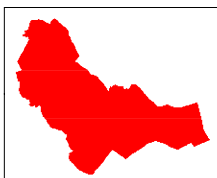




# Comune di Sinalunga

## Regolamento Urbanistico

### RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA Integrativa



#### Approvazione

Il Sindaco  
Riccardo Agnoletti

Garante della comunicazione  
Dott. Luana Della Giovampaola

Il responsabile del procedimento  
Arch. Raffaele Lepore

Ufficio urbanistica ed edilizia privata  
Geom. Roberta Cresti  
Perito Edile Massimo Tavanti  
Monica Martinelli

Percorso partecipativo  
Dott. Giovanni Iozzi

Aspetti del territorio fisico  
"Progeo Associati"  
Dott. Geol. Massimiliano Rossi  
Dott. Geol. Fabio Poggi  
Dott. Geol. Laura Galmacci  
Ing. Lorenzo Corri

Il Consulente urbanista  
Coordinatore Generale  
Prof. Arch. Gianfranco Gorelli

Consulente al progetto  
Arch. Alessandra Guidotti

Valutazione Integrata  
Dott. Arch. Silvia Viviani

Aspetti perequativi e compensativi  
Prof. Arch. Stefano Stanghellini  
Dott. Arch. Valeria Ruaro

Aspetti agronomici  
Dott. For. Ilaria Scatarzi

Consulenti urbanisti  
Arch. Serena Barlacchi  
Arch. Francesca Masi

Profili giuridici  
Avv. Enrico Amante



## SOMMARIO

1	Premessa	2
2	Definizione del reticolo di studio	4
3	Rilievo delle sezioni d'alveo e cartografia di riferimento	5
4	Analisi idrologica	6
4.1	Definizione degli afflussi meteorici	6
4.2	Determinazione dello ietogramma di progetto	8
4.3	Le perdite idrologiche	8
4.4	Risultati dell'analisi idrologica	11
5	Analisi idraulica	14
5.1	Analisi 1D Affluente del Fosso Musarone	14
5.2	Analisi 1D Fosso delle Vertighe	15
5.3	Analisi 2D del Fosso delle Vertighe	16

OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 1 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		

## 1 Premessa

La presente relazione integrativa costituisce risposta alla lettera protocollo n. 22451/N.60.30 del 24/01/2013, con la quale l'ufficio tecnico del Genio Civile Area vasta di Grosseto - Siena e Opere Marittime, congiuntamente con l'ufficio del Genio Civile di Bacino Arno - Toscana centro - sede di Arezzo, richiedevano all'Amministrazione Comunale di Sinalunga le integrazioni al deposito n. 226 del 21/11/2012.

Le analisi idrauliche, condotte ai sensi del DPGR 53R/2011, constano in modellazioni che definiscono con precisione, attraverso i normali metodi dell'idrologia e dell'idraulica, i livelli di rischio relativi alle aree indagate in merito agli eventi di piena per tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni. La probabilità di allagamento analizzata è indotta dal superamento della capacità di deflusso dei corsi d'acqua oggetto di modellazione, causa dei fenomeni esondativi. Non sono stati inclusi gli aspetti di pericolosità prodotti da collassi strutturali di argini e ponti.

Il presente studio si articola nelle seguenti fasi:

- **definizione del reticolo di studio**
- **analisi idrologica**
- **analisi idraulica**

Con l'analisi idrologica sono stati determinati gli idrogrammi di piena con tempi di ritorno trentennale e duecentennale, a partire dalle valutazioni geomorfologiche ed idrauliche riportate nei paragrafi a seguire.

Le verifiche idrauliche, eseguite sulla base di rilievi topografici di dettaglio, sono state condotte in regime di moto vario monodimensionale ed implementate con il software di calcolo Hec-Ras v.4.1.0 e, ove necessario, con modellazione bidimensionale con il software di calcolo Flo-2D, il quale consente di tenere conto dei fenomeni di transito sul territorio.

OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 2 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		

Il presente studio idrologico e idraulico risulta a corredo delle verifiche idrauliche di supporto al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga, mirate ad individuare i livelli di rischio idraulico allo stato attuale e restituire le aree allagate che consentano di definire le aree a pericolosità idraulica secondo il DPGR 53/r e smi e le norme dell'Autorità di Bacino del F. Arno.

I corsi d'acqua interessati dal presente studio sono quelli appartenenti al reticolo idrografico approvato con Delib. C.R.T. n.57 dell'11/06/2013 e aggiornato con Delib. C.R.T. n.9 del 10/02/2015.

Ulteriori elementi di potenziale criticità, di difficile trattazione analitica, esulano dagli studi del presente lavoro.

Si precisa infatti che la procedura adottata ha assunto alcune irrinunciabili ipotesi di lavoro circa la non trattazione di fenomeni collaterali che possono aver luogo contestualmente agli eventi di piena sul reticolo principale, ma aventi carattere di ulteriore eccezionalità rispetto al mero evento idrologico estremo.

In sostanza si assume, necessariamente data dall'imponderabilità spaziale e temporale dei casi di anomalo funzionamento delle difese o delle altre infrastrutture idrauliche coinvolte, l'ipotesi di regolare operatività e comportamento della rete drenante. Peraltro, non essendo un anomalo funzionamento della rete drenante in generale obbligatoriamente causato dal mero accadimento dell'evento meteorologico estremo, se considerati avvenire contestualmente ad esso determinerebbero una sicura diminuzione della probabilità congiunta dell'evento combinato portando a risultati, in termini di allagabilità e di tiranti idraulici, corrispondenti in realtà ad eventi più rari di quelli di riferimento imposti dalla normativa.

In ragione delle suddette considerazioni si assume dunque, oltre le ipotesi di non ostruzione o collasso delle strutture idrauliche, di non considerare l'influenza di allagamenti o ristagni dal reticolo scolante minore o da altri sistemi di drenaggio.

OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 3 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		

## 2 Definizione del reticolo di studio

Oggetto dell'analisi idrologico-idraulica sono i seguenti corsi d'acqua:

- Fosso delle Vertighe, nel tratto compreso tra la S.P. Siena - Cortona e la confluenza con il Fosso Reggiano, Figura 1 ;
- l'affluente in sinistra idraulica del Fosso Musarone in corrispondenza del campo sportivo di Bettolle, Figura 2.

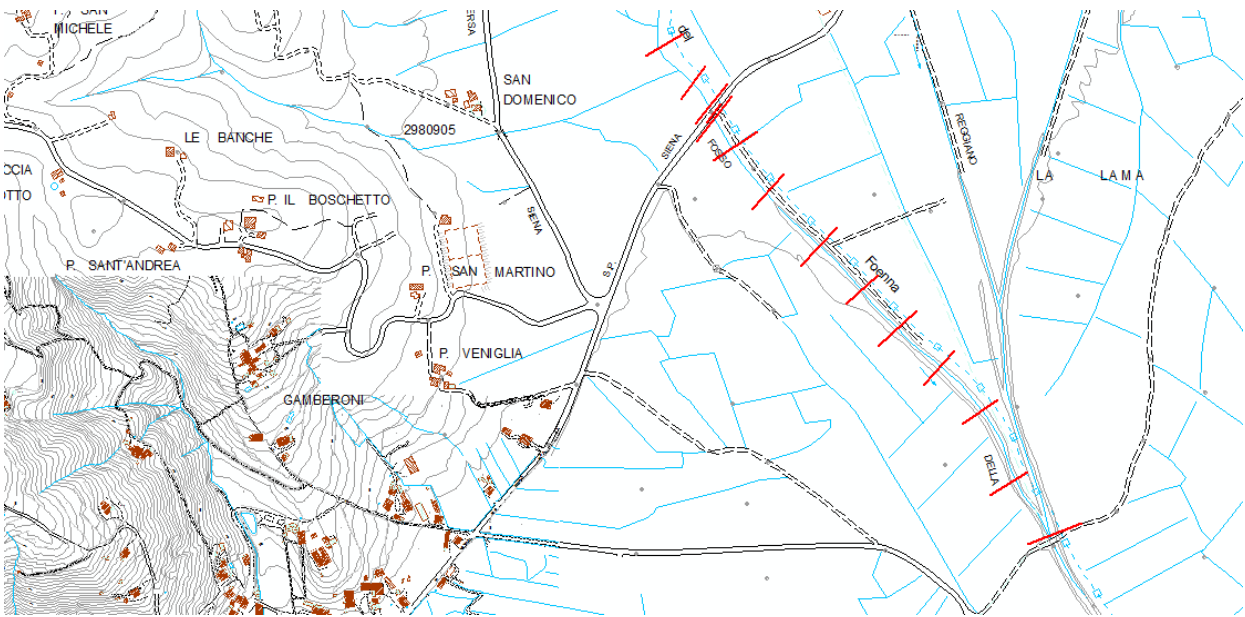


Figura 1: Inquadramento Fosso delle Vertighe.

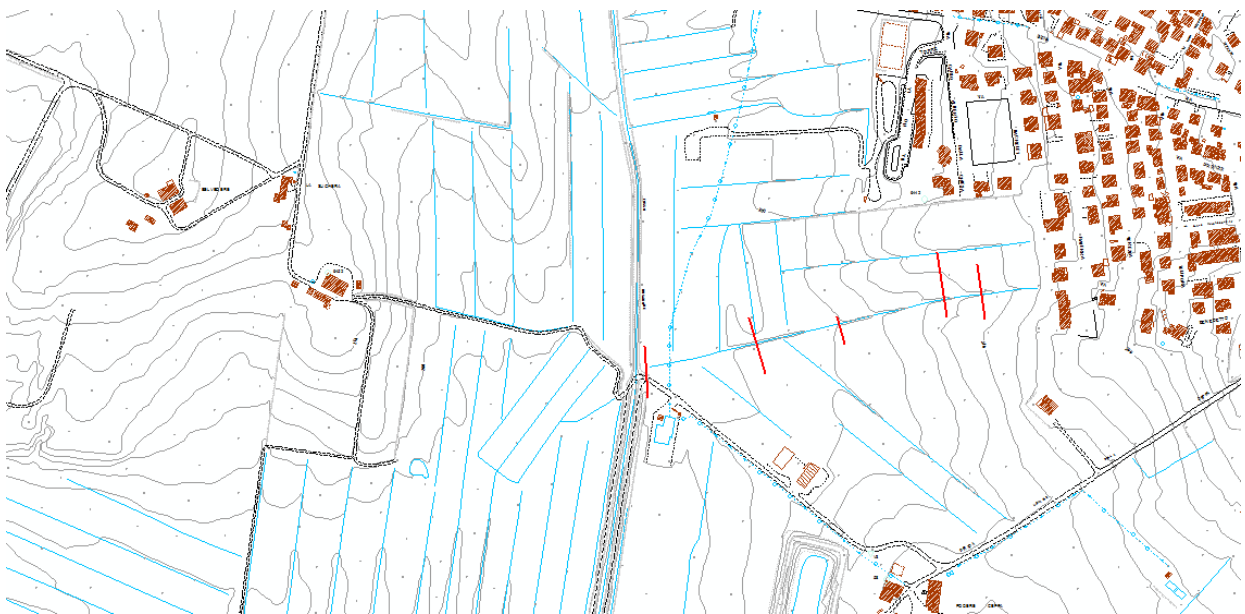


Figura 2: Inquadramento Affluente Musarone.

