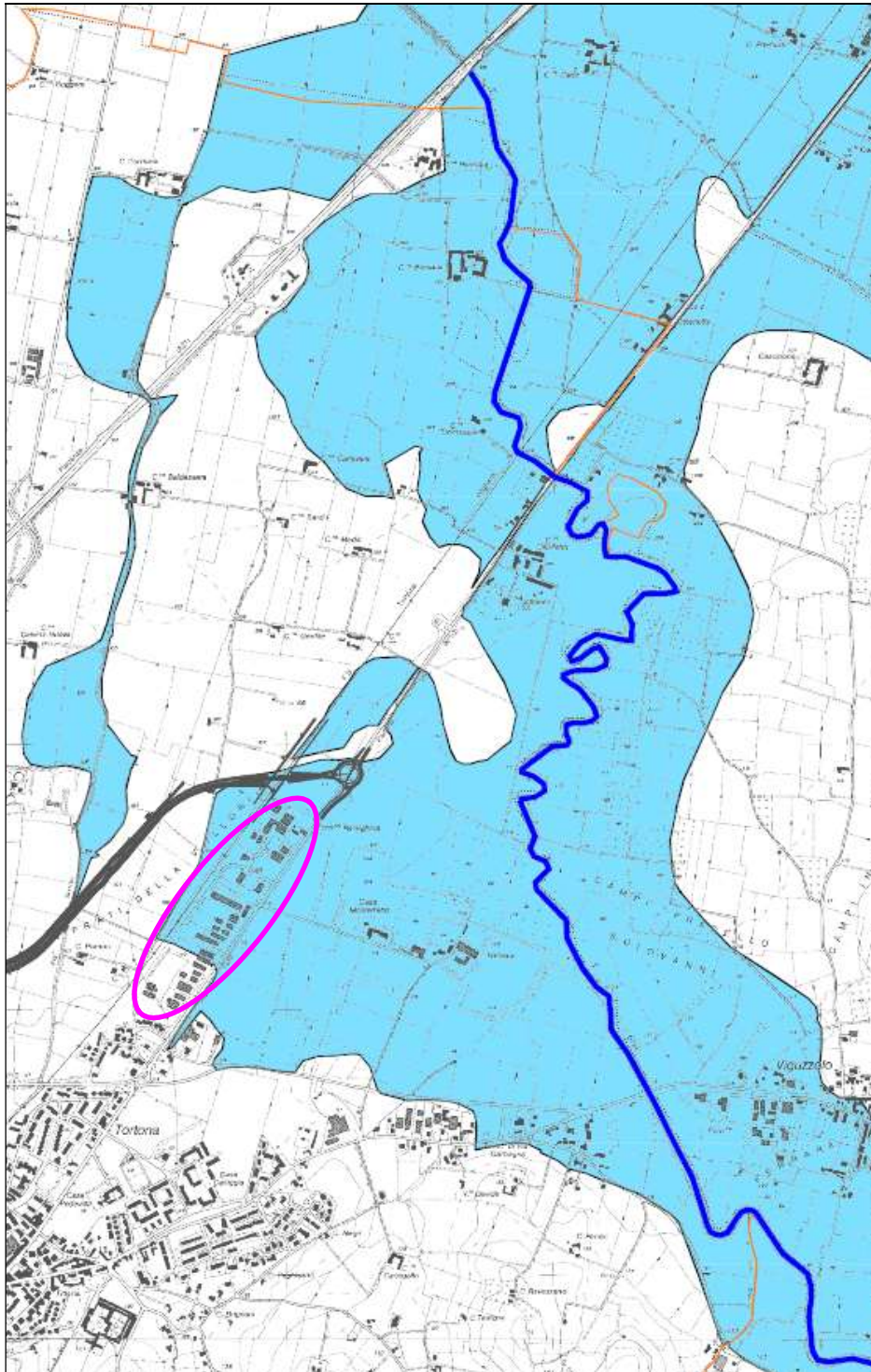


Figura 2-1. In merito alle conoscenze degli effetti al suolo dell'evento dell'ottobre 2014, allo stato attuale, non risulta disponibile un rapporto di evento ufficiale che riporti le aree interessate, le direzioni di flusso ed i tiranti che hanno caratterizzato l'evento. La figura riporta una sintesi dei contenuti delle mappe allegata alla Direttiva Alluvioni che, stando alle indicazioni degli Uffici regionali, può essere preso come riferimento. In azzurro lo scenario di alluvione con probabilità media tr 200 (M - poco frequente) riportato nella Carta della pericolosità da alluvione (Tavola 177NE versione febbraio-maggio 2016) che considera anche l'apporto delle rogge minori, in arancione i limiti comunali, in blu il T. Grue, in magenta l'area industriale.

2.2 Caratterizzazione dell'area

L'area industriale di Tortona è allineata fra la SR. 10 e la ferrovia in Loc. Villoria (riferimenti in Figura 2-3).

Il territorio circostante è caratterizzato dall'essere in pendenza nella direzione che va dal T. Grue (posto più in alto) al T. Scivia. La SR. 10 per Voghera rappresenta una importante discontinuità morfologica in quanto "interrompe" il piano campagna (riferimenti in Figura 2-2).

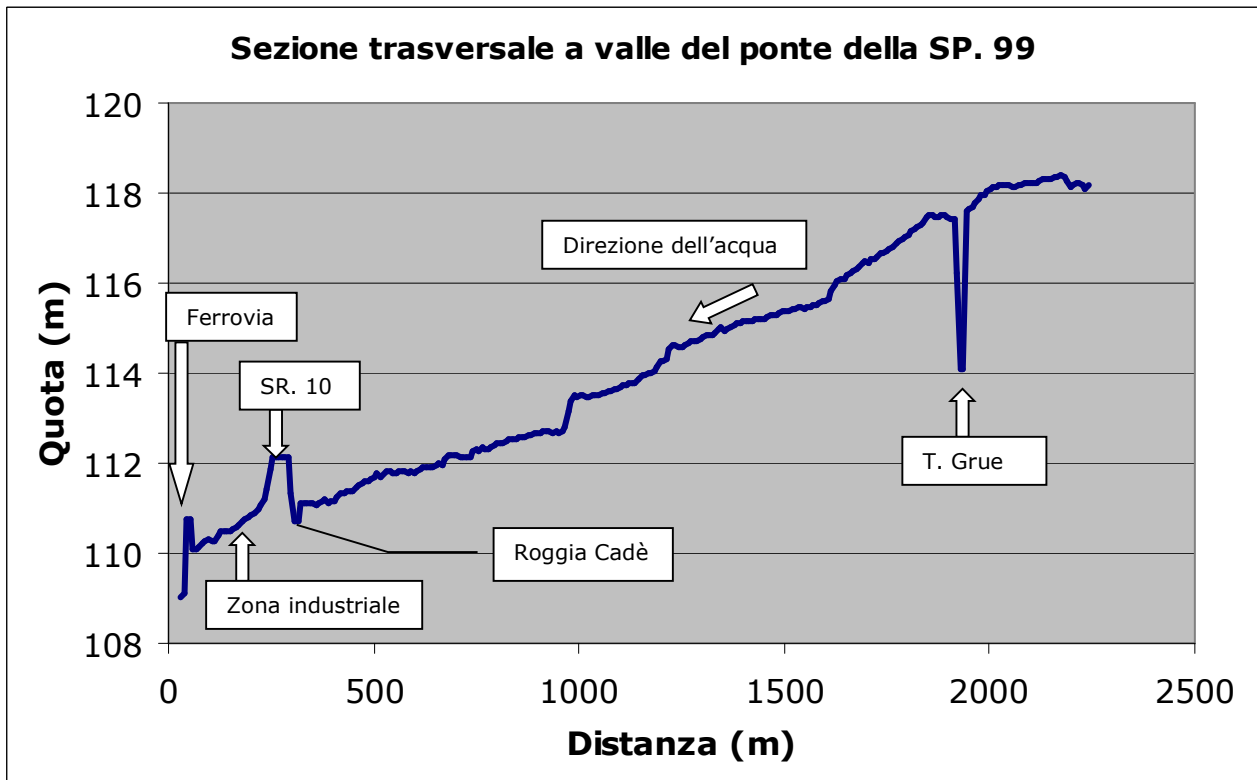


Figura 2-2. Vista da monte verso valle della sezione trasversale del piano campagna a valle del ponte della S.P. 99 (traccia della sezione è riportata in Figura 2-3). Risulta evidente la pendenza verso la SR 10 per Voghera e la zona industriale.

Lungo il lato di monte del ciglio stradale corre la Roggia Cadè, in cui convergono le acque provenienti dalla rete di fossi irrigui raccolti sulla porzione di collina retrostante (il ricettore finale è rappresentato dal T. Grue in corrispondenza del ponte sulla SR. 10 posto più a valle).

Dal punto di vista idrogeologico l'area risulta vulnerabile in quanto:

- 1) Nel caso di evento di piena del T. Grue con tempo di ritorno dell'ordine di grandezza di 200 anni, le acque che straripano dal T. Grue giungono alla SR. 10 seguendo la naturale pendenza delle superfici. In occasione degli eventi più gravosi, in cui l'onda di piena è costituita da alcuni milioni di metri cubi d'acqua, le acque si accumulano a tergo del rilevato stradale fino a sormontarla, sia in direzione dell'area industriale che nell'area delle cave Perseghini e Montemerla (tale dinamica si è resa particolarmente evidente in occasione dell'evento dell'ottobre 2014. Riferimenti in APPENDICE - A).

- 2) Nel caso di eventi di notevole intensità circoscritti alla collina, le acque vengono convogliate alla Roggia Cadè posta lungo la SR. 10. Quando la capacità di convogliamento della Roggia viene superata, le acque possono sormontare la sede stradale e coinvolgere l'area di interesse.

2.3 Descrizione degli interventi

Sulla base di quanto emerso nell'ambito degli approfondimenti citati, l'area industriale risulta difendibile mediante un manufatto di contenimento disposto nella posizione illustrata in Figura 2-3.

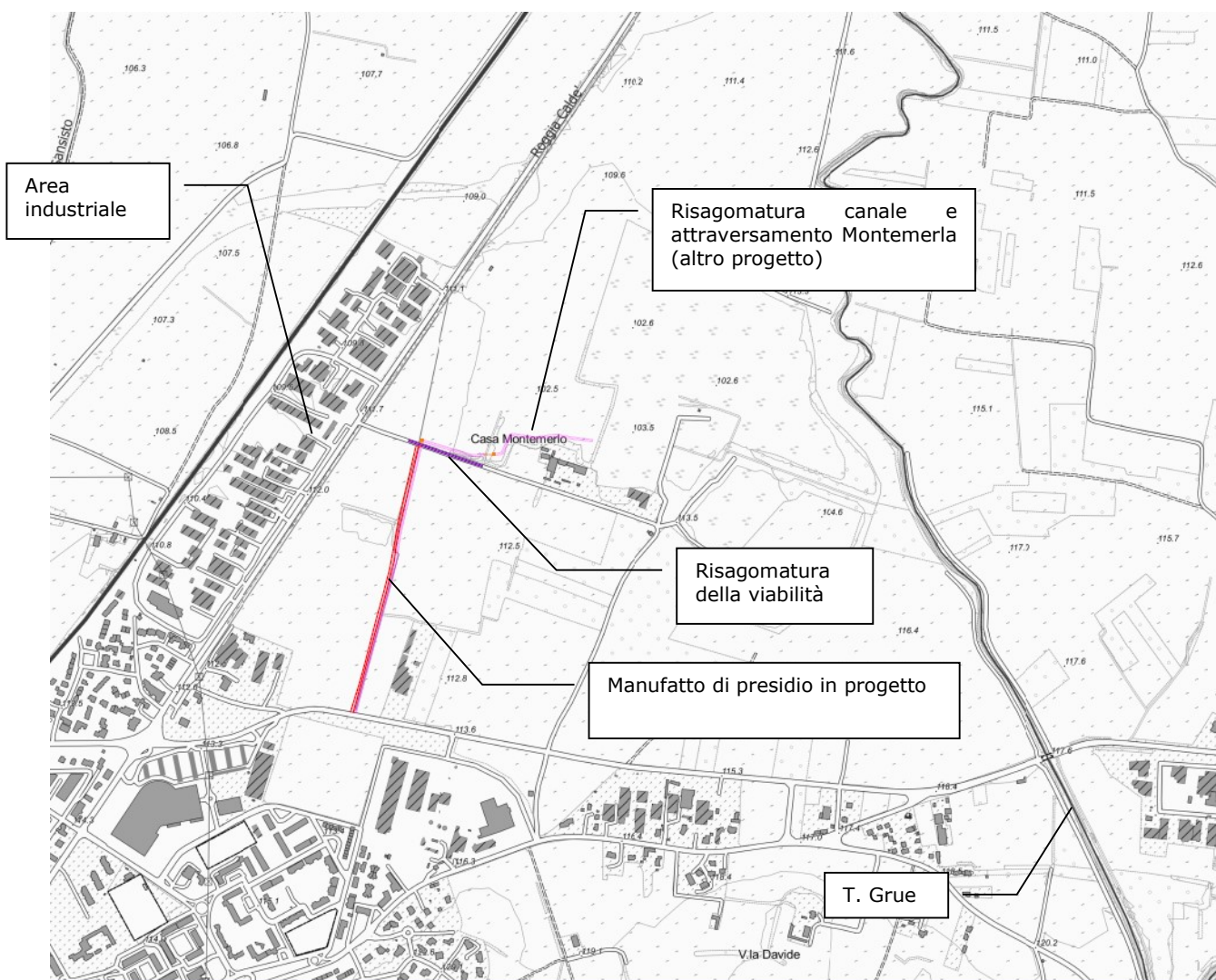


Figura 2-3. Corografia dell'area di interesse.