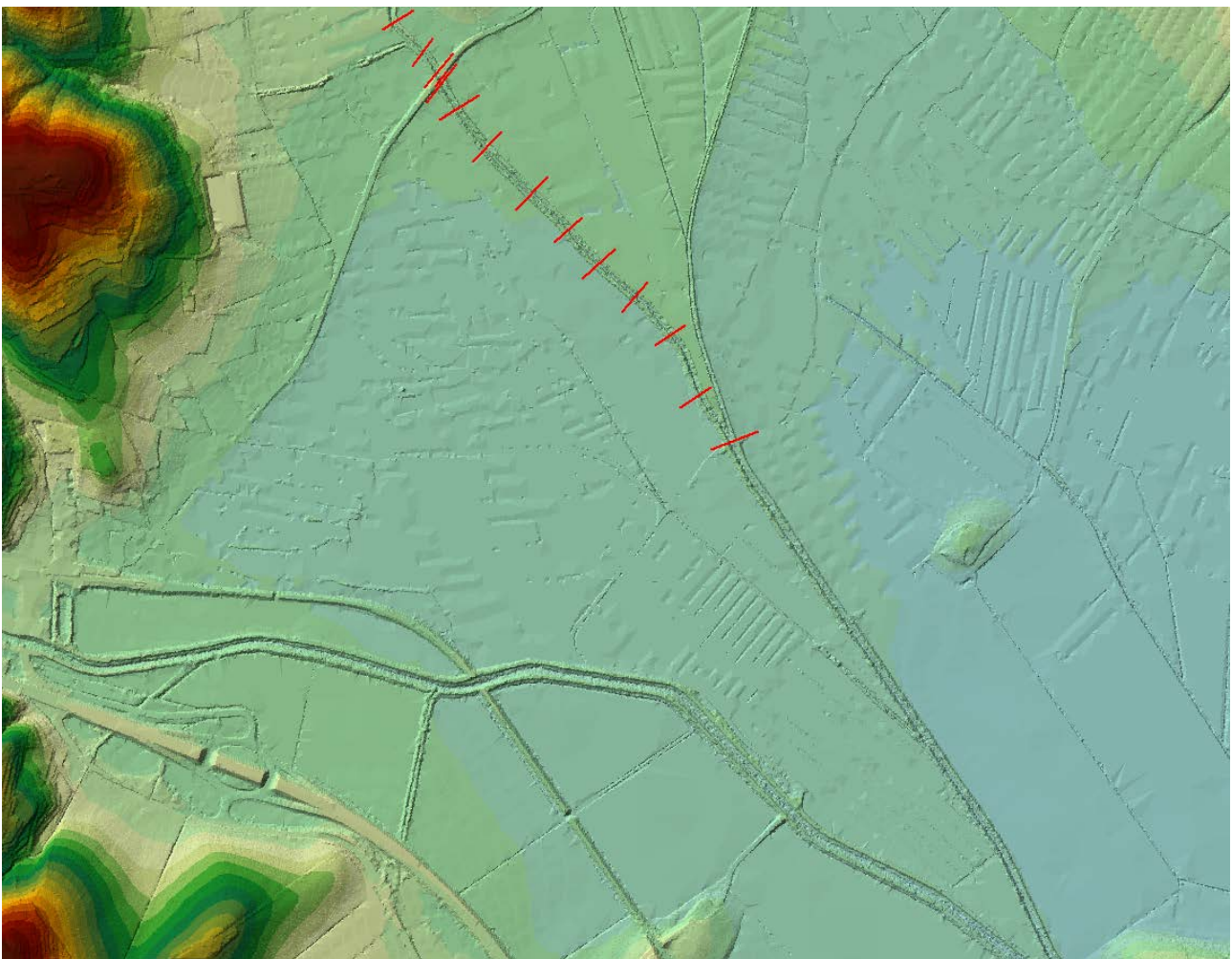
OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 4 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		

### 3 Rilievo delle sezioni d'alveo e cartografia di riferimento

Le zone oggetto del presente studio ricadono rispettivamente all'interno dei fogli 298090 e 298140 della Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000.

Per la caratterizzazione geometrica dei due corsi d'acqua indagati è stato fatto riferimento ad una campagna di rilievo condotta utilizzando un GPS a doppia frequenza a precisione centimetrica Geomax, durante la quale sono state rilevate 12 sezioni idrauliche per il Fosso delle Vertighe, su di una lunghezza complessiva del tratto indagato pari a circa 1050 mt, e n. 5 sezioni idrauliche per l'Affluente del Fosso Musarone, su di una lunghezza pari a circa 350 mt.

La definizione del modello digitale del terreno necessario all'implementazione del modello bidimensionale per il Fosso delle Vertighe ed alla perimetrazione delle aree allagate, è stata condotta sulla base dei dati LIDAR registrati dalla Regione Toscana con maglia 1 m \* 1 m. Per tali operazioni è stato utilizzato il software ESRI Arc Map.



**Figura 3:** Modello digitale del terreno definito su base dati LIDAR (fonte: Regione Toscana).

OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 5 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		

## 4 Analisi idrologica

Scopo dell'analisi idrologica è la determinazione delle portate di progetto di assegnato tempo di ritorno da impiegare come dati di ingresso per la successiva fase di modellazione idraulica delle aste fluviali di interesse.

La stima degli idrogrammi di progetto per i bacini idrografici in esame è stata eseguita secondo procedura analoga a quella riportata nella Relazione Idrologico Idraulica di supporto al Piano Strutturale del Comune di Sinalunga, con aggiornamento degli afflussi meteorici allo studio "*Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012*".

I passi per determinare l'idrogramma di piena di progetto per l'assegnato tempo di ritorno sono pertanto:

- a) definizione degli afflussi meteorici: determinazione della relazione tra altezze e durata di pioggia di assegnato tempo di ritorno per il bacino idrografico in esame (LSPP) e operazione di ragguaglio all'area;
- b) determinazione dello idrogramma di progetto: scelta della durata dell'evento e della distribuzione temporale delle precipitazioni;
- c) stima delle perdite idrologiche: determinazione della quantità di precipitazione trattenuta dal terreno, con la conseguente determinazione della pioggia effettiva che rappresenta il volume d'acqua che raggiunge per ruscellamento superficiale la rete di drenaggio fino alla sezione di chiusura, determinando l'evento di piena;
- d) trasformazione afflussi-deflussi: schematizzazione della risposta del bacino idrografico alle sollecitazioni meteoriche, in funzione delle proprie caratteristiche fisiografiche e combinazione di tale risposta con la pioggia netta per stimare gli idrogrammi di piena.
- e) propagazione delle onde di piena: modellazione del fenomeno di trasferimento dell'onda di piena lungo il corso d'acqua.

### 4.1 Definizione degli afflussi meteorici

Lo studio statistico delle piogge intense in un punto della superficie terrestre si sintetizza nella formulazione delle Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica (LSPP), ottenute a partire dall'elaborazione delle serie storiche dei valori massimi annuali delle altezze di precipitazione di

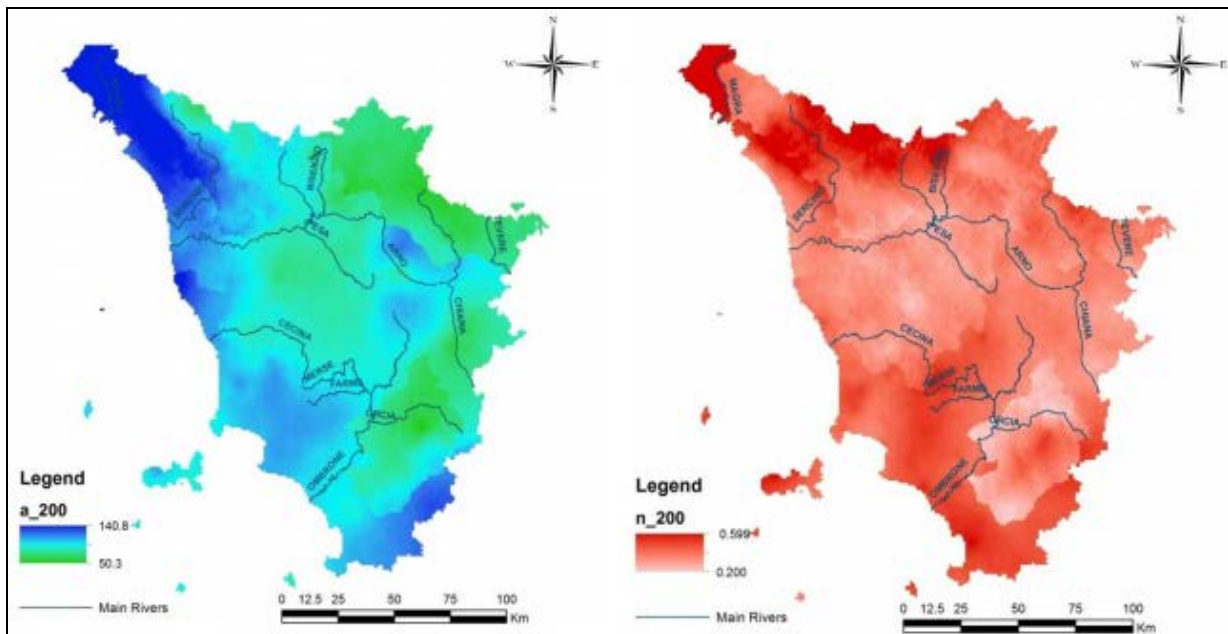
OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 6 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		

assegnata durata, fornite da registrazioni pluviometriche. Le LSPP descrivono le proprietà statistiche degli eventi di pioggia intensa a scala puntuale ed esprimono un legame tra altezza di pioggia-durata-frequenza. In particolare, per un prefissato tempo di ritorno, la corrispondente LSPP fornisce la relazione tra la durata della pioggia e la relativa altezza di precipitazione.

Nel presente studio sono stati applicati i risultati ottenuti dallo studio "*Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012*", realizzato nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, con l'obiettivo di aggiornare le analisi di frequenza delle precipitazioni estreme sul territorio toscano fino all'anno 2012 compreso.

I risultati di tale studio sono consultabili sul sito del Servizio Idrologico Regionale - Centro Funzionale Regionale di Monitoraggio Meteo - Idrologico alla pagina <http://www.sir.toscana.it/index.php?IDS=4&IDSS=19>.

Tra i risultati dello studio, disponibili sul sito Servizio Idrologico Regionale - Centro Funzionale Regionale di Monitoraggio Meteo - Idrologico, sono riportati i valori delle coppie di ASCII Grid di a e di n delle LSPP per i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni).



**Figura 4:** Spazializzazione sull'intera regione dei parametri "a" (sinistra) e "n" (destra) della LSPP per Tr 200 anni. - "*Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012*".

OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 7 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		



Nel presente studio i parametri  $a$  e  $n$ , così come riportati dallo studio "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012" sono stati determinati mediante la procedura sintetizzata di seguito:

1. sono state scaricate le mappe in formato ASCII Grid dei valori  $a$  e  $n$  delle LSPP per i diversi tempi di ritorno disponibili dal sito della Regione Toscana [http://www.sir.toscana.it/supports/download/lsp\\_2012.pdf](http://www.sir.toscana.it/supports/download/lsp_2012.pdf);
2. sono stati individuati, sulla cartografia a disposizione, i bacini imbriferi dei corsi d'acqua oggetto di analisi, sottesi alla sezione di chiusura di interesse;
3. con un tool di ArcGis (Raster Calculator) è stata ottenuta la mappa delle altezze di pioggia in funzione di ciascuna durata indagata e del tempo di ritorno di interesse mediante l'impiego della relazione  $h(t) = a * t^n$ ;
4. con un tool di ArcGis (Zonal Statistics) è stato calcolato il valor medio dell'altezza di pioggia associata ai bacini studiati in funzione della durata e del tempo di ritorno di interesse.

#### 4.2 Determinazione dello ietogramma di progetto

La durata della pioggia viene determinata assumendo che la portata al colmo con assegnato tempo di ritorno sia la maggiore tra le portate al colmo determinate da tutti gli eventi di pioggia a intensità costante ricavati dalla linea di possibilità pluviometrica areale. È possibile determinare la durata critica utilizzando diverse metodologie in funzione della modellistica afflussi-deflussi impiegata.

Sulla base del concetto di evento critico, la determinazione della durata critica mediante simulazione idrologica è consistita nell'effettuare un insieme di simulazioni con un modello afflussi-deflussi avente come dati di ingresso gli ietogrammi di pioggia di durata crescente, ottenuti distribuendo in modo uniforme nel tempo lo spessore di pioggia ricavato dalle LSPP.