Il progetto prevede di realizzare, con adeguato franco idraulico di 1 m rispetto al pelo libero dell'evento con tr 200 anni di tempo di ritorno, quanto segue:

- 1) Un manufatto di contenimento realizzato addossando materiale idoneo ad una palancolata a partire dalla SP99, per circa 600 m, fino a Strada Montemerla. Per le dimensioni delle sagome e le lunghezze si faccia riferimento agli elaborati progettuali. In particolare, nell'elaborato 5 e 6, viene dettagliata la posizione e lo sviluppo delle opere.
- 2) La sopraelevazione della viabilità di strada Montemerla in adiacenza all'attacco del rilevato del manufatto di protezione, con il raggiungimento della stessa quota sommitale di questo.
- 3) La risagomatura della viabilità per Cascina Montemerla con la realizzazione di una "Corda molla" allo scopo di favorire l'evacuazione delle portate di piena. Tale abbassamento è di circa 0.85 m e riguarda un tratto di circa 60 m.

2.4 La modellazione idraulica

La modellazione idraulica è finalizzata alla quantificazione degli effetti degli interventi in progetto, nonché delle grandezze idrauliche necessarie alla progettazione definitiva ed esecutiva delle opere (in particolare la quota del pelo libero che determinerà il coronamento del manufatto).

Lo studio predisposto, condotto secondo i criteri dell'analisi idraulica approfondita ai sensi della D.G.R. 64-7417 del 07/07/2014, viene effettuato con codice di calcolo bidimensionale (2D) allestito su base topografica di dettaglio.

Si evidenzia che, al fine di mantenere la congruenza con la documentazione di riferimento, viene impiegato lo stesso pacchetto software già utilizzato per la redazione degli studi citati a cui si rimanda per eventuali approfondimenti metodologici (COMUNE DI VIGUZZOLO - CAPOFILA 2016, COMUNE DI TORTONA - CAPOFILA 2018).

2.4.1 IL MODELLO NUMERICO

L'analisi idraulica predisposta per la redazione del presente studio viene condotta sulla base di un modello in moto vario bidimensionale 1D + 2D agli elementi finiti, redatto sulla base di un rilievo aerofotogrammetrico di dettaglio effettuato nell'ambito degli studi citati.

Le verifiche idrauliche sono condotte mediante il codice di calcolo SOBEK-Rural, sviluppato dalla WL | Delft Hydraulics (descrizione in APPENDICE - C).

Una tipica applicazione del programma è la simulazione della progressione di un evento di piena in un'area inondabile inizialmente asciutta, tenendo conto dell'influenza di interventi esistenti e/o pianificati. Questo aspetto risulta particolarmente importante al fine di poter valutare l'efficacia degli interventi di correzione e mitigazione.

Il modello è stato allestito attivando l'opzione di accoppiamento fra modelli 1-D e 2-D che permette di operare un passaggio automatico da monodimensionale (moto nell'alveo

incanalato) a bidimensionale (sommersione progressiva del piano campagna), condizione indispensabile per le indagini legate all'analisi delle aree inondabili.

2.4.2 LE CONDIZIONI FISICHE DI RIFERIMENTO: SCENARI OGGETTO DI VERIFICA

La modellazione idraulica è finalizzata al dimensionamento ed alla verifica del comportamento della struttura, a corredo della progettazione definitiva ed esecutiva dell'opera. Le verifiche idrauliche considerano quanto segue:

- 1) Condizioni idrologiche: gli scenari analizzati fanno riferimento all'evento di piena con tr 200 anni (stando alle indicazioni degli Uffici regionali viene preso come riferimento l'evento dell'ottobre 2014).
- 2) Condizioni geometriche dell'alveo del T. Grue e del piano campagna. A seguito del citato evento dell'ottobre 2014 sono stati eseguiti/programmati una serie di interventi. La geometria impiegata descrive le condizioni rinvenibili allo stato attuale (ottobre 2020). In particolare si tiene conto di quanto segue:
 - L'alveo e le sponde del T. Grue tengono conto degli interventi ad ora realizzati.
 - L'alveo e gli attraversamenti della Roggia Cadè tengono conto degli interventi realizzati lungo Strada Montemerlo (attraversamento e scatolari inseriti allo scopo di favorire il flusso delle acque).
 - Presenza del manufatto di presidio di protezione civile posto a difesa della porzione sud-ovest del concentrico di Viguzzolo a monte del ponte della SP 99 (la geometria deriva da rilievo topografico).
 - Presenza del manufatto di presidio di protezione civile posto a difesa di Loc. Punta di Garbagna a monte del ponte della SP 99 (la geometria deriva dagli elaborati progettuali del manufatto).
 - Il setto di separazione tra la ex cava Perseghini e l'area di "Cava Montemerla", danneggiato in occasione dell'evento del 13 ottobre 2014 (vedi Figura A- 5), allo stato attuale non è stato ripristinato. Le valutazioni idrauliche tengono conto della breccia ad oggi rilevabile.

Le valutazioni idrauliche sono riferite alle seguenti condizioni:

- a) SCENARIO 1: condizione attuale (ante intervento).
- b) SCENARIO 2: condizione di progetto (post intervento). Si considerano gli effetti della realizzazione degli interventi richiamati al par. 2.3.

Si precisa che le valutazioni espresse nel presente studio si basano sui dati e sulle informazioni ad oggi disponibili (ottobre 2020). Poiché la situazione antropica è soggetta ad una rapida evoluzione, tali valutazioni devono intendersi "congelate" al momento in cui sono stati raccolti i dati di supporto. Sono in oltre fatte salve eventuali evoluzioni dei dissesti individuati e non che,

alla luce dello stato di fatto vigente e delle attuali conoscenze, non sono prevedibili né quantificabili.

2.4.3 GEOMETRIA IMPIEGATA

Le valutazioni idrauliche vengono effettuate con codice di calcolo bidimensionale (2D) allestito su base topografica di dettaglio.

Al fine di mantenere la congruenza con la documentazione di riferimento (riferimenti in par. 2.1), sono stati impiegati i seguenti dati (dettagli in APPENDICE - D):

- La topografia di base (alveo del T. Grue e piano campagna) deriva dai rilievi già utilizzati per la redazione degli studi citati (COMUNE DI VIGUZZOLO – CAPOFILA 2016, COMUNE DI TORTONA - CAPOFILA 2018).
- La topografia dell'alveo della Roggia Cadè deriva dai rilievi già utilizzati per la redazione delle integrazioni al PRG (COMUNE DI TORTONA 2018).
- Rilievi a terra realizzati nel periodo luglio-ottobre 2020 dallo scrivente, allo scopo di verificare/aggiornare le informazioni.

In dettaglio si specifica che la base topografica impiegata per generare il modello tridimensionale del terreno è costituito dai seguenti prodotti:

- 1) Tronco compreso tra il ponte di Via Nuova ed il ponte della S.P. 99 a Viguzzolo: la geometria è rappresentata dalla restituzione aerofotogrammetrica di una ripresa aerea appositamente predisposta effettuata da TECMA ROSSI srl. Si precisa che il volo è stato effettuato in data 16 gennaio 2016, scala di restituzione 1:2000, dimensione del pixel al suolo pari a 0.14 m, tolleranza altimetrica pari a ± 0.30 m.
- 2) Tronco compreso tra il ponte della S.P. 99 ed il ponte della SR 10: la geometria è rappresentata da:
 - restituzione aerofotogrammetrica di una ripresa aerea eseguita dalla società Alifoto s.r.l. in data 09/03/2011 in periodo di riposo vegetativo ⁽¹⁾. Il prodotto finale, costituito da punti al suolo con maglia pari a 5x5 m e breaklines 3D a descrizione di tutte le discontinuità lineari e degli edifici, consiste in una cartografia alla scala 1:2000 con tolleranza plano-altimetrica pari ± 0.3 m;
 - rilievo a terra di 11 sezioni trasversali dell'alveo del T. Grue, dei ponti, dei manufatti e delle linee di sponda riferite ai capisaldi dell'Istituto Geografico Militare (IGM) effettuato da TECMA ROSSI srl nel gennaio 2016;

⁽¹⁾ La bobina è attualmente conservata presso gli uffici di Regione Piemonte (Direzione Regionale Opere pubbliche, Difesa del suolo, Montagna, Foreste, Protezione civile, Trasporti e Logistica - Settore Prevenzione territoriale del rischio geologico. Responsabile Dott. Carlo Troisi, C.so Bolzano, 44 Torino). La restituzione è stata eseguita alla società Tecma-Rossi s.r.l. nel 2015.

COMUNE DI TORTONA
Interventi difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale
Progetto Esecutivo
RELAZIONE IDRAULICA

- rilievo a terra dell'andamento del fondo dell'alveo della Roggia Cadè, di 27 sezioni trasversali, dei ponti, dei manufatti e delle linee di sponda riferite agli stessi capisaldi già citati effettuato da Studio Tecnico "A.VI";
 - rilievo a terra mediante livellazione delle quote del piano stradale della SR. 10.
- 3) Tronco compreso tra il ponte della SR. 10 ed il ponte della A21. La geometria è rappresentata da:
- dal DTM 5x5 (ripresa aerea ICE 2009-2011) realizzato per conto della Regione Piemonte che è stato acquisito con metodologia uniforme (LIDAR) in standard di livello 4. La risoluzione della griglia (passo) è di 5 m, con una tolleranza altimetrica di ± 0.30 m (± 0.60 m nelle aree di minor precisione, corrispondenti alle aree boscate e densamente urbanizzate). Si evidenzia che l'impiego del software *ConveRgo*, utilizzato per la redazione del prodotto, può incrementare il *range* di tolleranza altimetrica).
 - rilievo a terra di 7 sezioni trasversali dell'alveo del T. Grue, dei ponti, dei manufatti e delle linee di sponda riferite ai capisaldi dell'Istituto Geografico Militare (IGM) effettuato da TECMA ROSSI srl nel gennaio 2016;

Si specifica che i rilievi richiamati hanno reciproca congruenza plano-altimetrica.

Ai fini della verifica idraulica i dati sono stati elaborati mediante un compressore di dati cartografici (Global Mapper® 13.0) per la generazione di un modello tridimensionale del terreno (DEM in formato ASCII con celle quadrate di dimensioni tali da permettere la convergenza delle equazioni che risolvono il modello numerico). A seguito delle elaborazioni effettuate, la descrizione della geometria dell'area oggetto di studio è affidata ai seguenti elementi:

- 1) il piano campagna è stato descritto mediante un modello digitale delle elevazioni (DEM in formato ASCII inserito nel modulo 2D) comprendente circa 330 000 celle con dimensione 10x10 m, con la funzione di descrivere il piano campagna, i rilevati stradali ed i manufatti circostanti (muri, scarpate, rilevati, recinzioni ed altre discontinuità). La superficie rappresentata è pari a circa 19 km²;
- 2) gli alvei del T. Grue e della Roggia Cadè sono stati descritti mediante l'inserimento delle sezioni trasversali e dei manufatti di attraversamento rilevati a terra.

Ai fini della modellazione idraulica si precisa infine quanto segue:

- il corpo degli edifici viene inserito in quanto si ritiene che la loro presenza possa essere in grado di orientare la direzione delle acque;
- in generale la presenza di ostacoli al ruscellamento delle acque rappresentati da muri perimetrali, recinzioni e arredi urbani viene trascurata in quanto si ritiene che tali particolari non possano essere paragonati ad un limite morfologico e pertanto vi è la possibilità che possano essere modificati, danneggiati o ammalorati. Nel caso specifico,

in considerazione del fatto che il piano campagna viene percorso da portate pari a diversi m³/s, si ritiene maggiormente cautelativo trascurare questi particolari;

- in ragione di quanto detto il battente risultante dall'analisi idraulica dovrà essere inteso come valore medio per l'area. I valori potranno differire localmente sulla base della geometria interna dei singoli lotti.