#### 4.3 Le perdite idrologiche

La stima delle perdite idrologiche è condotta secondo il metodo del Curve Number proposto dal Soil Conservation Service (1972).

OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 8 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		

In funzione delle caratteristiche idrologiche, i suoli possono essere suddivisi in quattro classi di permeabilità (A, B, C e D); in Tabella 3 sono descritte tali categorie dalla A alla D con potenzialità di deflusso crescente (Chow et al., 1988), mentre in Tabella 4 sono riportati i valori di CN per condizioni iniziali intermedie, AMC Tipo II, in funzione del tipo di suolo e dell'uso del suolo stesso.

Per condizioni iniziali differenti, il CN viene determinato a partire dai valori di CN(II) relativi alla condizione AMCII mediante le seguenti relazioni analitiche:

$$CN(I) = \frac{CN(II)}{[2.334 - 0.01334 * CN(II)]} \quad CN(III) = \frac{CN(II)}{[0.4036 + 0.005964 * CN(II)]}$$

Valori API5 (Antecedent Precipitation Index) per la scelta della classe AMC (Ravazzani, 2004).

Classe AMC	Precipitazione nei 5 gg preced. (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	<5.7 (13)	(<36)
II	5.7-20.9 (13-28)	(36-54)
III	>20.9 (28)	(>54)

Descrizione delle categorie dei tipi di suolo in base al metodo del SCS (1986).

Gruppo	Descrizione
<b>A</b>	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde
<b>B</b>	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
<b>C</b>	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità d'infiltrazione a saturazione.
<b>D</b>	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Valori di CN per condizioni intermedie in funzione del tipo di suolo e del tipo di copertura.

OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 9 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		

Tipo di Copertura	Tipo di Suolo			
	A	B	C	D
<i>Terreno coltivato</i>				
Senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
Con interventi di conservazione	62	71	78	81
<i>Terreno da pascolo</i>				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone condizioni	39	61	74	80
<i>Praterie</i>				
Buone condizioni	30	58	71	78
<i>Terreni boscosi o forestati</i>				
Terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
<i>Spazi aperti, prati rasati, parchi</i>				
Buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
<i>Aree commerciali (impermeabilità 85%)</i>				
	89	92	94	95
<i>Distretti industriali (impermeabilità 72%)</i>				
	81	88	91	93
<i>Aree residenziali (impermeabilità media %)</i>				
65%	77	85	90	92
38%	61	75	83	87
30%	57	72	81	86
25%	54	70	80	85
20%	51	68	79	84
<i>Parcheggi impermeabilizzati, tetti</i>				
	98	98	98	98
<i>Strade</i>				
Pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate e con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

### **La trasformazione afflussi – deflussi**

#### L'idrogramma unitario del Soil Conservation Service (IUH-SCS)

L'idrogramma SCS è un idrogramma adimensionale definito dal SCS in base all'analisi di idrogrammi di piena in uscita dalla sezione di chiusura di numerosi bacini idrografici strumentati, di dimensioni grandi e piccole. Esso ha un vasto campo di applicazioni pratiche nel campo delle trasformazioni afflussi deflussi per la sua semplicità d'uso e per la sua generalità. Questo IUH presenta il 37.5% del suo volume prima dell'istante di picco; inoltre, i valori della portata di picco e dell'istante  $T_p$  sono stati ricavati adottando un modello semplificato di idrogramma triangolare di base  $2.67 T_p$ .

Per la definizione dell'idrogramma unitario adimensionale del SCS per è necessario specificare il tempo di ritardo  $T_1$  del bacino idrografico, che può essere valutato separatamente mediante

OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 10 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		

relazioni empiriche valide per l'area in esame oppure, in assenza di esse, a partire dal tempo di corrivazione secondo la relazione:

$$T_t = \frac{3}{5} T_c \quad T_l = \frac{3}{5} T_c$$

#### 4.4 Risultati dell'analisi idrologica

Il modello idrologico scelto è in sintesi un modello di simulazione dell'evento critico avente le seguenti caratteristiche:

- dati di pioggia da LSPP aggiornate secondo lo studio "*Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012*";
- durata critica determinata con procedimento iterativo in modo da massimizzare il valore della portata al colmo;
- riduzione del tasso di pioggia in base alla superficie del bacino sotteso e della durata dello scroscio secondo la formulazione di Raudkivi (1970);
- ietogramma costante;
- stima dell'infiltrazione mediante metodo SCS-CN assumendo in via cautelativa il valore CN (III) relativo allo stato iniziale di bacino fortemente imbibito;
- IUH del SCS con tempo di ritardo valutato mediante la relazione empirica  $T_l = \alpha A^\beta = \alpha A^\beta$ ,

dove A superficie del bacino in Km<sup>2</sup>:

- $\beta = 0.32$  e  $\alpha = 0.5$  (Regione Toscana, 1997, inserita nella Parte IV, Metodologia Operativa, del P.A.I. dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno).

Partendo dalle cartografie CTR in scala 1:10000 e CTR in scala 1:5000 sono state ricavate le informazioni geomorfologiche; dai tematismi di Piano Strutturale del Comune di Sinalunga sono poi state estratte le informazioni relative alla permeabilità, mentre gli elementi sull'uso del suolo relativi al 2013 sono stati acquisiti dai dati messi a disposizione dalla Regione Toscana.

Sulla base dei dati di permeabilità e di uso del suolo sono stati determinati, mediante l'utilizzo del software ArcGIS prima e con un'operazione di media pesata sull'area poi, i valori del parametro adimensionale CN (Curve Number) per ogni singolo bacino.

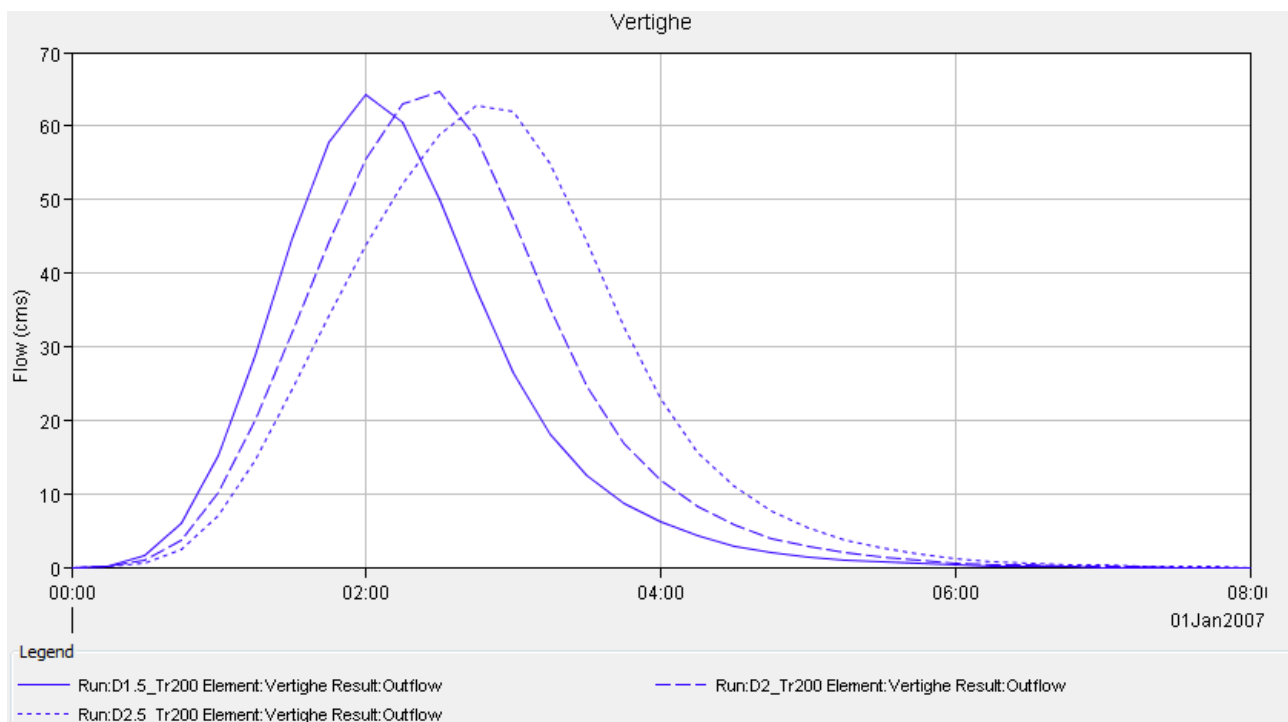
OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 11 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		

La tabella riporta per i bacini oggetto di modellazione le principali caratteristiche idrologiche degli stessi.

<b>BACINO</b>	<b>Area</b> kmq	<b>L</b> km	<b>Hmax</b> m s.l.m.	<b>Hmin</b> m s.l.m.	<b>Hmean</b> m s.l.m.	<b>LAG</b> min	<b>CN3</b>
<b>Vertighe</b>	8.49	5.50	440.00	267.00	360.00	59.48	86.7
<b>Affluente Musarone</b>	0.17	0.49	292.00	258.00	272.00	17.02	95.7

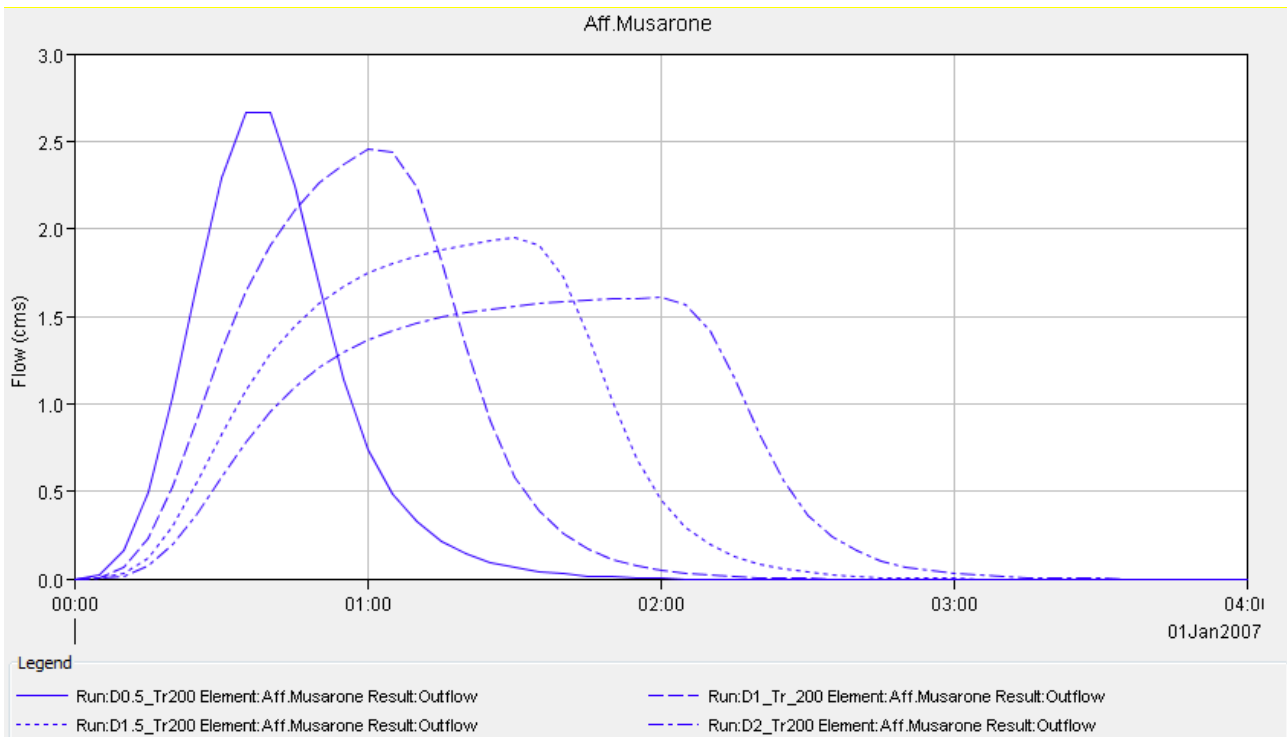
L'analisi idrologica è stata condotta con il software HEC-HMS v. 4.1 del U.S. Army Corps of Engineers (USACE).