2.4.4 PORTATA IN INGRESSO

La progettazione definitiva ed esecutiva dell'opera fa riferimento all'evento di piena con tr 200 anni (stando alle indicazioni degli Uffici regionali viene preso come riferimento duecentennale l'evento dell'ottobre 2014). Le caratteristiche dell'onda di piena, definite mediante modello afflussi-deflussi sulla base dei contenuti degli studi citati, sono sintetizzate in Tabella 2-1 e Figura 2-4 (approfondimenti in APPENDICE - B).

Tabella 2-1. Sintesi delle caratteristiche dell'onda di piena con tr 200 anni del T. Grue (portata al colmo e volume) calcolate con metodo afflussi - deflussi a partire dalle precipitazioni registrate in occasione dell'evento dell'ottobre 2014.

	Portata al colmo al ponte S.P.99 Tortona-Viguzzolo (m ³ /s)	Volume complessivo dell'idrogramma alla S.P. 99 (m ³)
Tr 200 anni	272	7 500 000

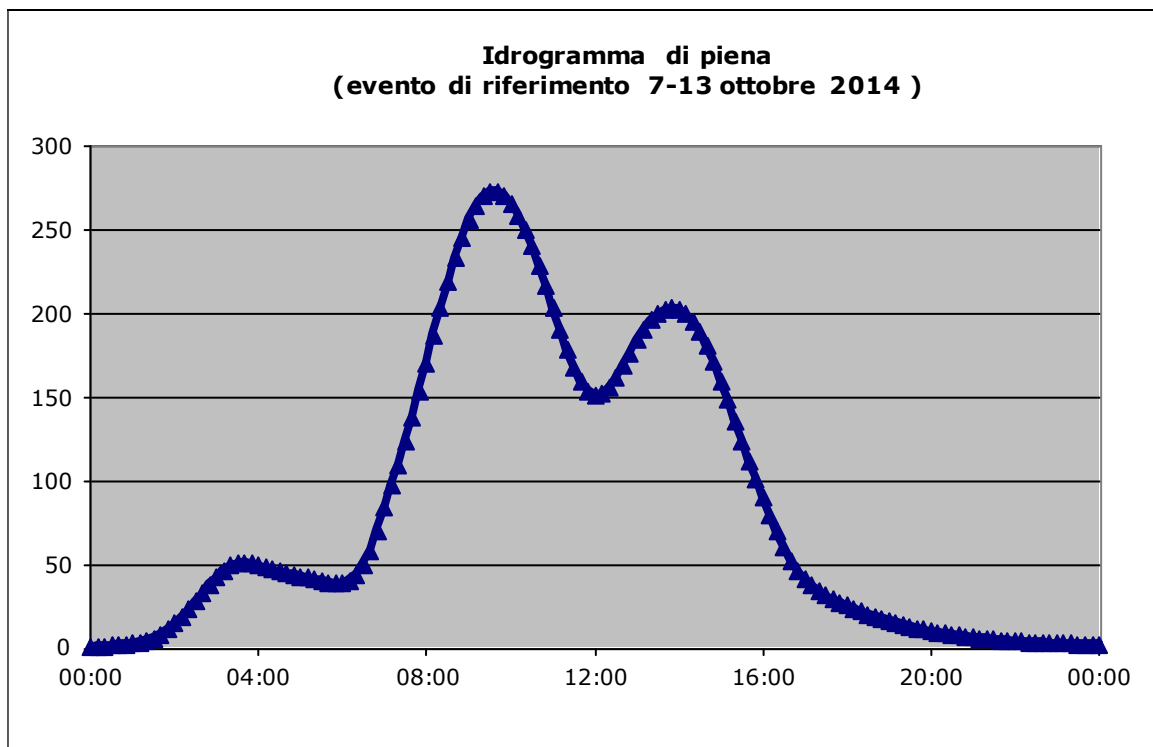


Figura 2-4. Idrogramma di piena dell'evento di riferimento con tr 200 anni (calcolato con modello afflussi-deflussi a partire dalle precipitazioni registrate in occasione dell'evento dell'ottobre 2014), alla sezione di chiusura posta al ponte della SP 99 di Viguzzolo.

2.4.5 SCABREZZA

Le condizioni di scabrezza sono state fissate con riferimento ai valori n di Manning, utilizzando i dati riportati nella Direttiva 4 del PAI "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce A e B" (aggiornamento aprile 2006) e successivamente ripresa dalla normativa regionale. I valori assegnati, congruenti con quanto contenuto negli studi citati, sono rispettivamente pari a:

- $n = 0.040 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ per l'alveo e le sponde, inteso come valore medio, nei tratti in cui sono stati effettuati interventi di pulizia e manutenzione;
- $n = 0.045 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ per l'alveo e le sponde, inteso come valore medio, nei tratti in cui non sono stati effettuati interventi di pulizia e manutenzione;
- $n = 0.045 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ per le golene e il piano campagna inteso come valore medio.

2.4.6 CONDIZIONI AL CONTORNO IN USCITA E SETTAGGI DI CALCOLO

Le condizioni al contorno ed i settaggi di calcolo impiegati fanno riferimento agli studi citati e sono nel seguito riassunti:

- Il modello è stato attivato con l'opzione di accoppiamento fra modelli 1-D e 2-D che permette di operare un passaggio automatico da monodimensionale (moto nell'alveo incanalato) a bidimensionale (sommersione progressiva del piano campagna).
- La griglia 2D in formato ASCII è costituita da circa 330 000 celle con dimensione al suolo di 10x10 m.
- Il time-step di calcolo è stato impostato pari a 15 min per una durata totale pari a 24 h.
- Il ramo 1D che rappresenta il Torrente Grue è accoppiato alla griglia 2D tramite una serie di *calculation point* (1 ogni 11 m). Nelle sezioni è attivata l'opzione *assume lowest level of embankments*.
- Il ramo 1D che rappresenta la Roggia Cadè è accoppiato alla griglia 2D tramite una serie di *calculation point* (1 ogni 11 m). Nelle sezioni è attivata l'opzione *assume lowest level of embankments*. La portata in ingresso assegnata alla Roggia Cadè è costante e pari a $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (valore all'incirca pari alla capacità di convogliamento degli attraversamenti posti in prossimità di Loc. Capitania).
- Le condizioni al contorno in uscita fanno riferimento alla scala delle portate calcolata per una sezione di controllo posta a valle del ponte dell'autostrada A21 immediatamente a monte dello scolmatore. In questo modo il livello d'acqua risulta variabile e dipendente dal valore della portata in transito.

2.4.7 RISULTATI

La modellazione idraulica, riferita ad un evento di piena con tr 200 anni, è finalizzata al dimensionamento ed alla verifica degli interventi di difesa idrogeologica a monte dell'area artigianale, a corredo della progettazione definitiva ed esecutiva dell'opera.

I risultati esposti sono riferiti ai seguenti aspetti:

1) **Dinamica dell'esondazione e planimetria delle aree inondate.**

a) SCENARIO 1: condizione attuale (ante intervento). I risultati della modellazione idraulica sono riportati nell'elaborato 4-1 in cui viene rappresentata la profondità della corrente sul piano campagna al transito della portata al colmo in tutte le aree coinvolte (iniluppo della condizione peggiore). L'indagine mostra quanto segue (sintesi in Figura 2-5):

- Nel tronco compreso tra il ponte di Via Nuova ed il ponte della S.P. 99, l'alveo del T. Grue è in grado di convogliare una portata non superiore a 160 m³/s a fronte di una portata al colmo di circa 270 m³/s. In questo tratto si verificano allagamenti diffusi in entrambe le sponde del Torrente Grue. Le acque esondate proseguono sul piano campagna con percorsi indipendenti, sia in destra (verso Viguzzolo) che in sinistra (verso Tortona). Il ponte della S.P. 99, pur non avendo una luce adeguata al convogliamento della portata, non risulta direttamente sormontato in quanto viene aggirato (le acque sono in grado di rientrare in alveo, in prossimità dell'impalcato del ponte, solo in fase di esaurimento della piena). In sinistra idrografica (lato Tortona) la lama d'acqua proveniente da monte interessa l'abitato di Loc. Punta di Garbagna. Una volta sormontata la SP. 99, l'acqua si dirige verso la SR. 10 per Voghera.
- Nel tronco d'alveo a valle del ponte della S.P. 99, la capacità di convogliamento dell'alveo è per lo più limitata a circa 120 m³/s, pertanto si verificano ulteriori fuoriuscite da entrambe le sponde. Il flusso delle acque percorre il piano campagna in direzione della SR. 10 per Voghera, verso l'area industriale, interessando dapprima l'area della Cava Euroter. Proseguendo nel suo percorso si evidenzia quanto segue:
 - parte dell'acqua viene intercettata al piede della SR. 10 dalla Roggia Cadé;
 - una porzione delle acque sormonta la SR. 10, con una lama d'acqua di profondità compresa entro 0.5 m, e prosegue verso Est, in direzione della zona industriale, interessando le aree comprese tra la SR. 10 ed il rilevato ferroviario, per proseguire in direzione dell'autostrada A21 attraverso il sottopasso della variante esterna ora completata. Il battente idrico che interessa l'area industriale, generalmente compreso entro 1 m, non è uniforme in quanto dipende dalla morfologia dei singoli lotti/capannoni.
 - una porzione supera la strada vicinale della cava Montemerla, in direzione Nord-Ovest, dirigendosi verso l'area della ex cava Perseghini e, attraverso la breccia

COMUNE DI TORTONA
Interventi difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale
Progetto Esecutivo
RELAZIONE IDRAULICA

aperta nel setto di separazione tra le cave, di Cava Montemerla (si segnala che, qualora il volume dell'evento sia confrontabile con quello dell'evento dell'ottobre 2014, l'acqua sarebbe comunque in grado di sormontare il setto di separazione ed interessare l'area di Cava Montemerla).

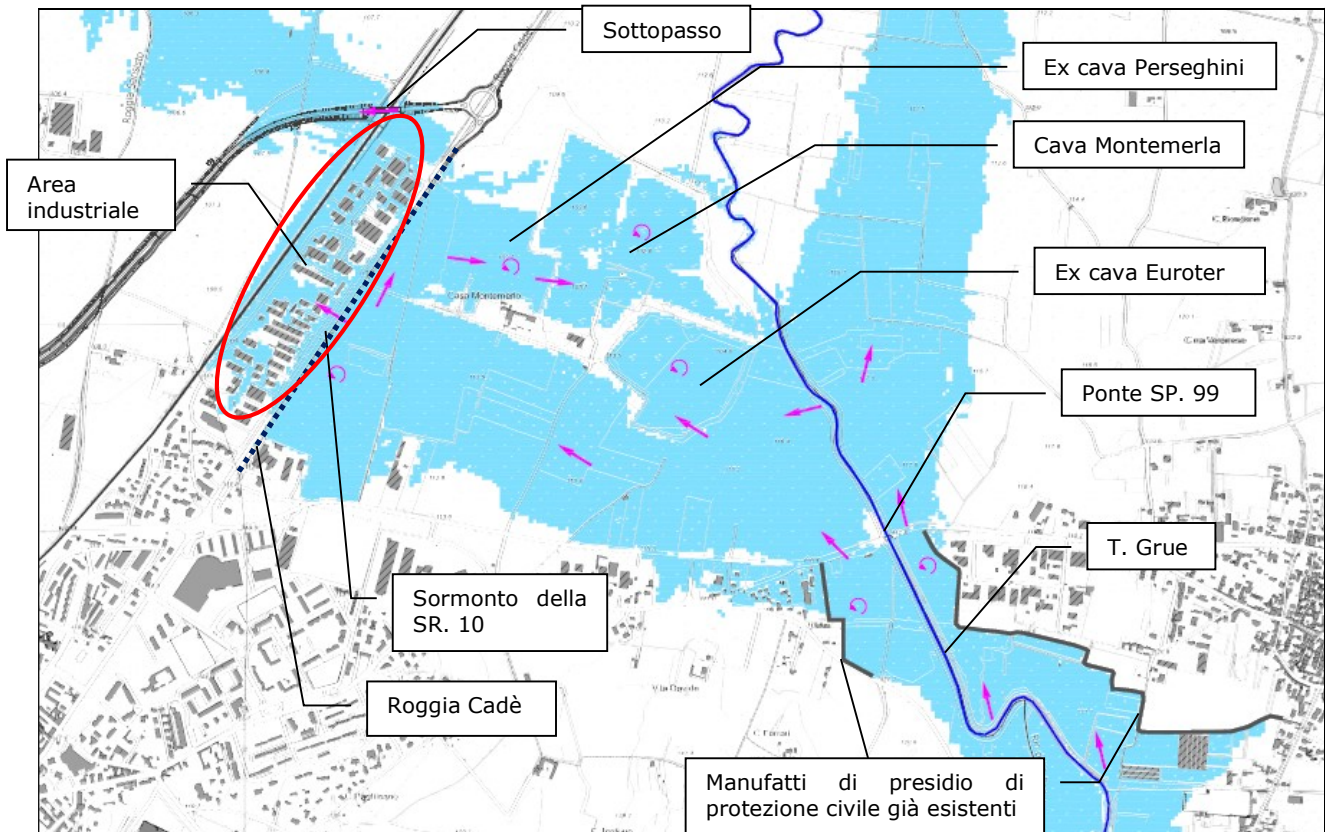


Figura 2-5. SCENARIO 1 - condizione attuale (ante intervento): schema di circolazione delle acque a cavallo del ponte della S.P. 99. In colore magenta, la direzione prevalente dell'acqua; in azzurro l'area allagata.

b) SCENARIO 2: condizione di progetto (post intervento). Si considerano gli effetti della realizzazione degli interventi richiamati al par. 2.3. Analogamente al punto precedente, i risultati della modellazione idraulica sono riportati elaborato 4-2 (sintesi in Figura 2-6). Con riferimento all'area di interesse, l'indagine mostra che, in presenza delle opere in progetto, le acque provenienti dal T. Grue che si dirigono verso la SR. 10 si adagiano al manufatto, senza giungere all'area industriale. Le acque si accumulano a tergo del rilevato del manufatto di protezione e proseguono poi verso l'area della ex cava Perseghini e di cava Montemerla in direzione Nord-Ovest, oltre la strada vicinale di cava Montemerla, seguendo la pendenza naturale del terreno.

COMUNE DI TORTONA
Interventi difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale
Progetto Esecutivo
RELAZIONE IDRAULICA

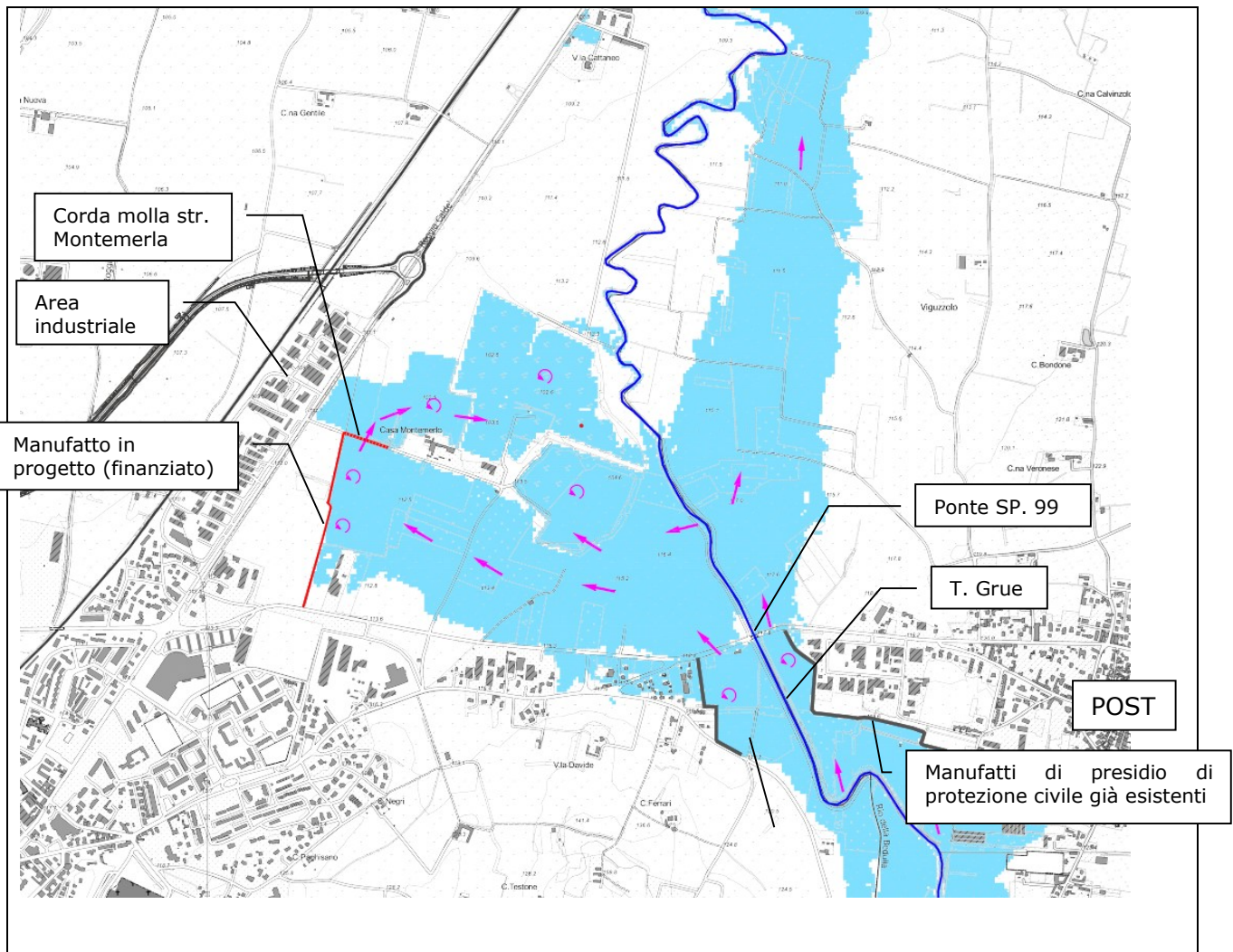


Figura 2-6. SCENARIO 2 - condizione di progetto (post intervento): schema di circolazione delle acque a cavallo del ponte della S.P. 99. Le frecce indicano la direzione prevalente dell'acqua; in azzurro l'area allagata; in rosso gli interventi in progetto (finanziati); in magenta gli interventi di completamento.

- 2) **Livelli idrometrici e profilo dell'opera.** Il progetto prevede che il manufatto di contenimento sia realizzato con adeguato franco idraulico di 1 m rispetto al pelo libero dell'evento con tr 200 anni di tempo di ritorno. Il livello idrometrico di riferimento si trova alla quota 112.50.
- 3) **Quantificazione delle possibili interferenze tra gli interventi in progetto e le condizioni di allagamento dei territori circostanti, rispetto alle condizioni idrauliche e fisiche attuali.** Gli effetti della realizzazione delle opere in progetto sono nel seguito sintetizzati (riferimenti in figura 2-6):

In merito alle aree inondabili si osserva che la porzione di territorio in fregio alla ex SR 10 non viene più interessata dagli allagamenti provenienti dal T. Grue. L'area artigianale risulta quindi protetta e il sottopasso della variante esterna non viene più interessato. Si

segnala che i territori a valle del sottopasso rimangono comunque vulnerabili in caso di piene della rete idrografica secondaria costituita da fossi e rogge.

Le aree inondabili ad Est della struttura di presidio restano invariate.

In merito ai livelli idrometrici si osserva che la realizzazione delle opere in progetto comporta un aumento pari a circa 0.05 m nelle aree inondate a monte del manufatto di presidio.

In sintesi le modifiche indotte dalla realizzazione delle opere in progetto sono riconducibili ad una effettiva protezione per l'area industriale e dei terreni retrostanti. Le condizioni di allagamento dei settori circostanti posti in fregio al lato di monte della S.P. 10 rimangono pressoché invariate, ovvero non vengono interessate aree diverse rispetto alla condizione ante intervento. Nelle aree che già attualmente possono essere allagate, l'incremento dell'altezza dell'acqua è trascurabile e comunque compatibile con la pericolosità associata all'area nell'ambito della Carta di Sintesi (ovvero aree EeA a pericolosità molto elevata classificate come IIIa).

2.5 Conclusioni

Il presente studio rappresenta gli approfondimenti idraulici predisposti a corredo della progettazione definitiva ed esecutiva degli interventi finanziati nell'ambito del Piano Operativo Ambiente FSC 2014/2020 come "Interventi di difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale" (CUP J34J18000420002).

L'area industriale risulta difendibile impedendo il superamento della SR. 10 mediante la realizzazione del rilevato di protezione in progetto in corrispondenza del tratto in cui può verificarsi il superamento della carreggiata.

L'indagine, congruente con la documentazione di riferimento (COMUNE DI VIGUZZOLO – CAPOFILA 2016, COMUNE DI TORTONA - CAPOFILA 2018), evidenzia quanto segue:

- 1) A seguito della realizzazione del manufatto in progetto la porzione di territorio a ridosso della ex SR. 10 non viene più interessata dagli allagamenti provenienti dal T. Grue. L'area artigianale risulta quindi protetta e il sottopasso della variante esterna non viene più interessato. Si segnala che i territori a valle del sottopasso rimangono comunque vulnerabili in caso di piene della rete idrografica secondaria costituita da fossi e rogge.
- 2) Le condizioni di allagamento dei settori circostanti, posti in fregio al lato di monte della SR. 10, rimangono pressoché invariate, ovvero non vengono interessate aree diverse rispetto alla condizione ante intervento.

In conclusione le modifiche indotte dalla realizzazione delle opere in progetto sono riconducibili ad una effettiva protezione per l'area industriale.

3 RIFERIMENTI

ARPA-PIEMONTE (2014): *Analisi evento 9-13 ottobre 2014*, Torino.

BARBIERI D. (2014): *Relazione tecnica sulla dinamica e sugli effetti degli eventi alluvionali del 13 ottobre 2014 relativi all'area della "Cava Montemerla" in comune di Tortona*.

COMUNE DI VIGUZZOLO (2015): *Interventi di messa in sicurezza dell'abitato di Viguzzolo dal Torrente Grue a seguito degli eventi alluvionali dell'autunno 2014 - Relazione tecnica e illustrativa*.

COMUNE DI TORTONA (2014): *Alluvione 2014: censimento danni da alluvione*, sito internet del Comune.

COMUNE DI TORTONA (2010): *Progetto Preliminare della Variante al PRG di adeguamento al PAI: "Allegato 4 - Verifica idraulica per progetto di discarica in loc. Montemerla (T. Grue)"*.

COMUNE DI TORTONA (2016): *Interventi di mitigazione del rischio idraulico. Realizzazione di un manufatto di presidio di protezione civile in Località Punta di Garbagna*.

COMUNE DI VIGUZZOLO (2015): *Interventi di messa in sicurezza dell'abitato di Viguzzolo dal Torrente Grue a seguito degli eventi alluvionali dell'autunno 2014 - Relazione tecnica e illustrativa*, sito internet del Comune.

COMUNI DI VIGUZZOLO (CAPOFILA) DERNICE, GARBAGNA, AVOLASCA, CASASCO, MONTEMARZINO, MONTEGIOCO, CERRETO GRUE, SAREZZANO, TORTONA, CASTELNUOVO SCRIVIA (2016): *"Studio idraulico dell'intero bacino del Torrente Grue"*.

COMUNITÀ MONTANA VALLI CURONE GRUE OSSONA (2003): *Verifica di compatibilità idraulica per l'adeguamento del P.R.G.C. al Piano Stralcio PAI*, inedito.

COMUNE DI TORTONA (2018): *"Valutazione del campo di inondazione del torrente Grue per evento con tempo di ritorno 50 anni - Relazione idrologico-idraulica"*.

COMUNI DI TORTONA (CAPOFILA) DERNICE, GARBAGNA, AVOLASCA, CASASCO, MONTEMARZINO, MONTEGIOCO, CERRETO GRUE, SAREZZANO, VIGUZZOLO, CASTELNUOVO SCRIVIA (2018): *"Studio idraulico dell'intero bacino del Torrente Grue - Rimodulazione della proposta di intervento"*.

APPENDICE - A. EVENTO ALLUVIONALE DEL 13 OTTOBRE 2014: RICOSTRUZIONE DELLA DINAMICA E DEGLI EFFETTI AL SUOLO A CAVALLO DEL PONTE DELLA S.P. 99 TRAMITE LE TESTIMONIANZE RACCOLTE.

In merito alla ricostruzione degli effetti al suolo e delle dinamiche dell'evento del 13 ottobre 2014, si fa riferimento a quanto osservato in occasione dei sopralluoghi ed alle testimonianze raccolte (in particolare a quelle contenute in BARBIERI D. (2014): *Relazione tecnica sulla dinamica e sugli effetti degli eventi alluvionali del 13 ottobre 2014 relativi all'area della "Cava Montemerla" in comune di Tortona*, COMUNE DI VIGUZZOLO (2015): *Interventi di messa in sicurezza dell'abitato di Viguzzolo dal Torrente Grue a seguito degli eventi alluvionali dell'autunno 2014 - Relazione tecnica e illustrativa*, COMUNE DI TORTONA (2014): *Alluvione 2014: censimento danni da alluvione*, sito internet del Comune).

Come detto il T. Grue ha dato origine a fenomeni alluvionali lungo tutta la sua asta, da Garbagna a Tortona interessando, in maniera diversificata, uno sviluppo di oltre 20 Km.

In prossimità del fondovalle, l'esonazione ha avuto origine in Comune di Viguzzolo a ridosso del confine con il territorio di Sarezzano in prossimità di Loc. Roncrosio. Le aree dell'abitato e del piano campagna circostante sono state interessate da una lama d'acqua di altezza media pari a circa 1 m.

L'esonazione si è verificata da entrambe le sponde del Torrente Grue secondo due direzioni diverse:

- 1) in destra idrografica la fuoriuscita appare per lo più dovuta alla rotta arginale verificatasi in sponda destra a monte del ponte della S.P. 99, in corrispondenza della curva in prossimità dell'immissione del Rio Sant'Antonio in Loc. Ferrara. Proseguendo nel suo percorso, l'acqua ha successivamente interessato parte dell'abitato di Viguzzolo sormontando la S.P. 99 in direzione di C.na Valli (posta a ridosso del ponte della SR. 10 per Voghera). Fuoriuscite in destra si sono verificate anche a valle del ponte della S.P. 99. La sintesi è rappresentata dalle frecce blu in Figura A- 1. Proseguendo nel suo percorso l'acqua è in parte rientrata in alveo nel tratto a monte della SR 10 per Voghera ed in parte ha proseguito il suo percorso coinvolgendo l'area di C.na Valli. Da qui una parte ha sormontato la SR. 10 all'altezza del vivaio con una lama d'acqua pari a circa 0.2 m, mentre la maggior parte ha proseguito addossandosi al rilevato della SR. 10 fino al Rio Calvenza. Lungo il Rio Calvenza le acque hanno proseguito fino ad arrivare in territorio di Castelnuovo Scrivia ⁽²⁾.
- 2) In sinistra idrografica la fuoriuscita si è originata sia monte che a valle del ponte della S.P. 99. La lama d'acqua proveniente da monte del ponte ha sormontato la S.P. 99 per congiungersi a quella fuoriuscita, sempre in sinistra, a valle del ponte. Il flusso delle acque ha così originato una lama d'acqua pari a circa 0.5 m che, percorrendo il piano campagna in direzione della SR. 10 per Voghera (si veda Figura A- 3), ha interessato anche l'area della Cava Euroter. La sintesi è rappresentata dalle frecce rosse in Figura A- 1. Proseguendo nel suo percorso l'acqua ha preso direzioni differenti:

²⁾ Nel corso dell'incontro del 22.06.2016 presso il municipio di Tortona, il rappresentante del Comune di Pontecurone ha segnalato gli allagamenti subiti nella porzione meridionale del territorio comunale. Dall'esame del campo di inondazione attribuibile al Grue (Elaborato 3), risulterebbe esclusa la responsabilità del Grue nel determinare, da solo, gli allagamenti che, invece, sono attribuibili al contributo del Rio Calvenza, il cui comportamento non è preso in considerazione nello studio.

COMUNE DI TORTONA
Interventi difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale
Progetto Esecutivo
RELAZIONE IDRAULICA

- parte dell'acqua è stata convogliata in direzione del T. Grue dal fosso di guardia della SR. 10 (si rileva che, nelle porzioni con sezione maggiore, il fosso è in grado di convogliare una portata massima di circa 6 mc/s);
- una porzione ha sormontato la SR. 10 verso Est, in direzione della zona industriale, interessando le aree comprese tra la SR. 10 ed il rilevato ferroviario, tra cui si annovera il cantiere della variante esterna ora completata.
- una porzione ha sormontato la strada vicinale della cava Montemerla in direzione Nord-Ovest (vedi Figura A- 4). Superata la strada l'acqua si è diretta verso l'area della ex cava Perseghini. Stando l'elevato volume dell'evento, che si è alimentato di due colmi successivi (vedi APPENDICE - B), l'acqua si è fortemente accumulata nell'area della ex-cava sormontando il setto di separazione con l'area estrattiva di C.na Montemerla costituito da materiali sciolti di spessore esiguo. In occasione del sormonto si è innescato un fenomeno erosivo che ha velocemente portato all'apertura di una breccia ed al collasso di parte del setto (vedi Figura A- 5) portando l'acqua ad invadere l'area di Cava Montemerla ⁽³⁾.

L'insieme dei fenomeni descritti è sintetizzato in Figura A- 1 e in Figura A- 2.

⁽³⁾ Si esclude che l'area di Cava Montemerla possa essere stata interessata per effetto diretto di esondazione dal Grue in quanto, oltre a non essere presenti tracce rilevabili del fenomeno, in questo tratto di sponda è rinvenibile un rinforzo della sponda sinistra del T. Grue, in corrispondenza del lato nord-est della cava, di lunghezza pari a circa 50 m (altezza pari a circa 1.5-2 m) realizzato a seguito dell'evento del 2000.

COMUNE DI TORTONA
Interventi difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale
Progetto Esecutivo
RELAZIONE IDRAULICA

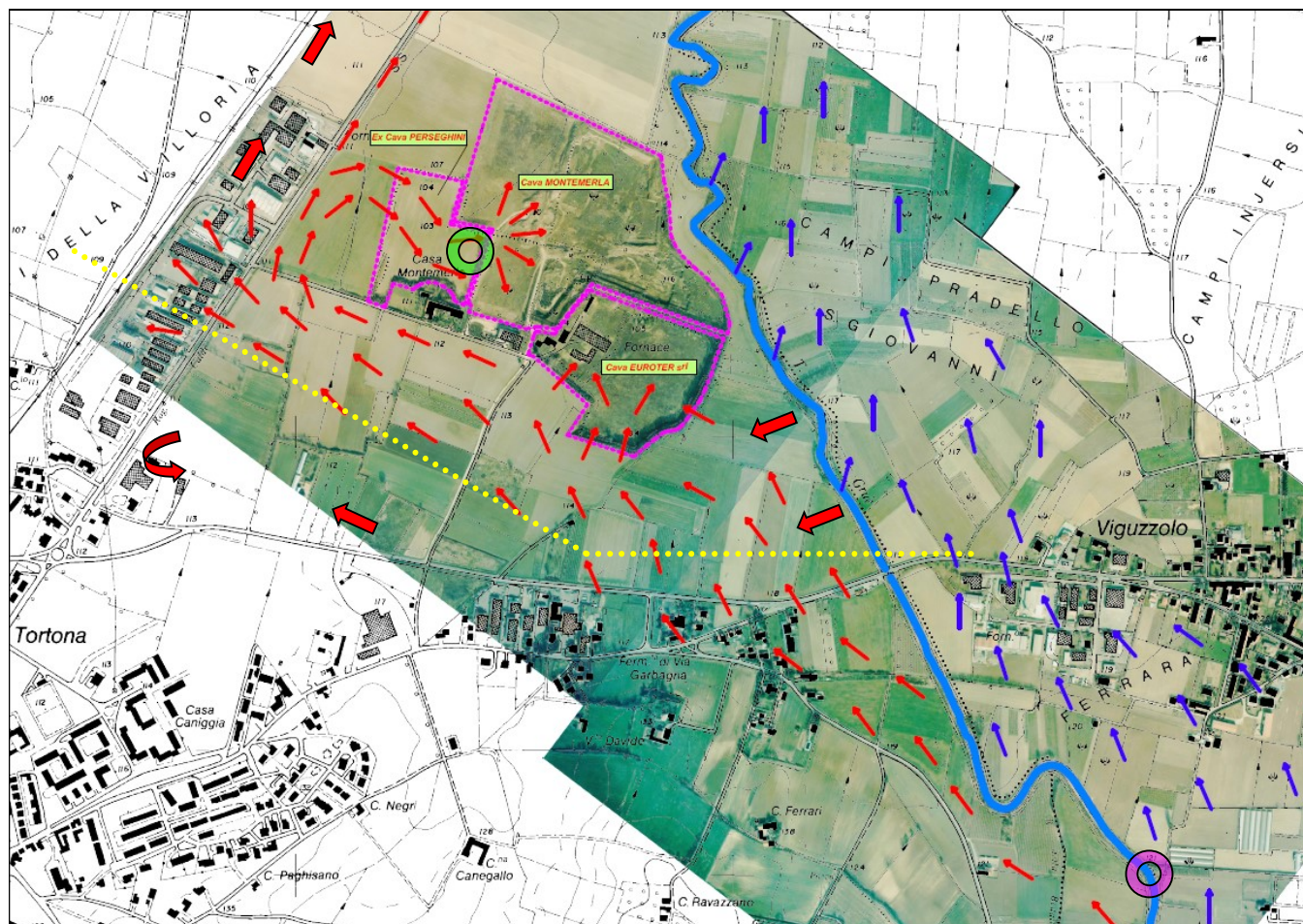


Figura A- 1. Ricostruzione delle dinamiche dell'evento del 13 ottobre 2014: in blu la direzione prevalente delle acque fuoriuscite in destra, in rosso la direzione di quelle fuoriuscite in sinistra, in magenta la rotta arginale in Comune di Viguzzolo, in verde la rottura del setto di separazione tra la ex-Cava Perseghini e area estrattiva di C.na Montemerla in giallo la traccia della sezione trasversale riportata in Figura A- 3, (tratto e modificato da BARBIERI D.-2014).

COMUNE DI TORTONA
Interventi difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale
Progetto Esecutivo
RELAZIONE IDRAULICA

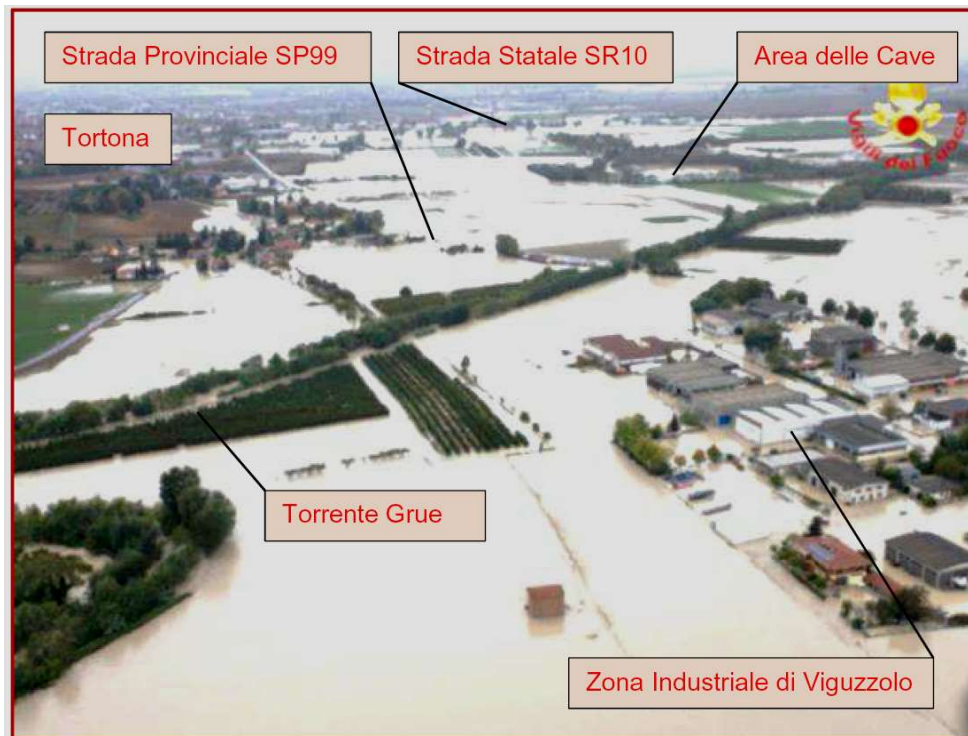


Figura A- 2. Ripresa dall'elicottero VVFF in occasione dell'evento del 13 ottobre 2014 in prossimità dell'area di interesse (tratto da BARBIERI D.-2014).

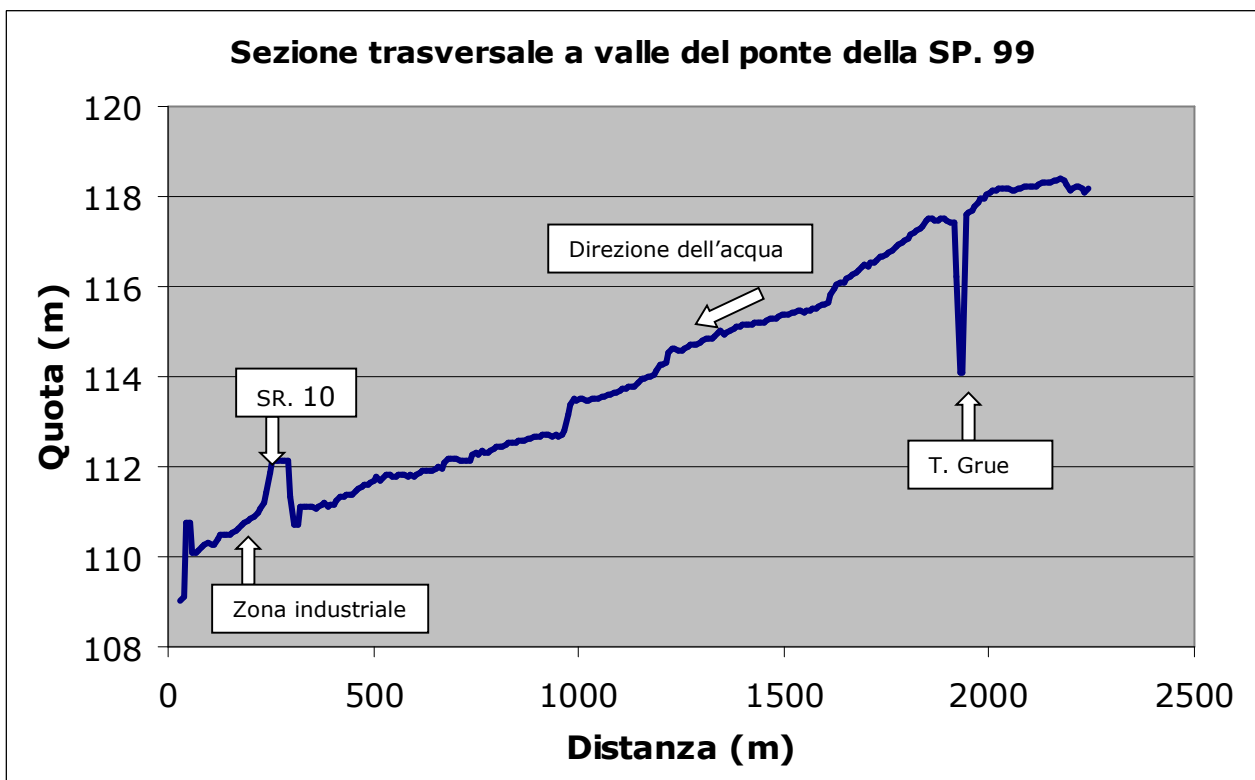


Figura A- 3. Vista da monte verso valle della sezione trasversale del piano campagna a valle del ponte della S.P. 99 (posizione in Figura A- 1). Risulta evidente la pendenza verso la SR 10 per Voghera e la zona industriale.



Figura A- 4. Ripresa dell'allagamento (vista da cava Montemerla verso la SR 10): l'acqua sormonta la strada vicinale della cava Montemerla in direzione Nord-Ovest. Sullo sfondo l'area industriale (tratto e modificato da BARBIERI D.-2014).



Figura A- 5. Ripresa della breccia che si è formata, a seguito del sormonto della lama d'acqua sul coronamento della struttura, nel setto divisorio tra la ex cava Perseghini (sullo sfondo) e cava Montemerla (tratto da BARBIERI D.-2014).

COMUNE DI TORTONA
Interventi difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale
Progetto Esecutivo
RELAZIONE IDRAULICA

APPENDICE - B. APPROFONDIMENTI E VALUTAZIONI IN MERITO ALLA CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICO - IDRAULICA DELL'EVENTO ALLUVIONALE DELL'OTTOBRE 2014.

Come specificato in precedenza, la base di riferimento è costituita dai contenuti dello "Studio idraulico dell'intero bacino del Torrente Grue" redatto per il Comune di Viguzzolo (capofila) nel 2016 e nel seguito indicato come *Studio*.

Il bacino del Torrente Grue è stato pesantemente interessato dalle precipitazioni del 13 ottobre 2014. Ad oggi i Settori regionali competenti in materia di difesa del suolo indicano l'evento citato come riferimento per le valutazioni idrologico - idrauliche nel bacino del T. Grue.

Nell'ambito del rapporto di evento redatto da ARPA-PIEMONTE (2014 - *Analisi evento 9-13 ottobre 2014*, Torino), la caratterizzazione in termini di statistici dell'evento, effettuata mediante il confronto dei valori di altezza e durata delle precipitazioni registrate con quelli relativi alle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) utilizzate dal sistema di allerta regionale, assegna alle precipitazioni registrate un tempo di ritorno pari a 200 anni ⁽⁴⁾.

Secondo la pratica che si è operativamente diffusa di attribuire alla portata la probabilità di accadimento delle precipitazioni utilizzate, l'onda di piena costituisce il riferimento per la piena duecentennale. La caratterizzazione delle portate non risulta però possibile in quanto sul T. Grue non è al momento presente una stazione idrometrica attiva.

Al fine di operare una stima dell'onda di piena transitata nel corso dell'evento del 2014, nell'ambito dello *Studio*, si è ricostruito il comportamento idrologico-idraulico del T. Grue mediante l'attivazione di un modello afflussi-deflussi alimentato con le precipitazioni registrate in occasione dell'evento.

I risultati ottenuti nell'ambito dello *Studio* con la modellazione afflussi-deflussi risultarono congruenti con le testimonianze raccolte, pertanto vennero impiegate per le verifiche idrauliche.

In occasione degli incontri tecnici tenutisi con i Settori regionali competenti a seguito della pubblicazione dello *Studio*, le indicazioni verbali occorse hanno evidenziato che sarebbe stato maggiormente cautelativo calibrare il modello idrologico incrementando la condizione di imbibizione iniziale del terreno.

A seguito di quanto esposto, richiamando quanto detto in occasione degli incontri tecnici tenutisi con i Settori regionali competenti, nell'ambito del presente studio si è operato aggiornando le valutazioni idrologiche secondo i seguenti criteri:

- 1) La stima dell'onda di piena transitata nel corso dell'evento dell'ottobre 2014 è avvenuta ricostruendo il comportamento idrologico-idraulico del T. Grue mediante l'attivazione di un modello afflussi-deflussi alimentato con le precipitazioni registrate in occasione dell'evento. Operativamente è stato impiegato il codice di calcolo Hec-1 (attivato secondo la procedura prevista per il metodo SCS) introducendo le precipitazioni registrate dalle stazioni meteorologiche automatiche di ARPA Piemonte di Garbagna e Brignano Frascata.
- 2) La caratterizzazione pluviometrica ed idrometrica (tratta da ARPA PIEMONTE - 2014: "Analisi evento 9-13 ottobre 2014") evidenzia che le stazioni meteo di interesse per il bacino del T. Grue hanno registrato, nei 5 giorni di interesse, valori cumulati pari a 342.2 mm a Garbagna e 303.4 mm a Brignano Frascata.

⁽⁴⁾ La Regione Piemonte, nei suoi rapporti d'evento, fa riferimento al metodo messo a punto in proprio (LSPP) anziché al contenuto della "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" dell'Autorità di Bacino del Fiume Po. Le divergenze esistenti fra i risultati sono riportate nel par. 5.3.1 dell'Elaborato 1 dello *Studio*.

COMUNE DI TORTONA
Interventi difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale
Progetto Esecutivo
RELAZIONE IDRAULICA

- 3) Il modello idrologico originale, predisposto in occasione della stesura della relazione idraulica citata, è stato attivato per le 48 h in cui si concentrano le precipitazioni con maggiore intensità (12 e 13 ottobre 2014) tenendo conto delle precipitazioni antecedenti e decidendo di conseguenza lo stato di imbibizione del terreno secondo le indicazioni di letteratura. Nello specifico si osserva che la pioggia totale nei 5 giorni antecedenti l'evento è pari a 39 mm (tale valore, secondo la letteratura, è collocato tra AMC-I e AMC-II). In considerazione della taratura operata al ponte di Cerreto Grue (le testimonianze raccolte indicano che il ponte non è stato scavalcato; la verifica idraulica del ponte mostra che la massima portata transitabile al di sotto dell'impalcato del ponte è dell'ordine di grandezza di circa 200 m³/s) il modello idrologico è stato attivato in condizioni di AMC-I. Il calcolo effettuato per la determinazione dell'onda di piena presumibile all'origine degli effetti dell'ottobre 2014 è da intendersi come un calcolo di verifica e non di progetto, quindi non si è ritenuto corretto attribuire le precipitazioni dell'evento ipotizzando il massimo stato di imbibizione (tale condizione potrebbe essere posta se la pioggia totale registrata nei 5 giorni antecedenti l'evento fosse superiore a 53 mm).
- 4) In considerazione delle osservazioni sollevate, il modello idrologico viene rivisto considerando quanto segue:
- Al fine di evitare le incertezze derivanti dall'attribuzione dello stato di imbibizione iniziale del terreno, la durata di attivazione del modello idrologico viene estesa a partire dal 7 ottobre 2014. In questo modo vengono inserite anche le precipitazioni registrate nei 5 giorni antecedenti l'evento (si richiama che le precipitazioni con maggiore intensità si sono verificate tra il 12 e il 13 ottobre 2014).
 - L'estensione temporale consente di simulare l'intero evento a partire da condizioni certe di imbibizione del terreno (si evidenzia infatti che tra il 1 ed il 6 ottobre non sono state registrate precipitazioni, pertanto le condizioni iniziali sono riconducibili, senza incertezze, ad AMC-I).
 - Il confronto tra i risultati ottenuti è riportato in Figura B - 1 e in Tabella B - 1.

Tabella B - 1. Revisione del modello idrologico: sintesi dei valori di portata al colmo del T. Grue calcolati sulla base delle precipitazioni registrate in occasione dell'evento dell'ottobre 2014.

	Portata al colmo al ponte di Cerreto Grue	Portata al colmo al ponte della S.P.99 di Viguzzolo	Volume complessivo dell'evento (Viguzzolo)
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³)
Modello idrologico (primo modello ormai obsoleto)	192	224	6 000 000
Nuovo modello idrologico di riferimento	227	272	7 500 000

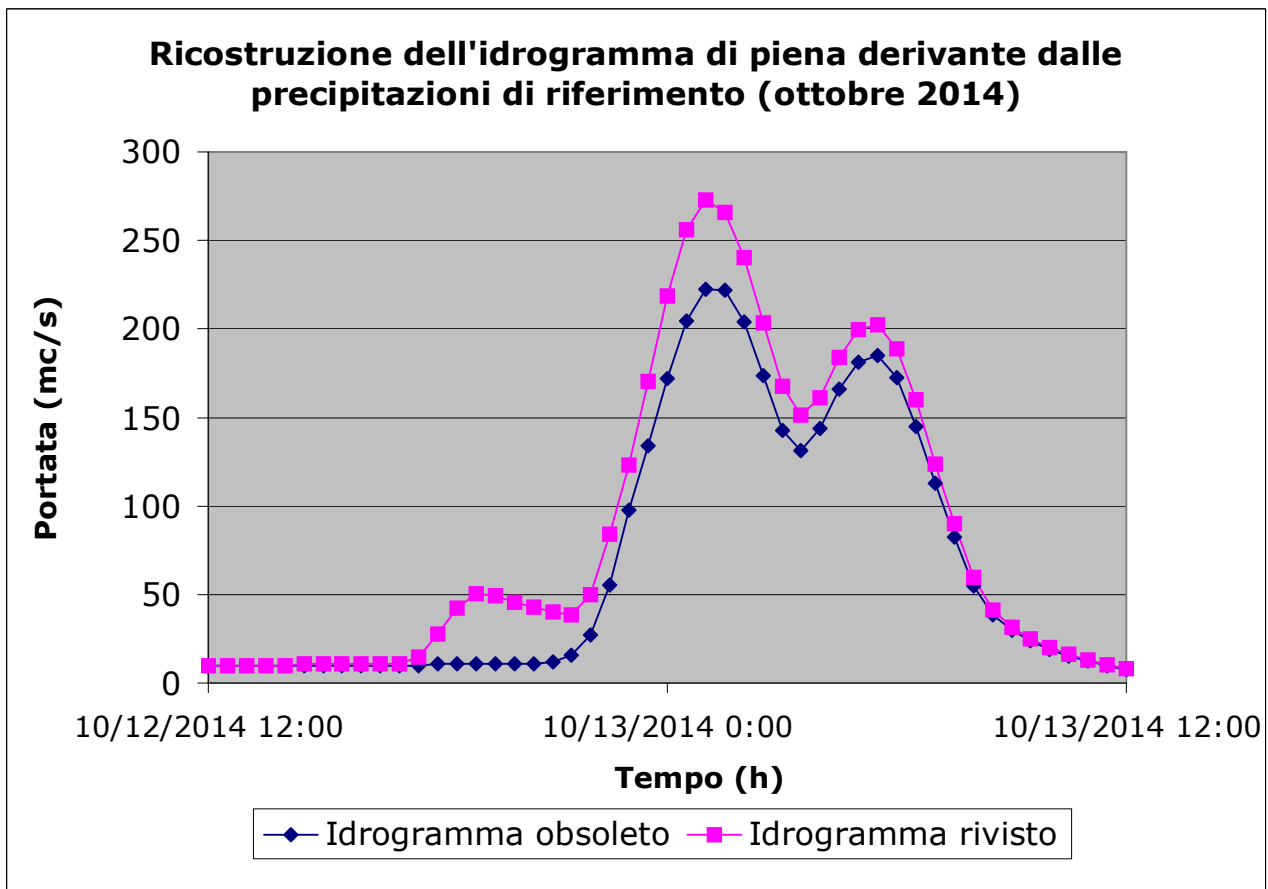


Figura B - 1. Ricostruzione dell'idrogramma di piena derivante dalle precipitazioni di riferimento (7-13 ottobre 2014) alla sezione di chiusura posta al ponte della SP 99 di Viguzzolo. Viene rappresentata la finestra temporale significativa (24 h a cavallo tra il 12 ed il 13 ottobre). Il modello idrologico è stato integrato estendendo l'analisi all'intero evento a partire dal 7 ottobre 2014 in modo tale da poter imporre condizioni certe di imbibizione del terreno (si evidenzia che tra il 1 ed il 6 ottobre non sono state registrate precipitazioni, pertanto le condizioni iniziali sono riconducibili, senza incertezze, ad AMC-I). In blu l'idrogramma, ormai obsoleto, con cui furono allestite le verifiche idrauliche facenti parte dello "Studio idraulico dell'intero bacino del Torrente Grue - 2016". In magenta il nuovo idrogramma che verrà impiegato come nuova condizione al contorno di monte per la revisione del modello idraulico. Si precisa che l'onda di piena ricavata tramite il modello idrologico ha il solo scopo di fornire le condizioni al contorno di monte da inserire nel modello idraulico. Eventuali divergenze circa i tempi di propagazione della piena riscontrati dai testimoni, ed i tempi dedotti dal grafico dell'idrogramma proposto come riferimento di progetto, sono una conseguenza dei fenomeni locali (di rilevante importanza) che si sono verificati e che hanno influenza sui tempi di propagazione della piena. I riferimenti temporali all'evento del 2014 pertanto non sono da ritenersi significativi.

COMUNE DI TORTONA
Interventi difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale
Progetto Esecutivo
RELAZIONE IDRAULICA

Sulla base delle considerazioni esposte, il nuovo idrogramma verrà impiegato come condizione al contorno di monte nell'ambito della revisione delle verifiche idrauliche (riferimenti in Figura B - 2).

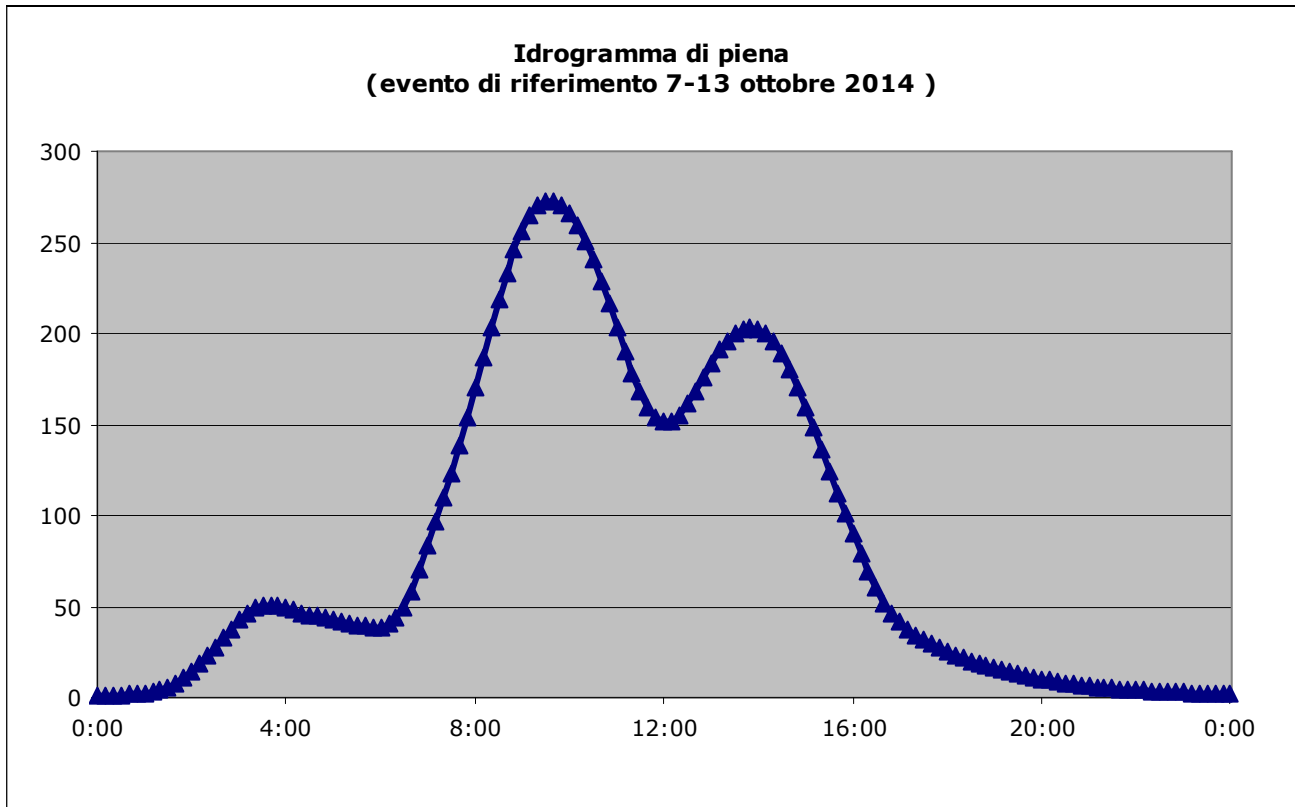


Figura B - 2. Idrogramma di piena dell'evento di riferimento (ottobre 2014), alla sezione di chiusura posta al ponte della SP 99 di Viguzzolo, impiegato per la revisione delle verifiche idrauliche.

APPENDICE - C. CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO BIDIMENSIONALE SOBEK-RURAL.

Il codice di calcolo SOBEK-Rural è uno strumento di modellazione di corsi d'acqua naturali in aree di pianura; una tipica applicazione del programma è la simulazione della progressione di un evento di piena in un'area inondabile inizialmente asciutta, tenendo conto dell'influenza di infrastrutture esistenti e/o pianificate (WL Delft Hydraulics, 2003). Il modello è in grado di simulare ogni tipo di condizioni di deflusso, sub o supercritiche ed il passaggio da un regime all'altro.

Derivato da un originario modello monodimensionale, presenta caratteristiche interessanti di sovrapposizione fra modulo 1D e 2D: permette infatti di operare un passaggio automatico da monodimensionale (moto nell'alveo incanalato) a bidimensionale (sommersione progressiva del piano campagna) e risulta, pertanto, particolarmente promettente per le indagini legate all'analisi del funzionamento delle fasce fluviali.

Il modulo 1D è costituito dalle sezioni trasversali dell'alveo a distanze appropriate l'una dall'altra, mentre il modulo 2D si basa su una griglia di calcolo a maglie quadrate, che rappresenta la regione fluviale: ad ogni cella della griglia sono assegnate la quota s.l.m. e il valore della scabrezza.

Il modello si basa sulle equazioni di De Saint Venant per il bilancio della quantità di moto e la conservazione della massa. Lo schema di soluzione utilizza il metodo delle differenze finite. Per la conservazione della quantità di moto i moduli 1D e 2D rimangono strettamente separati: le velocità sulla verticale e le forze di taglio tra 1D e 2D sono trascurate. Per la conservazione della massa, gli appropriati volumi 1D e 2D sono combinati in modo da avere congruenza dei livelli idrometrici (Figura C- 1).

Ad ogni *time step* della simulazione i risultati ottenuti nello schema monodimensionale sono usati come condizioni al contorno interne per lo schema bidimensionale, utilizzato per simulare i processi di inondazione delle aree golenali (Stelling et al., 1998; Frank et al., 2001). L'accoppiamento tra 1D e 2D avviene a livello dei punti di calcolo 1D (*calculation points*) quando si trovano sovrapposti alle celle della griglia 2D (Figura C- 2). I modi con cui l'acqua può fuoriuscire dall'alveo 1D e inondare le aree circostanti (griglia 2D) sono due:

- 1) l'acqua entra nella griglia 2D quando il livello idrometrico nell'1D supera la quota della sponda più alta o più bassa (opzione: assume highest/lowest level of embankments). In questo caso le sponde formano una barriera tra l'alveo e la griglia 2D, sia per l'acqua che fuoriesce dall'alveo, sia per l'acqua che rientra nell'alveo (Figura C- 3).
- 2) l'acqua entra nella griglia 2D non appena il livello idrometrico raggiunge la quota del terreno nella griglia 2D, mentre la parte di sponda al di sopra di tale livello è trascurata (opzione: assume no dikes). Questa opzione è utile quando non sono presenti argini e non si conosce l'esatta connessione locale tra il profilo 1D e il piano campagna (Figura C- 3).

COMUNE DI TORTONA
Interventi difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale
Progetto Esecutivo
RELAZIONE IDRAULICA

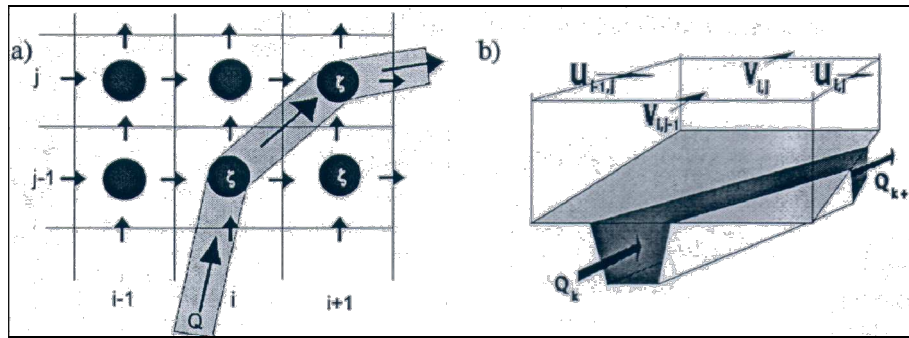


Figura C- 1. Schema del modello idraulico: a) combinazione 1D/2D; b) combinazione dei volumi 1D/2D (da: Frank et al., 2001)

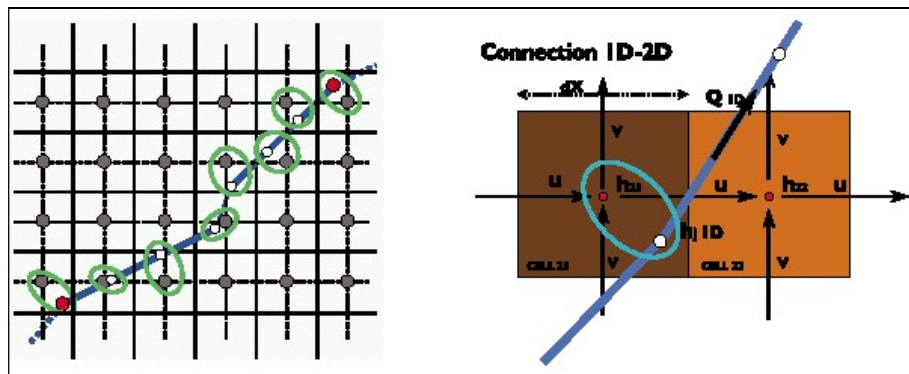


Figura C- 2. Accoppiamento tra la rete 1D e le celle 2D (h: livello idrometrico (lo stesso per 1D e 2D); u,v: velocità in direzione x e y; dX: dimensione della cella; Q: portata nel ramo 1D).(WL DELFT, 2000).

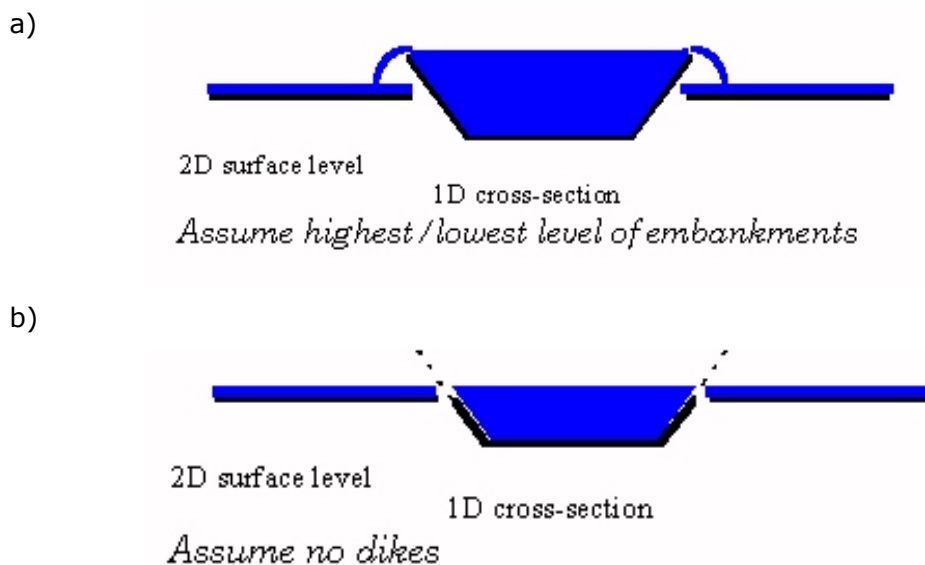


Figura C- 3. Opzioni di fuoriuscita dell'acqua dall'alveo 1D alla griglia 2D (figure tratte dalla guida in linea del programma).

Campi di applicazione e risultati ottenibili

Il modello può essere utilizzato in due modalità:

ACCOPPIAMENTO 1D-2D: particolarmente utile per lo studio dell'allagamento progressivo delle aree vicine all'alveo nel caso di un evento di piena (l'alveo è descritto tramite sezioni trasversali nel modulo 1D, mentre le zone golenali sono descritte dalla griglia 2D) o l'effetto di strutture trasversali (per esempio ponti e traverse, descritte nel modulo 1D)

SOLO 2D: utile nel caso di alvei molto ampi e ramificati. Sia l'alveo, sia le aree golenali sono descritti dalla griglia 2D. La modellazione mostra la distribuzione della corrente nell'alveo e permette di valutare i punti critici (erosioni di sponda, riattivazione di alvei antichi).

Requisiti minimi dei dati di partenza per l'uso del modello

I dati necessari per allestire il modello sono:

Topografia di dettaglio

PUNTI QUOTATI: sia l'alveo, sia la regione fluviale devono essere descritti da un numero sufficiente di punti quotati. E' importante sia la densità dei punti quotati, sia la loro accuratezza altimetrica. In generale, si ottengono buoni risultati dall'interpretazioni di ortoimmagini digitali (un punto quotato ogni 25 m², con un'accuratezza altimetrica di $\pm 20-25$ cm).

BREAKLINES: polilinee 3D che descrivono una "rottura" nel rilievo, ossia un brusco cambiamento di pendenza determinato, per esempio, da rilevati stradali e ferroviari, argini, corsi d'acqua.

SEZIONI TRASVERSALI: nel caso di accoppiamento 1D-2D lungo tutto il tronco d'alveo oggetto di studio sono necessarie sezioni trasversali ad una distanza adeguata una dall'altra (il modello interpola la geometria tra una sezione e la successiva). Nel caso di solo 2D, è necessaria almeno una sezione in uscita.

EVENTUALI STRUTTURE TRASVERSALI: ponti, traverse (larghezza, quota del coronamento, ecc.)

Dall'elaborazione in ambiente G.I.S. di punti quotati e breaklines si ottiene la griglia, a maglie quadrate, delle quote: l'ampiezza del lato delle celle della griglia è scelta in base alla densità dei punti iniziali e al caso di studio (generalmente varia da un minimo di 2-4 m, ad un massimo di 25-50 m).

Condizioni al contorno:

IDROGRAMMA/I IN INGRESSO

SCABREZZE dell'alveo e della regione fluviale

LIVELLO IDROMETRICO IN USCITA: fisso o variabile. E' attualmente in fase di sperimentazione la possibilità di utilizzare come condizione al contorno in uscita, anziché un livello idrometrico, la relazione Q-H (scala delle portate).

Output delle simulazioni

Gli output del modello, per ogni timestep di simulazione, sono:

- livelli idrometrici e velocità della corrente (scalare e vettoriale) nella rete 1D e nella griglia 2D;
- aree inondate e profondità dell'acqua in ogni cella della griglia.

I risultati possono essere agevolmente esportati in ambiente GIS per ulteriori considerazioni, per esempio, sulla massima area inondata e sulle profondità dell'acqua nelle zone inondate.

I risultati sono inoltre esportabili anche sotto forma di filmati che illustrano la progressione dell'evento di piena.

I risultati della modellazione bidimensionale permettono di conoscere la quota del pelo libero in forma discretizzata in funzione delle dimensioni della griglia di calcolo. In ogni caso, la superficie non risulta mai orizzontale sulla larghezza di una sezione. La rappresentazione del pelo libero in una sezione trasversale con un segmento orizzontale, come avviene in HecRas, non corrisponde alla realtà soprattutto in condizioni di piena. Il fenomeno era ben noto in antico. Elia Lombardini (1870; pag. 55) segnala infatti che *"E' ammesso generalmente che in tempo di piena il profilo trasversale del pelo d'acqua d'un fiume presenti un gonfiamento in corrispondenza al filone"*, fenomeno che ammetteva pure il Guglielmini, quantunque non indichi di averlo verificato con osservazioni. Egli lo attribuirebbe alla circostanza che *«essendo ivi la corrente più veloce, ogni impedimento che trovi, per piccolo che sia, le toglie molto dell'impeto antecedente; e perciò bisogna che l'acqua si elevi più in detto luogo che in altri»* (Cap. VII). Questa spiegazione collimerebbe così con quella che gli ingegneri del Mississippi avrebbero dato alla diminuzione di velocità alla superficie d'una corrente, chiamata da essi resistenza, partendo però da principi diversi. Baumgarten tentò di misurare quel rigonfiamento delle acque sul filone in una sezione trasversale della Garonna, e trovò che era di 0.112 m al confronto del pelo d'acqua alla riva destra, e di 0.025 m rispetto alla sinistra. *"Ma tale osservazione l'ha fatta in uno stato ordinario del fiume, ed è naturale il supporre che in piena quel rigonfiamento sarebbe assai maggiore"*.

Nei modelli bidimensionali, che utilizzano una rappresentazione del territorio con celle triangolari o quadrate, il moto è determinato mediante la conservazione della massa nella cella in funzione delle caratteristiche altimetriche ed idrauliche delle celle adiacenti, pertanto non vale la schematizzazione secondo cui area bagnata e pelo libero sono individuabili su di un piano ortogonale al vettore velocità media nella sezione. La direzione della corrente varia quindi da cella a cella e, con essa, la quota del pelo libero che normalmente risulta diverso tra celle confinanti. Il modello si presta a descrivere al meglio le situazioni reali in cui talvolta la corrente torna indietro a colmare depressioni o ristagna. In funzione della morfologia del terreno e delle situazioni di moto locali, il pelo libero può adagiarsi sul terreno in funzione della profondità locale non essendo più valido il concetto di velocità media nella sezione e quindi di pelo libero ⁽⁵⁾.

⁽⁵⁾ Nel caso di un modello monodimensionale, il moto è determinato dalla pendenza della linea dell'energia e il pelo libero entro la sezione bagnata si mantiene orizzontale ed uniforme in tutta la sezione rappresentata. La quota del pelo libero è determinata dalla conservazione dell'energia fra due sezioni adiacenti determinando la differenza di livello, a partire dalla sezione di valle (nel caso della corrente lenta) con un processo iterativo in base alle caratteristiche geometriche di scabrezza. Nella sezione, il calcolo procede utilizzando la media pesata della capacità di convogliamento dell'alveo inciso e delle porzioni golenali adiacenti. Lo schema resta valido per correnti incanalate (canale, alveo naturale inciso, alveo naturale con golene) pur ammettendo variazioni di scabrezza in settori diversi della stessa sezione. Nel caso in cui la configurazione dell'area attraversata dal corso d'acqua sia tale per cui, in caso di straripamento, la corrente possa avviarsi sul piano campagna adiacente e muoversi su di esso in maniera indipendente dalla corrente in alveo, lo schema del moto monodimensionale cade in quanto non più riconducibile ad un insieme di tubi di flusso paralleli.

RIFERIMENTI

LOMBARDINI E. (1870): *Guida allo studio dell'idrologia fluviale e dell'idraulica pratica*, Galli & Omodei, Milano

FRANK E., OSPAN A., COCCATO M., STELLING G.S. (2001): *Use of an integrated one dimensional-two dimensional hydraulic modelling approach for flood hazard and risk mapping*. Proceedings of the Conference on River Basin Management 2001, 11-13 September 2001, Cardiff, UK.

GUIOT E. (2004): *Valutazione della pericolosità dei fenomeni torrentizi e fluviali lungo la rete idrografica ai fini della riorganizzazione del territorio*. Tesi di dottorato, Università di Torino.

STELLING G.S., KERNKAMP H.W.J., LAGUZZI M.M. (1998): *Delft Flooding System: a powerful tool for inundation assessment based upon a positive flow simulation*. In *Hydroinformatics '98*, Babovic and Larsen (eds), 1998 Balkema, Rotterdam.

WL | DELFT HYDRAULICS (2000): *R&D 2000. Annual Report*.

WL | DELFT HYDRAULICS (2003): *SOBEK-Rural Reference Manual*.

COMUNE DI TORTONA
Interventi difesa idrogeologica torrente Grue nell'area a monte dell'area artigianale
Progetto Esecutivo
RELAZIONE IDRAULICA

APPENDICE - D. DOCUMENTAZIONE TOPOGRAFICA DISPONIBILE

L'informazione topografica deriva da quanto reso disponibile nell'ambito delle attività connessa agli Studi citati ai quali si rimanda per eventuali approfondimenti. In sintesi la topografia disponibile fa riferimento ai seguenti rilievi:

- 1) Tronco compreso tra Garbagna ed il ponte di Cerreto Grue: la geometria è rappresentata dalla restituzione aerofotogrammetrica di una ripresa aerea appositamente predisposta effettuata da Alifoto s.r.l. per conto della ex Comunità Montana Terre del Giarolo. Si precisa che il volo è stato effettuato in data 21 aprile 2010 (scala media del volo 1:8000, scala di restituzione 1:2000) e che le riprese sono state effettuate impiegando una fotocamera WILD tipo RC8. Dai protocolli di restituzione emerge una tolleranza plano-altimetrica compresa tra ± 0.30 m.
- 2) Tronco compreso tra il ponte di Cerreto Grue ed il ponte della S.P. 99 a Viguzzolo: la geometria è rappresentata dalla restituzione aerofotogrammetrica di una ripresa aerea appositamente predisposta effettuata da TECMA ROSSI srl. Si precisa che il volo è stato effettuato in data 16 gennaio 2016 e che le riprese sono state effettuate impiegando una camera fotogrammetrica Z/Imaging modello DOC, scala di restituzione 1:2000, dimensione del pixel al suolo pari a 0.14 m, tolleranza altimetrica pari a ± 0.30 m.
- 3) Tronco a valle del ponte della S.P. 99: la geometria è rappresentata dalla restituzione mediante rilievo a terra di 40 sezioni trasversali dell'alveo, dei ponti, dei manufatti (es. scolmatore) e delle linee di sponda (il rilievo dei ponti è stato effettuato mediante il rilievo geometrico del manufatto e delle sezioni di monte e di valle entro 5 m dalla struttura). Si precisa che i punti rilevati sono riferiti ai capisaldi dell'Istituto Geografico Militare (IGM) n° 070620 e 070801. Il rilievo è stato appositamente effettuato in modo tale da potersi sovrapporre con i prodotti LiDAR resi a disposizione dalla Regione Piemonte. Ai fini della predisposizione del modello idraulico, la porzione di territorio a valle del ponte della S.P. 99 viene descritta mediante l'impiego del DTM 5x5 (ripresa aerea ICE 2009-2011) realizzato per conto della Regione Piemonte che è stato acquisito con metodologia uniforme (LIDAR) in standard di livello 4. La risoluzione della griglia (passo) è di 5 m, con una tolleranza altimetrica di ± 0.30 m (± 0.60 m nelle aree di minor precisione, corrispondenti alle aree boscate e densamente urbanizzate).
- 4) Alveo della Roggia Cadè e dei manufatti di attraversamento: la campagna di rilievo a terra è stata effettuata dallo StudioTecnico "A.VI" nel gennaio 2018. Sono state rilevate n° 27 sezioni dell'alveo e n° 7 manufatti di attraversamento. Il rilievo delle sezioni è stato preceduto dalla materializzazione dei capisaldi e dei vertici di riferimento al fine di rendere congruente il rilievo con il resto del materiale a disposizione. Le sezioni sono state rilevate in posizioni significative lungo lo sviluppo della Roggia. Ogni sezione è stata prolungata sul piano campagna orizzontale alla destra ed alla sinistra idrografica dell'asta torrentizia, transitando e rilevando di questa i cigli ed i piedi delle scarpate di sponda, il pelo dell'acqua ed il fondo, con densità dei punti rilevati adatta a rappresentare adeguatamente le variazioni del profilo del terreno. I rilievi delle sezioni e delle opere sono stati rappresentati mediante sviluppo di sezioni topografiche in scala 1:100, per ognuna delle quali è stata fornita documentazione fotografica. E' stata fornita la rappresentazione planimetrica georiferita dei punti rilevati a terra in formato 3D (proiezione UTMwgs84-fuso 32).