Gli idrogrammi di progetto sono stati determinati per le durate pari a 1.5, 2, 2.5 per il Fosso delle Vertighe e per le durate 0.5, 1, 1.5, 2 ore per l'Affluente del Fosso Musarone; in Figura 5 e in Figura 6 vengono riportati i risultati delle simulazioni effettuate per i bacini idrografici in esame, per ietogrammi di pioggia uniforme e per il tempo di ritorno  $Tr=200$  anni.



**Figura 5:** Simulazioni con ietogramma costante e diverse durate per la scelta della durata critica del modello idrologico prodotto - Fosso delle Vertighe.

Pertanto, la durata critica che massimizza la portata per il Fosso delle Vertighe risulta pari a 2.0 h.



**Figura 6:** Simulazioni con ietogramma costante e diverse durate per la scelta della durata critica del modello idrologico prodotto - Torrente Gavardello.

Pertanto, la durata critica che massimizza la portata per l'Affluente risulta pari a 0.50 h.

Nella tabella che segue sono riportati i risultati della modellazione idrologica in termini di portate di picco per durate pari alla durata critica e tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni.

<u>BACINO</u>	$Q_{30}$	$Q_{200}$	$Q_{500}$
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
<b>Vertighe</b>	37.80	64.60	78.7
<b>Affluente Musarone</b>	1.70	2.70	3.3

## 5 Analisi idraulica

Le modellazioni dei fenomeni di allagamento e di transito sono state implementate utilizzando i software di calcolo HEC-RAS v. 4.1.0 e FLO-2D v. 2009.06. L'analisi è stata eseguita in regime di moto vario utilizzando gli idrogrammi di piena generanti le portate ottenute dallo studio idrologico descritto in precedenza.

Per lo studio dei fenomeni esondativi che interessano le aree adiacenti al Fosso delle Vertighe, i risultati della modellazione monodimensionale sono stati utilizzati per redigere uno schema puramente bidimensionale mediante il programma FLO-2D, in modo da simulare l'allagamento della zona.

### 5.1 Analisi 1D Affluente del Fosso Musarone

La modellazione è condotta per tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni con riferimento ad eventi meteorici di durata pari alla durata critica (0.50 h).

In riferimento ai dati e ai parametri da inserire nel software Hec-Ras, si ha che:

- la modellazione condotta è di tipo monodimensionale in moto vario con sfioratori laterali;
- come condizione al contorno di monte è inserito l'idrogramma di piena, ottenuto come descritto nei precedenti paragrafi;
- come condizione di valle è imposta l'altezza idrica del Fosso Musarone nella sezione di confluenza, così come rilevabile dagli elaborati idraulici di supporto al Piano Strutturale del Comune di Sinalunga;
- le scabrezze nel corso d'acqua sono state assunte pari a  $n_{\text{Manning}} = 0.035 \text{ s m}^{-1/3}$  per l'alveo principale e  $n_{\text{Manning}} = 0.04 \text{ s m}^{-1/3}$  per le zone golenali.

La modellazione ha consentito la determinazione dei valori del tirante idrico nelle sezioni di studio, mettendo in luce che non si hanno, per le portate di progetto, esondazioni localizzate lungo il corso d'acqua, se non una situazione di allagamento nel tratto finale, determinata dalla condizione di valle ovvero dall'immissione nel Fosso Musarone.

OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 14 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		

La perimetrazione delle aree allagabili è stata condotta sulla base dei risultati della modellazione.

Il modello idraulico implementato con il software di calcolo Hec-Ras è allegato alla presente relazione.

## 5.2 Analisi 1D Fosso delle Vertighe

La modellazione è condotta per tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni con riferimento ad eventi meteorici di durata pari alla durata critica (2.0 h).

Inoltre, in riferimento ai dati e ai parametri da inserire nel software Hec-Ras, si ha che:

- la modellazione condotta è di tipo monodimensionale in moto vario con sfioratori laterali;
- come condizione al contorno di monte è inserito in testa al modello l'idrogramma di piena, ottenuto come descritto nei precedenti paragrafi;
- come condizione di valle è imposta l'altezza di moto uniforme normal depth, imponendo come friction slope la pendenza media dell'alveo nel tratto finale del modello, pari a 0.036;
- Le scabrezze nel corso d'acqua sono state assunte pari a  $n_{\text{Manning}} = 0.035 \text{ s m}^{-1/3}$  per l'alveo principale e  $n_{\text{Manning}} = 0.04 \text{ s m}^{-1/3}$  per le zone golenali.

Da modellazioni preliminari è stato verificato che nel tratto a monte dell'attraversamento della S.P. Siena - Cortona si ha sormonto del ciglio di sponda per le portate di progetto, pertanto, al fine di poter valutare l'esondazione sul territorio dei volumi di sormonto, sono stati inseriti elementi 'lateral structure' sia in destra che in sinistra idraulica.

La modellazione ha pertanto consentito la determinazione dei valori del tirante idrico nelle sezioni di studio ed il calcolo dei volumi sfioranti nel tratto a monte dell'attraversamento della S.P. Siena - Cortona, il cui totale è riportato di seguito. Gli idrogrammi ottenuti dagli elementi 'lateral structure' sono stati quindi utilizzati come base per la realizzazione del modello bidimensionale con il software Flo-2D.

OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 15 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		



	Volumi complessivi [m <sup>3</sup> ]	
T <sub>R</sub> =30 anni	Sfioratori in destra	Sfioratori in sinistra
	<b>175</b>	<b>243</b>
T <sub>R</sub> =200 anni	Sfioratori in destra	Sfioratori in sinistra
	<b>23.498</b>	<b>9.943</b>
T <sub>R</sub> =500 anni	Sfioratori in destra	Sfioratori in sinistra
	<b>42.662</b>	<b>16.149</b>

Il modello idraulico implementato con il software di calcolo Hec-Ras è allegato alla presente relazione.

### 5.3 Analisi 2D del Fosso delle Vertighe

La preparazione dei dati di ingresso per le modellazioni bidimensionali è stata condotta nel modo seguente:

1. importazione in formato ASCII dei dati LIDAR;
2. scelta della dimensione delle celle costituenti la griglia di calcolo in base al criterio di stabilità  $Q_{\text{picco}} / A_{\text{cella}} < 0.15 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , con  $Q_{\text{picco}}$  portata massima in arrivo ad una cella e  $A_{\text{cella}}$  superficie della singola cella;
3. perimetrazione dominio di calcolo;
4. definizione scabrezze in base al tipo di superficie;
5. interpolazione quote e assegnazione quota alle singole celle;
6. verifica delle quote assegnate in fase di interpolazione automatica e, dove necessario, locale modifica manuale;
7. inserimento dati di *inflow* (idrogrammi di piena che invadono la floodplain estratti dagli sfioratori laterali dei modelli Hec-Ras);

La modellazione è stata condotta con celle quadrate di lato pari a 15 m; come dati in ingresso sono stati utilizzati gli idrogrammi sfioranti da ciascuna *lateral structure* che determinano la massima esondazione in termini di volumetrie.

La scabrezza assunta per il territorio aperto è pari a  $n_{\text{Manning}} = 0.2 \text{ s m}^{-1/3}$ .

OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 16 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		

I risultati della modellazione in termini di aree allagate sono leggibili direttamente con il software FLO-2D come mostrato in Figura 7 e sono stati utilizzati per la perimetrazione delle aree allagabili.

I risultati del modello idraulico implementato con il software di calcolo Flo-2D sono allegati alla presente relazione

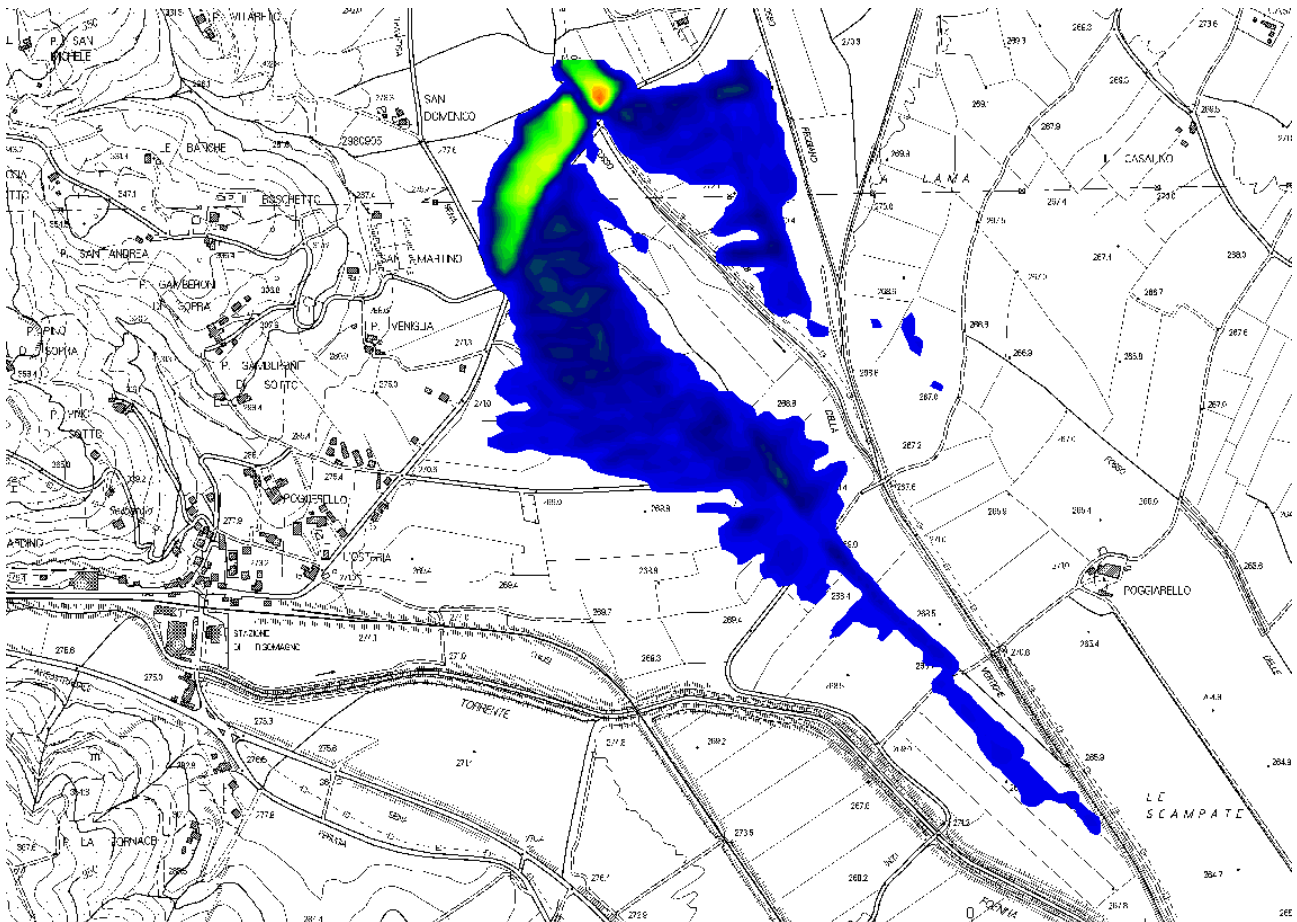


Figura 7: Analisi dei risultati con il software FLO-2D, t<sub>R</sub> = 200 anni.

Arezzo, febbraio 2016

I professionisti incaricati

Dott. Geol. Massimiliano Rossi

Ing. Lorenzo Corri

OGGETTO: Regolamento Urbanistico - Deposito n. 226 del 27/11/12 Integrazioni	Rev. 1	08/02/2016	Pagina 17 di 17
	P:\SINALUNGA\STUDIO IDRAULICO\INTEGRAZIONI\DOCUMENTI		
Comune di Sinalunga	RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA		