



**COMUNE DI SINALUNGA**

Provincia di Siena

**Studio idrologico idraulico di supporto alla richiesta di variante allo  
Strumento Urbanistico Generale Comunale**



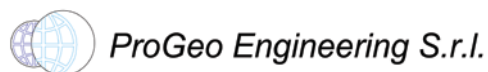
**RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA**

Committente: Sig. Fulvio Casini per conto di Immobiliare Marta sas

I professionisti:

Dott. Geol. Massimiliano Rossi

Dott. Ing. Davide Giovannuzzi



Novembre 2018



**INDICE**

1 PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....2

2 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA .....3

3 DEFINIZIONE DEL RETICOLO DI STUDIO.....5

4 RILIEVO DELLE SEZIONI D'ALVEO E CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO .....8

5 ANALISI IDROLOGICA .....9

5.1 Definizione degli afflussi meteorici..... 10

5.2 Determinazione dello ietogramma di progetto ..... 17

5.3 Le perdite idrologiche ..... 17

5.4 La trasformazione afflussi – deflussi.....21

5.5 L'idrogramma unitario del Soil Conservation Service (IUH-SCS) .....21

5.6 Risultati della modellazione idrologica .....22

6 ANALISI IDRAULICA.....24

6.1 Modellazione HEC RAS.....26

6.2 Risultati e aree allagate .....28

7 CONCLUSIONI.....29

ALLEGATI.....31

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	1 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

## 1 PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente studio idrologico ed idraulico è redatto su incarico del sig. Fulvio Casini per conto di Immobiliare Marta sas a supporto di una richiesta di variante allo Strumento Urbanistico Generale del Comune di Sinalunga.

Obiettivo del presente studio è la definizione delle condizioni di allagabilità dell'area in oggetto e per le zone contermini, con l'intento di fornire un contributo tecnico per l'aggiornamento degli studi idraulici limitatamente all'area interessata dagli allagamenti derivanti dall'esonazioni del fosso Carcerelle.

Le indicazioni circa la propensione all'allagabilità saranno fornite considerando tempi di ritorno degli eventi meteorici pari a 30 e 200 in relazione a quanto previsto dal DPGR 25.11.2011 n. 53/R "Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche" per l'individuazione delle classi di pericolosità idraulica.

Lo studio idraulico atto alla definizione delle condizioni di allagabilità è stato redatto tenendo conto dei corsi d'acqua riportati nel Reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DGRT 899/2018.

Lo studio idraulico è redatto ai sensi della LR 41/2018, in particolare sono perimetrare le aree a pericolosità per alluvioni frequenti (eventi con tempo di ritorno  $Tr \leq 30$  anni) e aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (eventi con tempo di ritorno  $30 \text{ anni} < Tr \leq 200 \text{ anni}$ ). È inoltre elaborata la carta della magnitudo idraulica, così come definita ai sensi dell'art.2 comma h della LR 41/2018.

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	2 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

L'area di interesse si trova nel centro abitato di Sinalunga (SI). L'area ricade in destra idraulica del Torrente Foenna, nella porzione di limitata a Nord dal raccordo Siena-Bettolle.

Si tratta di un'area caratterizzata da ambiente urbano prevalentemente residenziale, la stazione ferroviaria, campi agricoli e aree produttivo/industriali.



Figura 1 – Localizzazione del comune di Sinalunga (SI)

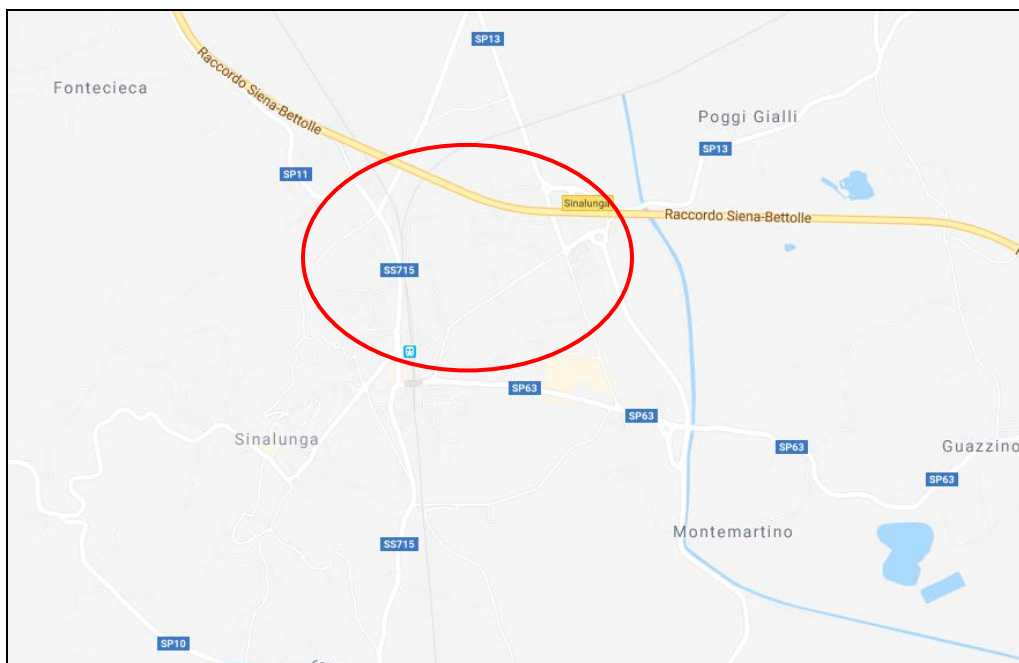


Figura 2 – inquadramento dell'area oggetto di studio su base cartografica Google maps

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	3 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

Il territorio in oggetto risulta inquadrato nei seguenti fogli della Cartografia Tecnica Regionale:

- C.T.R. scala 1:10.000: fogli 298130 e 298140;
- C.T.R. scala 1:2.000: fogli 12N07 2004 e 12N15 2004.

Il territorio in oggetto risulta inquadrato cartograficamente nei seguenti fogli del Modello digitale del terreno (DTM) con risoluzione a terra 1 metro derivante da scansione LiDAR su piattaforma aerea della Regione Toscana:

- 12N07 1x1 DTM 2008
- 12N15 1x1 DTM 2008

Dal punto di vista idrografico il territorio è attraversato da un corso d'acqua che costituisce l'oggetto interesse della presente relazione: il Borro di Carcerelle.

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	4 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

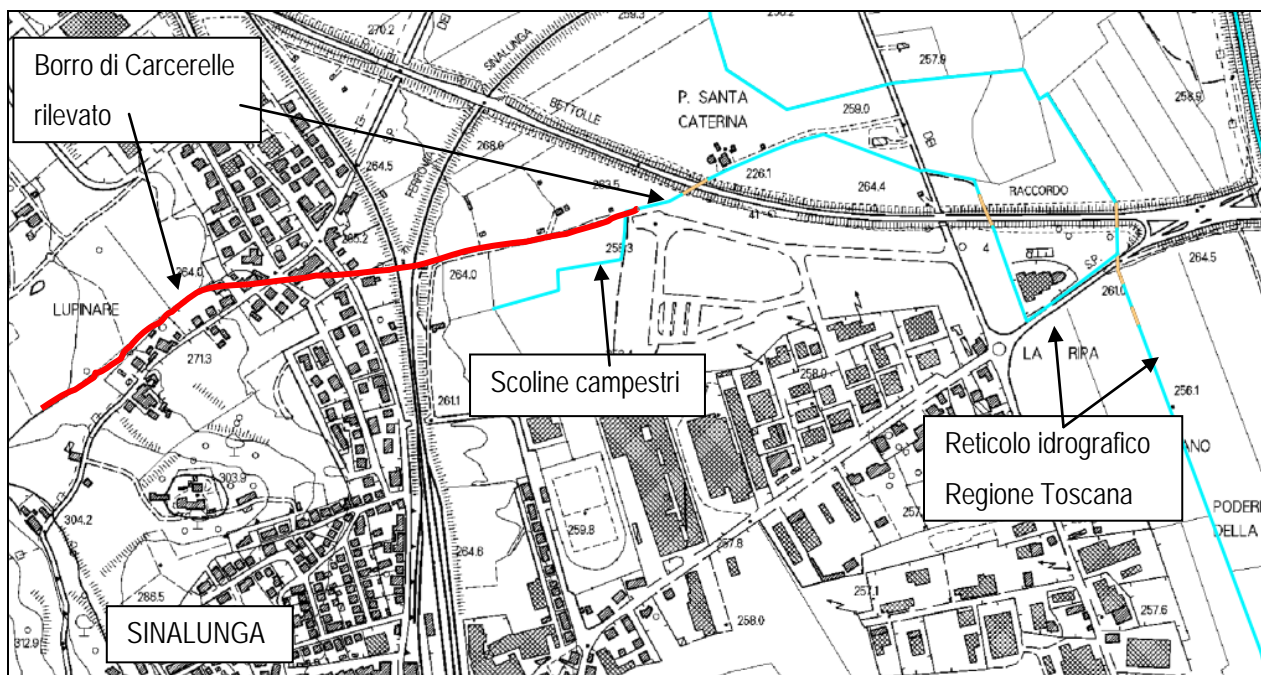


### 3 DEFINIZIONE DEL RETICOLO DI STUDIO

La definizione delle aste di studio oggetto di modellazione per la definizione delle condizioni di allagabilità è stata condotta a partire dal Reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DGRT 899/2018.

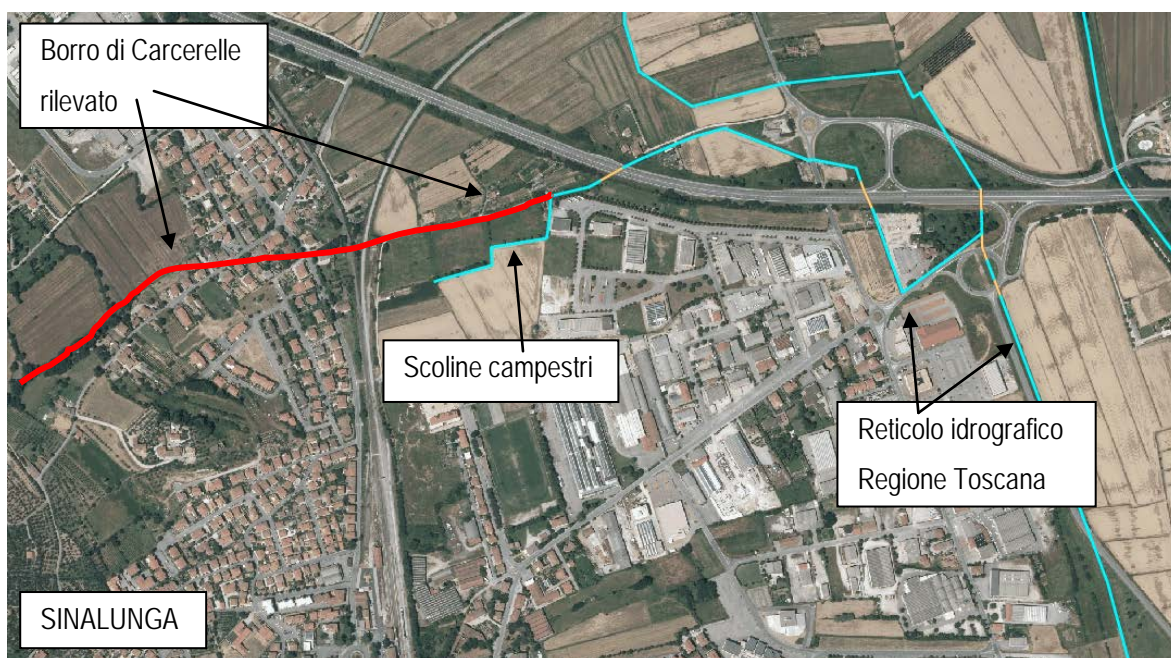
Il reticolo idrografico regionale non corrisponde con quanto rilevato nel territorio, nello specifico il reticolo regionale non comprende la parte di monte del Carcerelle (in Figura 3 evidenziato in rosso), ma considera delle aste che in realtà sono scoline campestri (indicate in Figura 3). La definizione del percorso del Carcerelle che sarà oggetto di modellazione idraulica deriva da quanto esposto dal quadro conoscitivo del Piano Strutturale vigente del Comune di Sinalunga.

L'asta fluviale oggetto di studio è il borro di Carcerelle, nel suo percorso da ovest verso est, attraversa l'abitato di Sinalunga tramite tombamento, per poi continuare a cielo aperto nei pressi della ferrovia Sinalunga-Arezzo, da qui scorre attraverso campi agricoli fino a sottoattraversare due volte il Raccordo Siena-Bettolle prima di terminare il percorso nel ricettore, il Fosso Casalpiano.

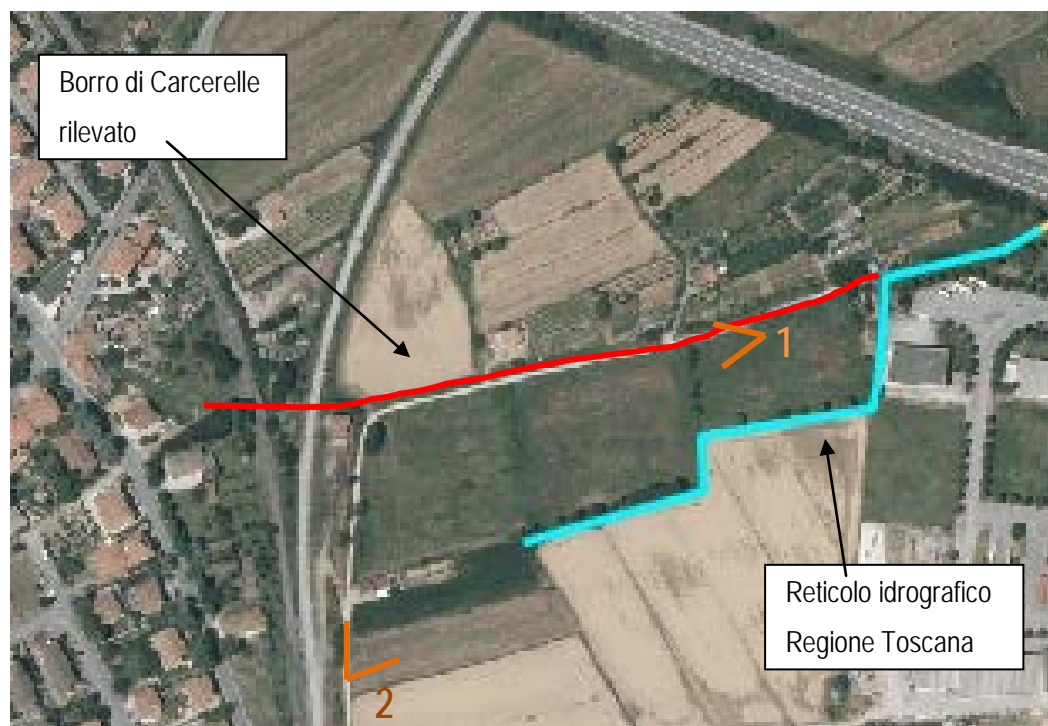


**Figura 3 – inquadramento geografico su base CTR 1:10.000 con evidenziati i percorsi delle aste fluviali di cui al Reticolo Regionale (aste celesti) e il percorso effettivamente rilevato nel territorio del Borro Carcerelle (asta rossa)**

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	5 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			



**Figura 4 – inquadramento geografico su base ortofotocarta con evidenziati i percorsi delle aste fluviali di cui al Reticolo Regionale (aste celesti) e il percorso effettivamente rilevato nel territorio del Borro Carcerelle (asta rossa)**



**Figura 5 – inquadramento fotografico su base ortofotocarta**

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	6 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			





**Figura 6 – fotografia n.1 vista del Borro di Carcerelle**



**Figura 7 – Fotografia n.2 vista dei campi agricoli con presenza di semplici scoline di campo**

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	7 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

#### 4 RILIEVO DELLE SEZIONI D'ALVEO E CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO

La caratterizzazione geometrica del Fosso di Carcerelle è stata condotta a partire dal rilievo piano altimetrico appositamente realizzato allo scopo, con strumentazione GPS GeoMax con precisione centimetrica a doppia frequenza.

Sono stati complessivamente modellati circa 1.2 km di asta idraulica con l'utilizzo di 29 sezioni idrauliche, a queste si è aggiunto il rilievo della geometria del tratto tombato che sottoattraversa l'abitato residenziale di Sinalunga e i culvert costituiti dal passaggio al di sotto della ferrovia, della superstrada e di vari attraversamenti riferiti alla viabilità locale.

L'asta modellata comprende un tratto a monte del sottoattraversamento dell'abitato di Sinalunga fino a comprendere il primo sottoattraversamento di raccordo Siena Bettolle, dove è posta la sezione di chiusura. Il restante tratto del Borro di Carcerelle non è influente sulla perimetrazione delle aree allagate, in quanto la zona di valle è soggetta ad esondazioni di maggior entità dovute al Fosso di Casalpiano e al Torrente Foenna.

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	8 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

## 5 ANALISI IDROLOGICA

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

Per bacini idrografici non strumentati, quali quelli in oggetto, l'approccio più applicato è l'utilizzo di una modellistica afflussi-deflussi basata sulla stima delle precipitazioni che costituiscono i dati di ingresso per il modello idrologico.

La stima degli idrogrammi di progetto è eseguita considerando valida l'ipotesi che la portata defluente associata ad uno specifico tempo di ritorno sia determinata da una sollecitazione meteorica di pari probabilità di accadimento.

I passi, di seguito descritti, per determinare l'idrogramma di piena di progetto per ogni assegnato tempo di ritorno, sono:

- stima della relazione tra altezze e durata di pioggia di assegnato tempo di ritorno per i bacini idrografici in esame (linee segnalatrici di possibilità pluviometrica - LSPP) e operazioni di ragguaglio all'area;
- determinazione dello idrogramma di progetto: scelta della durata critica dell'evento e della distribuzione temporale delle precipitazioni;
- stima delle perdite e 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;
- schematizzazione della risposta del singolo bacino idrografico alle sollecitazioni meteoriche, in funzione delle proprie caratteristiche fisiografiche e combinazione di tale risposta con la pioggia netta per stimare le portate di progetto.

La stima delle portate di progetto è condotta sul bacino idrografico definito in base al reticolo delle aste idriche come definito nei paragrafi precedenti, con sezione di chiusura posta a valle del attraversamento del Raccordo Siena Bettolle.

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	9 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			



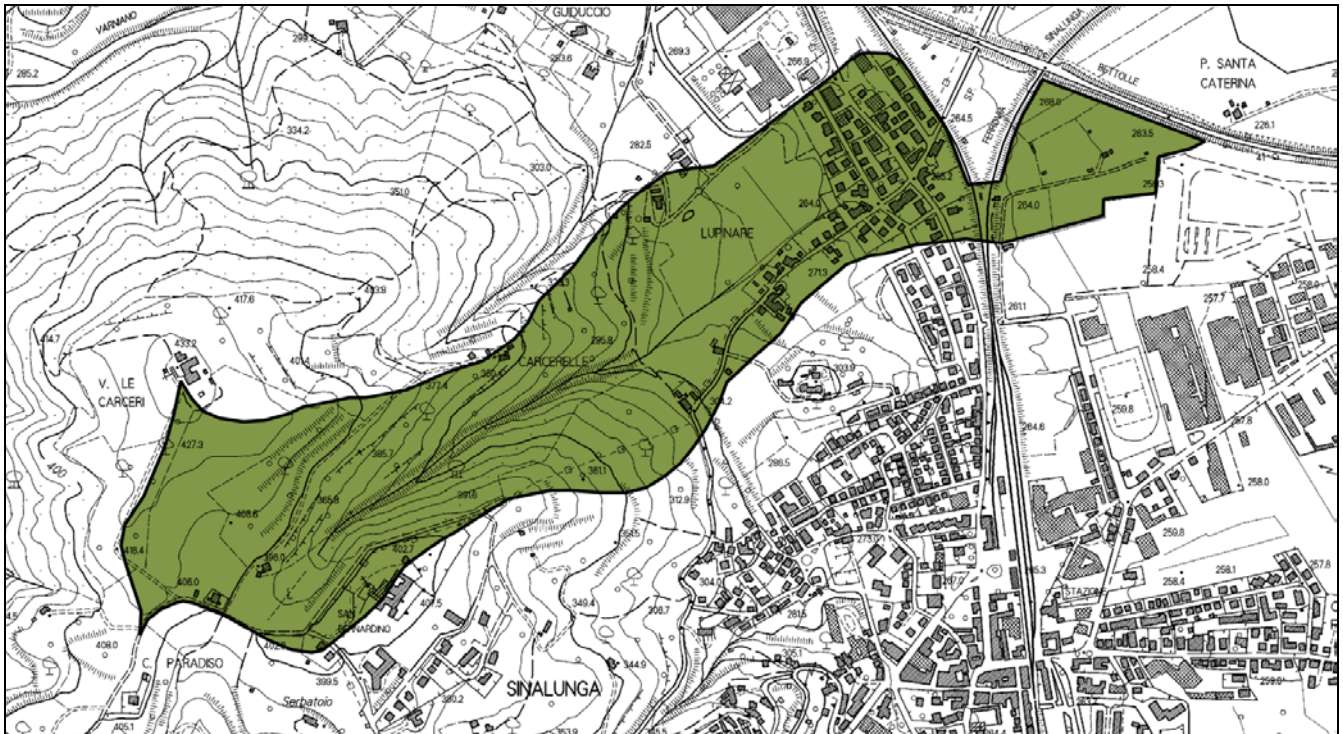


Figura 8 – Individuazione del bacino idrologico di studio.

### 5.1 Definizione degli afflussi meteorici

Il primo elemento fondamentale nella creazione di un modello idrologico è costituito dalla stima degli afflussi meteorici: lo studio statistico delle piogge intense in un punto della superficie terrestre si sintetizza nella formulazione delle Linee Segnatrici di Probabilità Pluviometrica (LSPP), ottenute a partire dall'elaborazione delle serie storiche dei valori massimi annuali delle altezze di precipitazione di 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 e 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.

Per la stima delle LSPP per l'area in esame è stato fatto riferimento ai risultati dello 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.

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	10 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			



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>.

Il primo passo in una procedura di regionalizzazione è l'individuazione di regioni omogenee, all'interno delle quali le grandezze, o meglio le loro distribuzioni di frequenza, hanno alcune caratteristiche comuni.

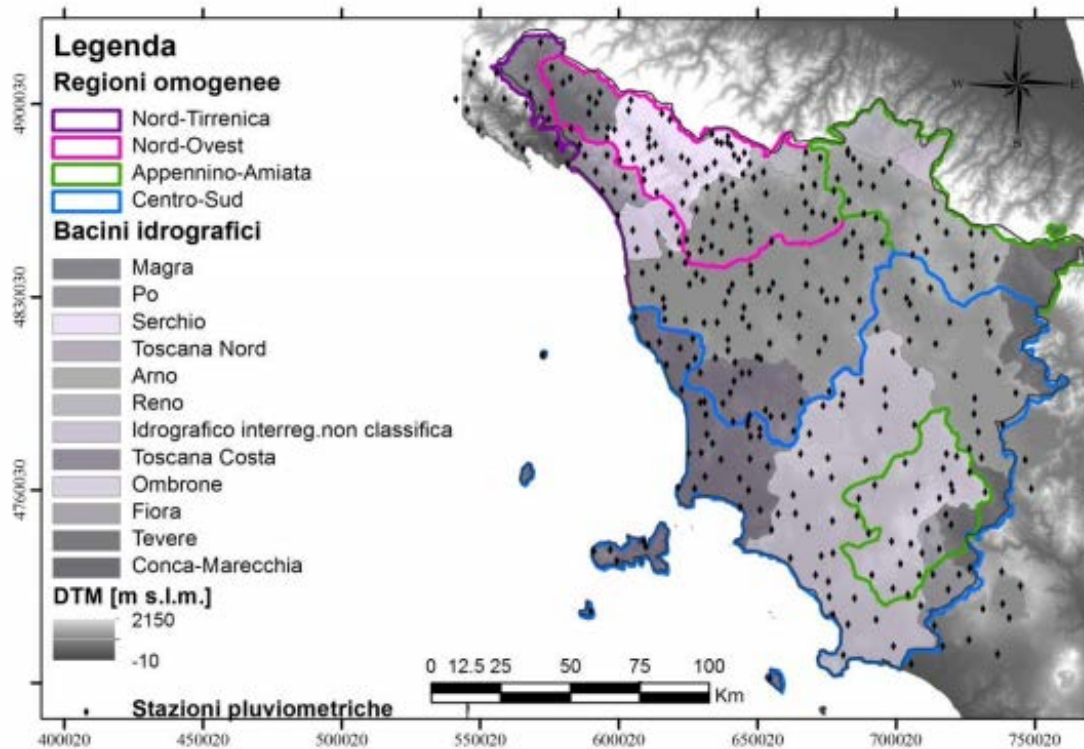
Nello studio "*Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSP - Aggiornamento al 2012*" per la stima della variabile casuale  $h_t$ , massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata  $t$ , è stato utilizzato un metodo basato sulla legge di distribuzione probabilistica TCEV Two-Component Extreme Value secondo un approccio gerarchico a tre livelli.

Al primo livello di regionalizzazione sono state individuate una o più zone omogenee all'interno delle quali si può ammettere costante il coefficiente di asimmetria teorico. Al secondo livello di regionalizzazione sono state individuate delle sottozone omogenee nelle quali si può ritenere costante, oltre al coefficiente di asimmetria teorico, anche il coefficiente di variazione teorico e al terzo livello di regionalizzazione sono state infine individuate delle aree omogenee all'interno delle quali si ricercano delle relazioni tra la pioggia indice  $\mu$  e le caratteristiche geografiche del sito.

L'area di studio indagata comprende i bacini idrografici dei corsi d'acqua principali della Regione Toscana, come l'Arno, il Serchio e l'Ombrone Grossetano, bacini più piccoli di fiumi della costa tirrenica e i bacini attigui dei Fiumi Magra e Fiora. Una volta validato il set dei dati (aggiornati all'anno 2012) è stata ottenuta la consistenza definitiva delle serie temporali di valori annui di pioggia massima.

Tra le varie ipotesi di suddivisione in regioni omogenee del territorio di studio è stata scelta, dopo opportune verifiche, quella in 4 regioni: NORD-TIRRENICA, NORD-OVEST, APPENNINO-AMIATA, CENTRO-SUD coincidenti con le 4 subregioni.

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	11 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			



**Figura 9** - Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee - "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012"

Con altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in mm, si intende l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale e impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) trascurando le perdite.

La stima delle altezze di pioggia per le diverse durate caratteristiche (1, 3, 6, 12 e 24 ore) e i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni), sono state ottenute come prodotto dei valori della pioggia indice  $\mu$  per le diverse durate ed il fattore di crescita adimensionale  $K_T$  per i diversi tempi di ritorno validi per ognuna delle 4 regioni individuate nello studio in oggetto.

Per quanto qui di interesse, nello studio "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012" la previsione quantitativa dei valori estremi di pioggia in un determinato punto è stata effettuata anche attraverso la determinazione della curva o linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP può essere comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	12 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

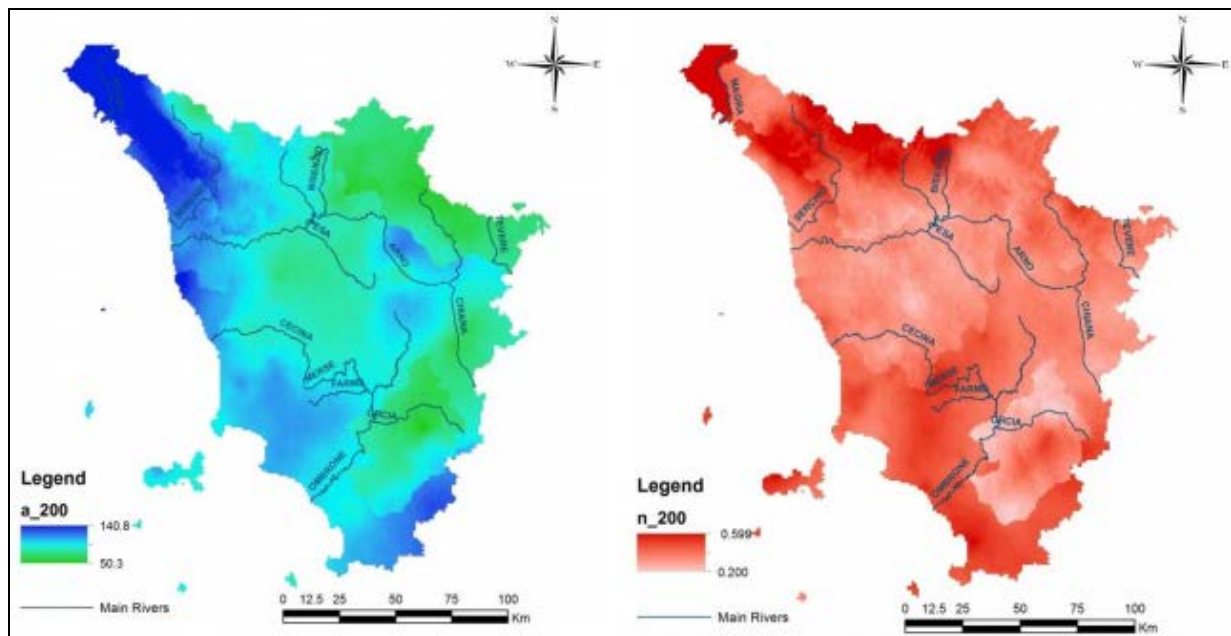
$$h(t) = a * t^n$$

con:

- h = altezza di pioggia [mm]
- t = durata [ore]
- a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

Note le altezze di pioggia per durate e tempi di ritorno fissati, attraverso una regressione logaritmica è possibile determinare le griglie di 1 km su tutta la regione dei parametri a e n.

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 10** - 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"

Nel presente studio idrologico-idraulico i parametri a e n, così come riportati dallo studio "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012", ed utilizzati per il calcolo degli afflussi meteorici, sono stati determinati mediante la procedura sintetizzata di seguito:

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	13 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

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. è stato individuato, sulla cartografia a disposizione, il bacino imbrifero di interesse ed è stato creato un file in formato raster;
3. è stata estratta la parte di raster dei coefficienti  $a$  e  $n$  associata all'intero bacino oggetto di studio, da cui a questo punto è stato possibile ottenerne i valori medi.



**Figura 11** – Valori dei parametri caratteristici delle LSPP  $a$  e  $n$  per i vari tempi di ritorno sul bacino di interesse

Bacino	Area [km <sup>2</sup> ]	Tr	a	n
Borro Carcerelle	0.6	30	45.737	0.235
		200	63.618	0.298

**Tabella 1** – Superficie del bacino e parametri LSPP riferiti all'intero bacino

Nel caso in esame si è considerato i parametri  $a$  e  $n$  per due diversi tempi di ritorno: 30 e 200 anni.

Nello studio delle precipitazioni atmosferiche risulta poi necessario porre l'attenzione sulla distribuzione temporale e spaziale delle piogge.

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	14 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			



Le LSPP forniscono, per una prefissata durata della pioggia,  $T_p$ , ed un tempo di ritorno,  $T_r$ , l'intensità media dell'evento, senza però dare indicazioni sulla distribuzione temporale della precipitazione stessa nell'intervallo di tempo considerato. Tale aspetto risulta essere non secondario, poiché la portata defluente in una data sezione di un corso d'acqua dipende (oltre che dalle caratteristiche del bacino idrografico) dalla distribuzione spaziale e dall'andamento temporale della precipitazione, ed in particolare da:

- intensità massima di pioggia all'interno dell'intervallo di tempo  $T_p$ ;
- posizione del punto di intensità massima;
- volume di precipitazione caduto precedentemente all'istante di intensità massima.

A parità di tempo di ritorno,  $T_r$ , e di durata di pioggia,  $T_p$ , possono aversi infinite realizzazioni dello ietogramma a ciascuna delle quali sono associate differenti idrogrammi di piena,  $Q(t)$ . La sensibilità della risposta del bacino alla forma dello ietogramma è maggiore in bacini piccoli (generalmente di area inferiore a circa 50 Km<sup>2</sup>), od in generale in bacini con ridotta capacità di invaso.

La distribuzione nel tempo dello spessore di pioggia fornito dalla LSPP può essere effettuata utilizzando diversi criteri, tra cui i più comunemente utilizzati sono:

- ietogrammi con intensità costante;
- ietogrammi con sequenza di spessori parziali di pioggia su intervalli costanti disposti in analogia alla LSPP;
- ietogrammi con sequenza di spessori parziali di pioggia su intervalli costanti disposti in analogia alla LSPP capovolta e ribaltata;
- ietogrammi a blocchi alterni (Alternating Block Method), in cui gli spessori di pioggia su intervalli costanti ricavati dalle LSPP sono ordinati con il valore massimo al centro dello ietogramma e i rimanenti valori disposti in maniera alternata a destra e sinistra dello stesso (Chow et al., 1988).

La risposta di un generico bacino al variare della distribuzione temporale della pioggia, in termini relativi, è pressoché indipendente dal tempo di ritorno e lo ietogramma uniforme, insieme a quello a blocchi alterni, rappresenta una condizione intermedia di criticità.

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	15 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

Per il presente studio, è stato pertanto utilizzato per la trasformazione afflussi deflussi lo ietogramma con intensità costante, caratterizzato da una durata  $d$  ed una intensità costante  $id$  ricavata dalla LSPP.

E' noto che le piogge di elevata intensità si concentrano in aree piccole e che, a parità di durata e di tempo di ritorno, l'altezza di pioggia decresce con l'area. Su tali basi l'altezza di pioggia media su un bacino si determina moltiplicando l'altezza di pioggia puntuale relativa al centroide del bacino stesso per un opportuno coefficiente di riduzione (o coefficiente di ragguglio all'area) che dipende principalmente dall'area del bacino, dal tempo di ritorno e dalla durata. L'uso di tale coefficiente di riduzione implica che il regime delle precipitazioni sia alquanto uniforme per l'intero bacino. Tale condizione è sicuramente soddisfatta quando le aree considerate non sono troppo grandi (come nel presente studio) e quando lo sviluppo orografico non è molto accentuato.

Al fine di tenere conto della variabilità spaziale delle piogge l'input pluviometrico è pertanto stato raggugliato al bacino per mezzo di un coefficiente  $K_r$  di tipo "globale" secondo la formula di Raudkivi:

$$K_r = 1 - \exp(-\alpha t^\beta) + \exp(-\gamma A)$$

dove  $\alpha = 0.036a$ ,  $\beta = 0.25$  e  $\gamma = 0.01$  sono i parametri della formula,  $t$  [h] è la durata della precipitazione e  $A$  [km<sup>2</sup>] è l'area del bacino.

Si riportano di seguito gli spessori di pioggia associati ai tempi di ritorno e alle durate di pioggia indagate.

Bacino	Tp (h)	Kr	Tr (anni)	H (mm)
Borro Carcerelle	0.5	0.998	30	38.8
			200	51.6
	1	0.998	30	45.6
			200	63.5
	2	0.998	30	53.7
			200	78.1

**Tabella 2 – Parametro  $K_r$  relativo all'intero bacino calcolato per diverse durate di pioggia**

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	16 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

## 5.2 Determinazione dello ietogramma di progetto

La determinazione dello ietogramma di progetto per un prefissato tempo di ritorno richiede l'individuazione della durata dello ietogramma (durata critica) nonché della distribuzione temporale degli spessori di pioggia stimati dalla corrispondente linea segnalatrice di possibilità pluviometrica areale.

La durata critica può essere stimata mediante un insieme di simulazioni nel caso di uso di modelli idrologici in grado di descrivere la trasformazione afflussi-deflussi.

In particolare, sulla base del concetto di evento critico, la determinazione della durata critica mediante simulazione idrologica consiste nell'effettuare un insieme di simulazioni con un modello afflussi-deflussi avente come dati di ingresso una serie di ietogrammi di pioggia di durata crescente. All'aumentare della durata dell'evento, si ottengono idrogrammi di piena il cui picco assume valori crescenti fino ad un valore massimo, per poi decrescere. La durata dell'evento che corrisponde all'idrogramma con il massimo valore della portata di picco viene assunta come durata critica.

## 5.3 Le perdite idrologiche

La capacità di ritenzione dei suoli viene sintetizzata efficientemente nel modello di infiltrazione del terreno messo a punto dal Soil Conservation Service (1972) degli Stati Uniti. Questo metodo viene largamente adottato perché consente, attraverso informazioni quantitative sulla natura del bacino di facile acquisizione, di valutare le grandezze di interesse anche per bacini non strumentati. Secondo il metodo SCS-CN, il volume di deflusso superficiale (altezza di pioggia effettiva),  $E^A$ , per un evento isolato di piena è dato da:

$$E^A = \frac{(R^A - I_a)^2}{R^A - I_a + S}$$

essendo  $R^A$  lo spessore di pioggia precipitato sul bacino,  $S$  lo spessore di massima ritenzione potenziale del terreno e  $I_a = cS$  lo spessore di assorbimento iniziale, con  $0 \leq c < 1$ . L'assorbimento iniziale  $I_a$  rappresenta il volume specifico di pioggia sottratto a priori per l'intercettazione della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali e, come si può intuire, risulta difficilmente valutabile. Sulla base di dati sperimentali relativi a numerosi bacini statunitensi, il Soil Conservation Service ha suggerito per la stima di  $I_a$  un valore di  $c = 0.2$ .

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	17 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

Per un fissato stato iniziale di imbibimento, la massima ritenzione potenziale del bacino è funzione del tipo di terreno e dell'uso del suolo, il cui effetto combinato è descritto globalmente dal parametro adimensionale CN, con  $0 \leq CN \leq 100$ , legato ad S dalla relazione:

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

dove S è espresso in mm. Per determinare il valore del CN è necessario conoscere il tipo e l'uso del suolo, nonché il grado iniziale di imbibimento del terreno che può essere di tre tipi: AMC Tipo I, in caso di bacino asciutto, AMC Tipo II, per condizioni intermedie, e AMC Tipo III, in caso di bacino fortemente imbibito. Lo stato di imbibimento viene individuato, in modo quali-quantitativo, in funzione dell'indice di pioggia API5 (Antecedent Precipitation Index), ovvero la pioggia totale caduta nei cinque giorni che precedono l'evento di piena.

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

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{[0.4036 + 0.005964 * CN(II)]}$$

**Figura 12 – tabella di conversione da CN II a CN III**

In funzione delle caratteristiche idrologiche, i suoli possono essere suddivisi in quattro classi di permeabilità (A, B, C e D); tali categorie dalla A alla D hanno potenzialità di deflusso crescente (Chow et al., 1988).

<b>A</b>	Permeabilità elevata $10^{-2} < k < 10^{-3}$ cm/s
<b>B</b>	Permeabilità media $10^{-3} < k < 10^{-5}$ cm/s
<b>C</b>	Permeabilità medio-bassa $10^{-5} < k < 10^{-7}$ cm/s
<b>D</b>	Permeabilità bassa $10^{-7} < k < 10^{-9}$ cm/s

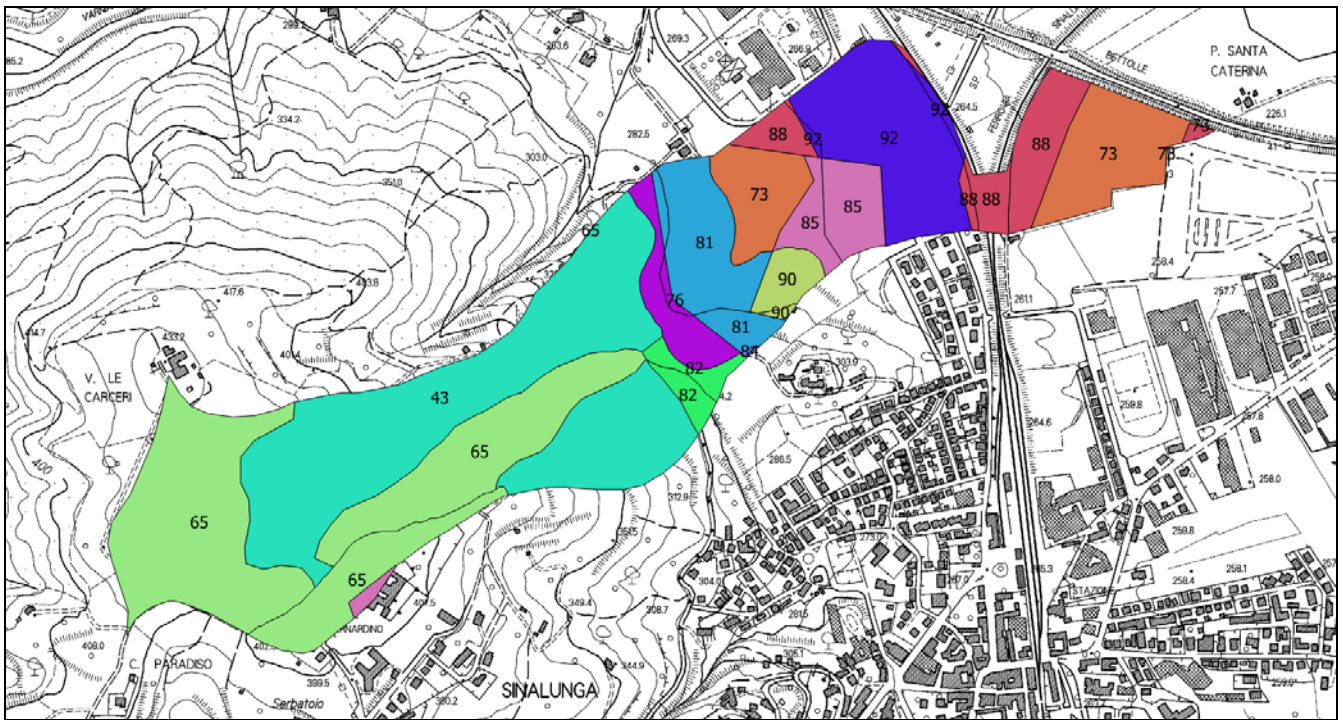
**Tabella 3 – classi di permeabilità**

Il valore CN II è stato estratto dall'apposita cartografia tematica messa a disposizione dalla Regione Toscana, servizio Difesa del Suolo, redatta nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, per il quale si è proceduto ad effettuare un aggiornamento del modello Idrologico distribuito sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria civile ed Ambientale in uso presso il Centro Funzionale della Regione Toscana per la

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	18 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			



previsione degli eventi di piena in tempo reale (MOBIDIC). L'aggiornamento ha riguardato più aspetti tra cui la struttura numerica del modello e i dati di input al modello MOBIDIC. In particolare a partire dalla banca dati pedologica, sono state stimate la densità apparente, la ritenzione idrica (contenuto in acqua gravitazionale e di acqua capillare) e della conducibilità idraulica satura sia per l'intero suolo che per l'orizzonte superficiale. I parametri sviluppati per MOBIDIC, laddove possibile, sono stati convertiti in parametri utilizzabili anche per il software opensource HMS, tra questi vi sono: la celerità idraulica dei rami e i valori Curve Number a partire dalla pedologia e dall'uso del suolo.



**Figura 13 – cartografia con assegnazione dei valori di CN II al bacino del Borro Carcerelle su fonte dati del servizio Difesa del Suole Regione Toscana**

Il valore di CN è stata calcolato come media pesata in funzione delle aree per il bacino considerato.

Nel caso in cui nel bacino siano presenti differenti tipi di terreno o questo sia utilizzato in differenti modi, si ricorre ad un valore medio di CN. Come suggerito da Mancini e Rosso (1989), si utilizza il valore medio a scala di bacino del parametro S, mediante un'integrazione spaziale dei valori puntuali, anziché un'integrazione dei valori di CN a causa della non linearità dell'eq (3-5) che lega i due parametri. Quindi si ha:

$$\bar{S} = \frac{S_1 A_1 + S_2 A_2 + \dots + S_i A_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i}$$

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	19 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

dove  $S_i$  rappresenta il valore di  $S$  per l'area omogenea  $A_i$ .

	<b>Borro Carcerelle</b>
<b>CN (III)</b>	79

**Tabella 4 – valori di CN assegnati**

Nel seguito per il calcolo delle perdite si assumerà il valore più cautelativo del CN(III).

A questo punto, noto il valore del CN, è possibile procedere al calcolo del deflusso superficiale.

Nella pratica per risolvere l'equazione a partire da uno ietogramma di pioggia discreto  $r_1, r_2, \dots$  si valuta ad ogni passo temporale  $t_m$  il valore del volume incrementale di ruscellamento (o pioggia netta),  $E_m$ , come:

$$E_m = \begin{cases} 0, & R_m < 0.2S \\ \frac{(R_m - cS)^2}{R_m} + (1 - c)S, & R_m \geq 0.2S \end{cases}$$

dove il valore della pioggia lorda cumulata,  $R_m$ , è dato da:

$$R_m = \sum_{i=1}^m r_i$$

e per semplicità è stato tralasciato l'apice  $A$  per indicare quantità riferite all'area del bacino.

In base al valore di  $E_m$  si ricava quindi  $\Delta E_m = E_m - E_{m-1}$ . Il tasso di ruscellamento  $e_m$  durante l'intervallo  $m$ -esimo è:

$$e_m = \Delta E_m / \Delta t$$

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	20 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

#### 5.4 La trasformazione afflussi – deflussi

Nel vasto panorama dei modelli di formazione dei deflussi, che si propongono di rappresentare matematicamente i processi idrologici che si manifestano in un bacino idrografico descrivendone il comportamento con un operatore che lega la funzione di distribuzione temporale delle piogge effettive (ingresso al sistema) ed il corrispondente idrogramma dei deflussi diretti (risposta del sistema), è stata scelta la metodologia basata sull'idrogramma unitario istantaneo (IUH). Il metodo si basa sulle ipotesi di linearità e stazionarietà del bacino ed effettua la combinazione tra pioggia in ingresso e IUH per il calcolo della portata diretta. In altre parole, la risposta  $Q(t)$  ad una sollecitazione meteorica di intensità  $p(t)$  variabile nel tempo, ma supposta costante su tutti i punti del bacino, è data dall'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = \int_0^t p(\tau)h(t - \tau)d\tau$$

dove  $p(t)=A i(t)$  è la portata di afflusso meteorico al generico tempo  $t$  e la funzione  $h(t)$ , che prende il nome di IUH, è definita come l'idrogramma dei deflussi generato da un'ipotetica pioggia efficace di altezza unitaria ed intensità costante, distribuita uniformemente sul bacino, e caduta in un intervallo di tempo unitario (immissione di tipo impulsivo).

La funzione  $h(t)$  può essere stimata mediante numerosi approcci, tra cui l'idrogramma unitario del SCS.

#### 5.5 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.

Il lag time (o tempo di ritardo) è normalmente stimato per mezzo di relazioni empiriche. Nel caso in esame sono state prese in esame 15 diverse formulazioni da letteratura del Lag Time, ovvero le formule di Kirpich, Kerby-Hataway, Papadakis-Kazan, Horton, Kinematic wave, Watt & Chow, Chow, Melone, Snyder, Carter, Fiorentino, McEnroe & Zhao, SCS, con l'aggiunte di ulteriori 10 formule per il calcolo del tempo di corrivazione: Giandotti, Pasini, Ventura, Pezzoli, Puglisi, Aronica & Paltrinieri, Fattorelli & Marchi, NCRS, Tournon, U.S. Navy & Texas Highway departments. La correlazione tra il Tempo di Corrivazione ( $t_c$ ) e il Lag-Time ( $T_{lag}$ ) è dato da  $T_{lag} = 0.6 \cdot t_c$ .

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	21 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

In generale le formule adottate si basano su dati morfologici come l'area del bacino, la lunghezza dell'asta principale, le quote del bacino idrografico, coefficienti che valutano la permeabilità del suolo e la velocità di ruscellamento dell'acqua.

Avere a disposizione una così ampia serie di dati permette di eliminare i valori estremi dovuti al non adattamento della formula per quel dato bacino (dovuto principalmente alle dimensioni e alla morfologia), dai valori validati ne è stata estratta la media.

	Borro Carcerelle
Lag time (min)	18

Tabella 5 – valore di Lag-time assegnato

## 5.6 Risultati della modellazione 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 allo studio "*Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012*";
- durata critica determinata tramite simulazione 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 il valore CN (III) relativo allo stato iniziale di bacino fortemente imbibito; la scelta di utilizzare in via cautelativa il CN(III), relativo a condizioni iniziali umide.
- trasformazione afflussi – deflussi secondo lo IUH del SCS.

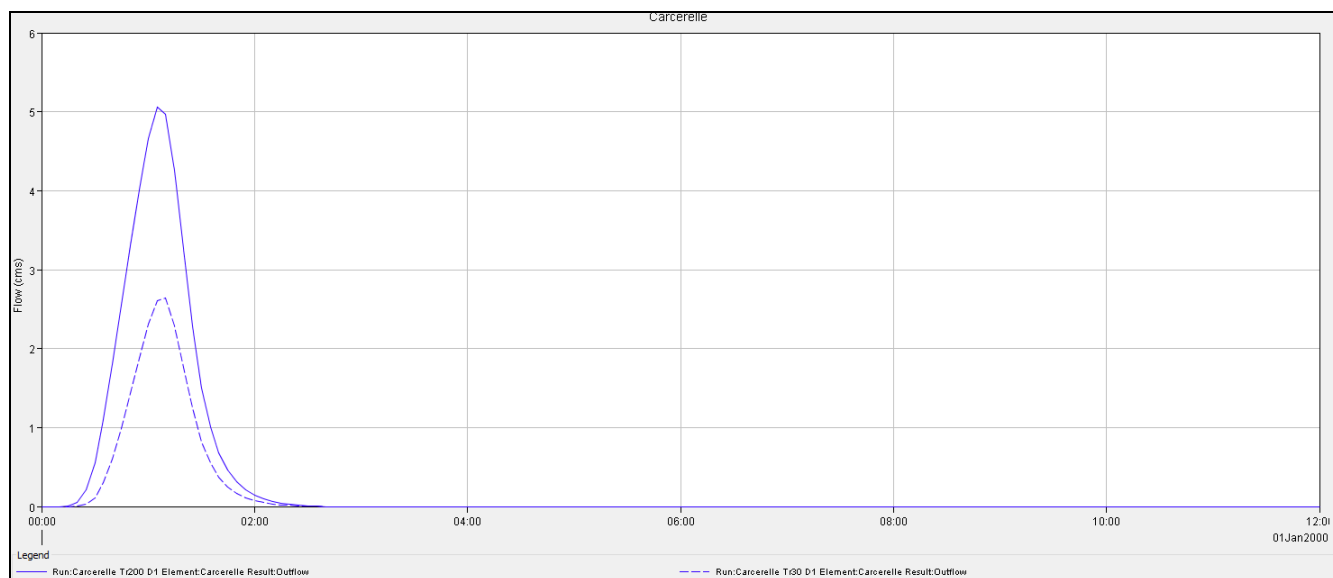
Il modello è stato realizzato nell'ambito del software HEC-HMS v. 5.0.3, facendo riferimento alla schematizzazione ed ai valori caratteristici per la definizione dei bacini oggetto di studio di seguito riportati.

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	22 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

Il modello idrologico, implementato attraverso il software di calcolo Hec-Hms 4.2.1 ha fornito i seguenti risultati

	A	L	CN(III)	LAG-Time	Dcritica	Qmax Tr30	Qmax Tr200
	[km <sup>2</sup> ]	[km]	[-]	[min]	[ore]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
<b>Borro Carcerelle</b>	0.6	1.2	79	18	1	2.6	5.1

**Tabella 6 – parametri idrologici inseriti nel modello Hec-Hms e risultati in termini di valore delle portate di picco per l’evento di piena dovuto a una durata di pioggia critica di 1 ora e tempi di ritorno 30 e 200 anni**



**Figura 14 – idrogrammi di piena del Borro Carcerelle dovuti a una durata di pioggia critica di 1 ora e tempi di ritorno 30 e 200 anni**

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	23 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			



## 6 ANALISI IDRAULICA

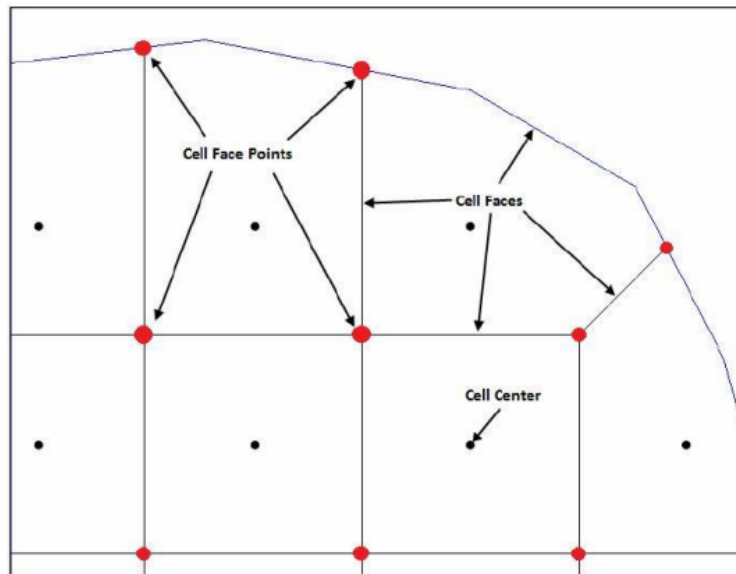
Le modellazioni dei fenomeni di allagamento e di transito sono state eseguite per tempi di ritorno pari a Tr 30 e Tr 200 e utilizzando il software di calcolo HEC-RAS v. 5.0.3, per l'analisi delle condizioni di deflusso in alveo.

Il software HEC-RAS ha la capacità di eseguire uno schema di modellazione bidimensionale all'interno della simulazione condotta in regime di moto vario. Nel presente studio, per i tratti in cui è necessario l'impiego di modelli 2D per la determinazione delle aree allagate, si è infatti svolto una modellazione in moto vario con schema monodimensionale (1D) combinato anche con uno schema bidimensionale (2D) con l'aggiunta di aree 2D (2D-storage area) nel modello. Tale area 2D viene aggiunta nel modello 1D disegnando un poligono 2D connesso al modello 1D attraverso l'uso di uno sfioratore laterale (lateral structure).

Il codice di calcolo consente di risolvere il problema bidimensionale del moto sia risolvendo le equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda (scelte ai fini del presente studio) consentono al codice di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità numerica. L'algoritmo di risoluzione è ai volumi finiti ed è "accoppiato" a quello di risoluzione del problema monodimensionale nello stesso passo temporale di calcolo. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale tra le componenti monodimensionali e quelli bidimensionali. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso tra le sezioni del corso d'acqua modellato e la storage area 2D.

HEC-RAS 5.0.3 funziona per celle, che però possono essere sia strutturate che non strutturate. Ciò significa che le celle computazionali possono essere triangoli, quadrate, rettangolari o anche elementi a cinque e sei facce (ma non più di 8). La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle (Figura 15). Il contorno esterno della maglia computazionale è definito, invece, con un poligono. Generalmente, come si nota in Figura 15, il software crea delle celle di forma quadrata nella zona centrale, mentre in prossimità del contorno esterno la mesh si adatta al profilo dell'area.

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	24 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			



**Figura 15 - Esempio mesh computazionale HEC-RAS 5.0.3**

Si noti inoltre come ogni cell center, cell face e cell face point è identificato da un numero, in modo da facilitare l'operazione di analisi e visualizzazione dei risultati.

Il più grande vantaggio della modellazione bidimensionale in HEC-RAS riguarda comunque la dimensione della mesh computazionale. Ogni cella viene infatti pre-processata in modo da creare una serie di tabelle idrauliche, che mettono in relazione l'elevazione e il volume e, su ogni lato della cella, l'elevazione con il perimetro bagnato, l'area e la scabrezza. Queste curve permettono di utilizzare celle di dimensioni più grandi rispetto ad altri programmi 2D, con evidente diminuzione dei tempi computazionali.

Ad ogni modo, in una simulazione di moto vario bidimensionale, il parametro più significativo da considerare è l'intervallo computazionale  $\Delta T$ , che deve essere scelto con accuratezza in modo da non influenzare negativamente l'esito delle analisi. Generalmente questo valore viene valutato basandosi sul criterio di Courant, esprimibile nella maniera seguente:

$$C = \frac{V \Delta T}{\Delta X} \leq 2$$

essendo C il numero di Courant, V la velocità massima dell'acqua,  $\Delta T$  il tempo di calcolo e  $\Delta X$  la dimensione media delle celle.

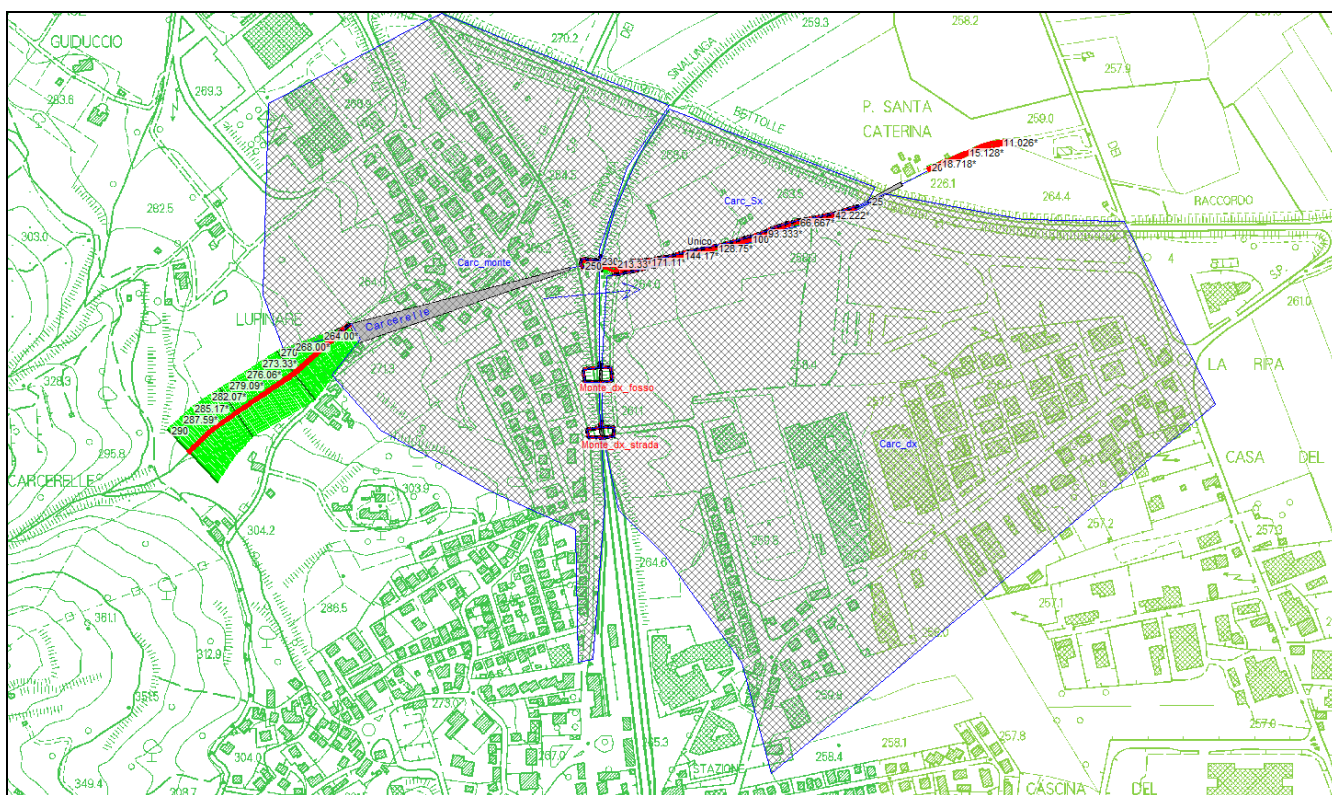
	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	25 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

Infine, occorre sottolineare che il software computa la velocità della corrente nei nodi della griglia, mentre il livello idrico è calcolato nel cell center della griglia stessa.

### 6.1 Modellazione HEC RAS

Al fine di valutare le condizioni di deflusso in alveo è stato implementato con il software HEC RAS v. 5.0.3 il modello del borro Carcerelle. La modellazione condotta è di tipo monodimensionale e bidimensionale in moto vario, .

Per il modello la geometria dei corsi d'acqua è stata definita a partire dai rilievi topografici di cui ai paragrafi precedenti, inserendo le strutture presenti in alveo quali ponti, attraversamenti e tratti tombati.



**Figura 16 – Planimetria del modello idraulico su cartografia CTR 1:10000**

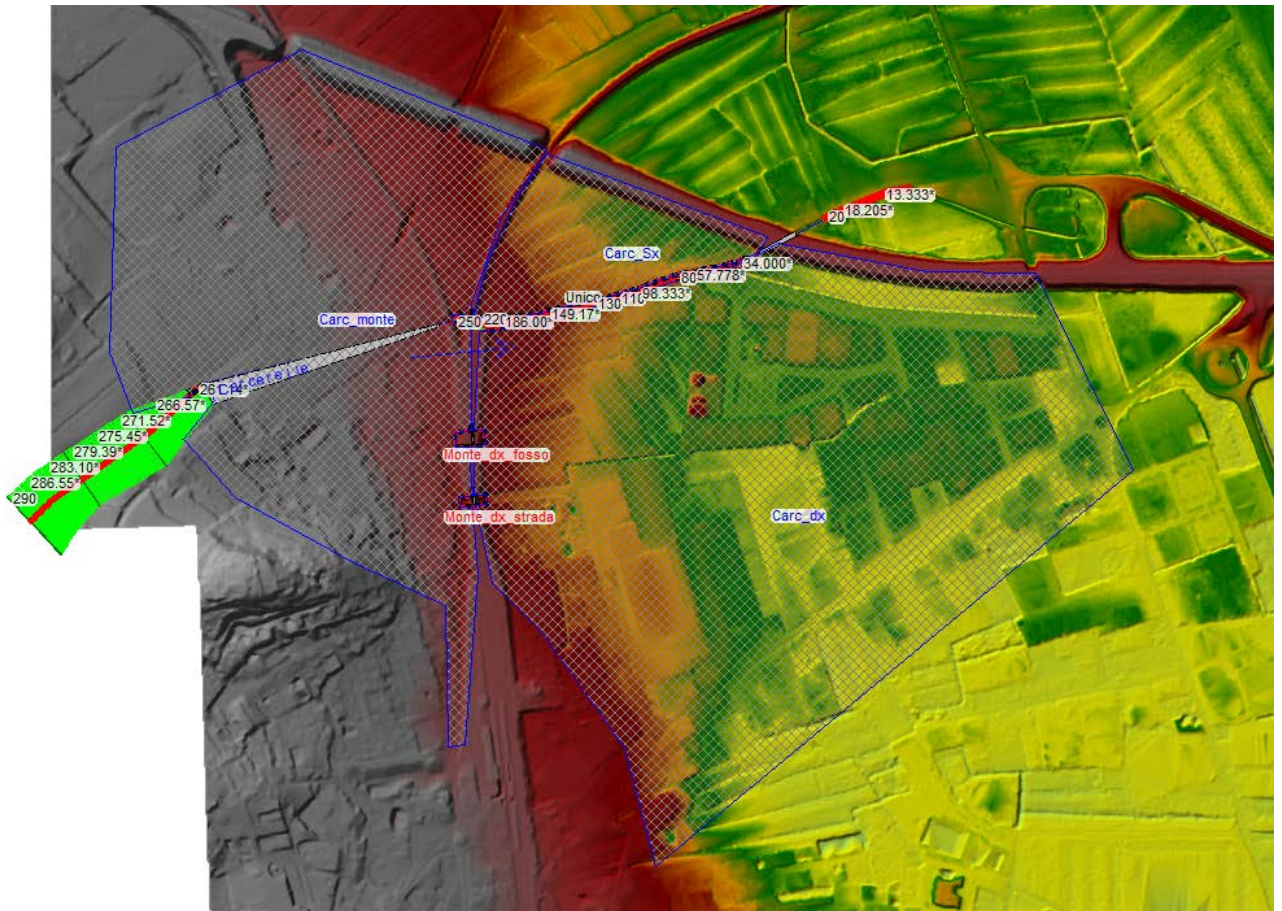
La caratterizzazione geometrica ha riguardato, oltre a quanto già esposto, la caratterizzazione di tre aree (Storage Area) in cui simulare il fenomeno di allagamento, tali aree sono definite planimetricamente, sarà poi il software ad associare ad ogni elemento della mesh il valore di quota riferito a m slm su base della cartografia Lidar.

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	26 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			



Le tre aree distinte sono separate idraulicamente dalla ferrovia e dal Borro di Carcerelle, l'area Carc\_monte riguarda l'abitato di Sinalunga comprensivo del tratto tombato, questa area ha come limite di valle il rilevato della ferrovia.

La Storage Area Carc\_dx comprende l'area industriale/produttiva di Sinalunga, tra questa area e la precedente esistono delle connessioni che sottoattraversano la ferrovia, modellate nel modello geometrico attraverso SA Connection con relativa caratterizzazione geometrica dei passaggi.



**Figura 17 - Planimetria del modello idraulico su cartografia Lidar**

Come condizione idrologiche di monte sono stati inseriti gli idrogrammi di piena, calcolati così come descritti nei paragrafi precedenti.

Come condizione di valle nella modellazione idraulica è stata utilizzata l'altezza di moto uniforme dei tratti terminali dei corsi d'acqua, imponendo come "friction slope" la pendenza media dell'alveo nel tratto finale del modello pari a 0.00446.

Per le scabrezze nel corso d'acqua sono stati assunti i seguenti valori del coefficiente di Manning:

- n pari a 0.035 s m<sup>-1/3</sup> per l'alveo principale;

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	27 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

- n pari a  $0.05 \text{ s m}^{-1/3}$  fuori dall'alveo principale.

## 6.2 Risultati e aree allagate

In base alle risultanze della modellazione monodimensionale e bidimensionale, risultano esondazioni lungo l'intero tratto del Borro Carcerelle sia per eventi di piena con Tr 30 anni e Tr 200 anni.

Le aree allagate comprendono l'area urbana abitativa a monte della ferrovia, i campi agricoli e l'area industriale-produttiva di Sinalunga.

Per la perimetrazione delle aree allagate non sono state generalmente considerate le zone interessate da battenti inferiori a 10 cm, ad esclusione delle aree interessate dal transito.

Per la restituzione grafica della carta delle magnitudo, nelle aree allagate, soggette al transito in cui è presente un battente inferiore ai 10 cm, è stata assegnata una magnitudo moderata, ai sensi dell'art. 2 comma h1 della LR41/2018, mentre nelle aree allagate rappresentate dall'alveo del Borro Carcerelle, dove non presenti i dati di battente è stata cautelativamente assegnata una magnitudo molto severa.

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	28 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			



## 7 CONCLUSIONI

Il presente studio idrologico ed idraulico è redatto a supporto della richiesta di variante allo Strumento Urbanistico Generale del Comune di Sinalunga.

Lo studio tiene conto del Reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DGRT 899/2018, corredato con opportuni rilievi di sezioni idrauliche del Borro Carcerelle e mira alla definizione delle condizioni di allagabilità per tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni dell'area oggetto della Variante e per le zone contermini. L'intento è di fornire un contributo tecnico per l'aggiornamento degli studi idraulici limitatamente all'area interessata dagli allagamenti derivanti dall'esondazioni del fosso Carcerelle.

È stata prodotta un'analisi idrologico-idraulica per il corso d'acqua individuato (Borro Carcerelle) che è stata impostata come di seguito sintetizzato:

1. Analisi idrologica impostata in HEC-HMS:
  - dati di pioggia da LSPP aggiornate allo studio "*Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012*";
  - durata critica con procedimento iterativo;
  - ietogramma costante e riduzione all'area;
  - stima dell'infiltrazione mediante metodo SCS-CN assumendo il valore CN (III) su base cartografica Regione Toscana;
  - trasformazione afflussi – deflussi secondo lo IUH del SCS in base alle caratteristiche del bacino.
2. Analisi idraulica monodimensionale e bidimensionale in HEC-RAS v.5.0.3:
  - regime di moto vario;
  - condizione al contorno di monte con inserimento degli idrogrammi di piena e di valle secondo la normal depth;
  - Assenza di condizioni al contorno di uscita del modello bidimensionale,
  - Modello digitale del terreno (DTM) ricavato dalla cartografia LIDAR della Regione Toscana.

In base alla valutazione delle risultanze della modellazione idrauliche monodimensionale, avvengono fenomeni esondativi lungo tutto il corso del Borro Carcerelle, sia per eventi con tempo di ritorno 30 anni che 200 anni.

	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	29 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

Tali fenomeni hanno mostrato un perimetro delle aree allagate per i rispettivi tempi di ritorno, difforme da quanto attualmente definito nel quadro conoscitivo dello SUGC vigente e nelle cartografie dei vincoli sovraordinati (PGRA).

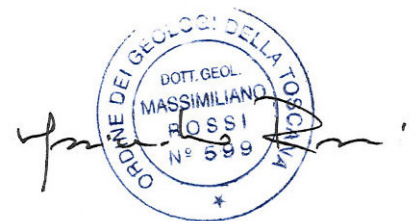
Le risultanze della modellazione idraulica sono riportate nelle tavole allegare dalle quali si rilevano i battenti idraulici e la perimetrazione delle aree allagate per i rispettivi tempi di ritorno. Le aree allagate per eventi con  $Tr \leq 30$  anni sono definite aree a pericolosità per alluvione frequente, mentre le aree allagate per eventi con  $30 \text{ anni} < Tr \leq 200$  anni sono definite aree a pericolosità per alluvione poco frequente ai sensi della LR 41/2018. I dati derivanti dalla modellazione idraulica hanno fornito le basi per la redazione della carta della magnitudo idraulica così come definito dall'art. 2 comma h della LR 41/2018.

Tenendo conto di quanto esposto, questo studio idraulico costituisce documentazione necessaria per andare in modifica del PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale e avviare una procedura di Variante Urbanistica con la quale si possano aggiornare e modificare le rispettive carte delle aree allagate, della pericolosità idraulica da modellazione e di fattibilità dell'attuale Strumento Urbanistico Generale Comunale.

Arezzo, Novembre 2018

ProGeo Engineering srl

Dott. Geol. Massimiliano Rossi



Dott. Ing. Davide Giovannuzzi

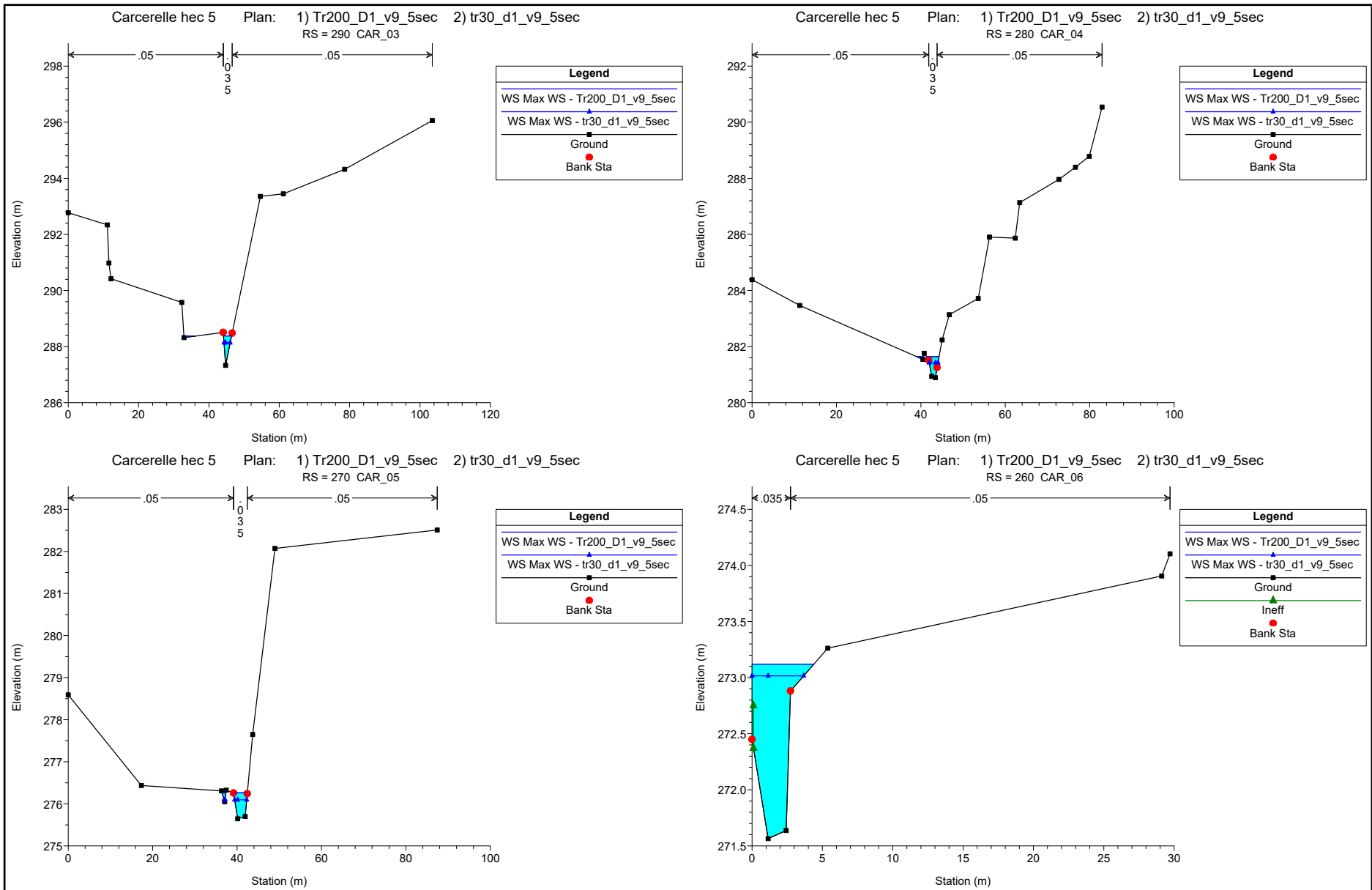


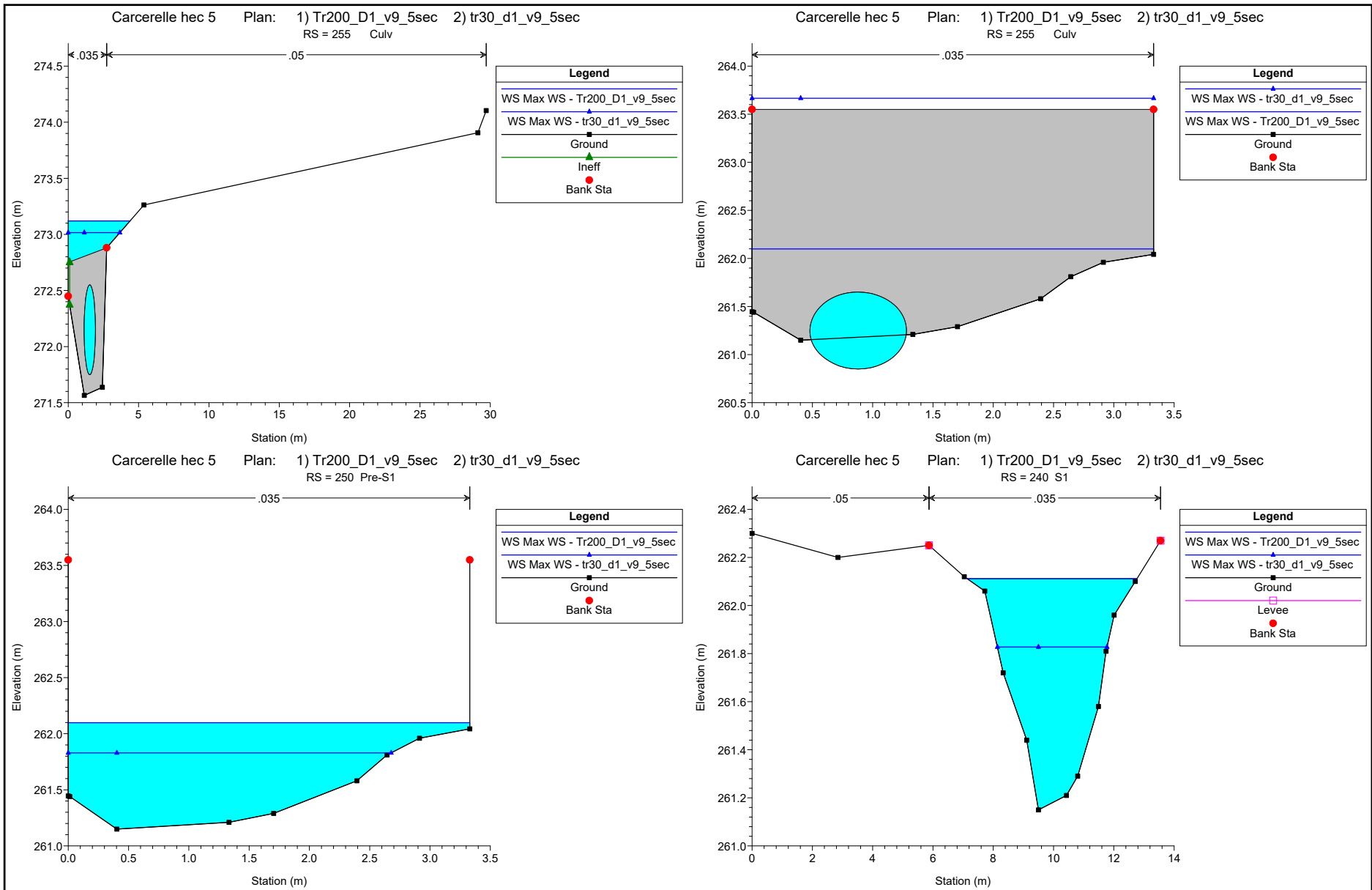
	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	30 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
Relazione idrologico idraulica.docx			

# ALLEGATI

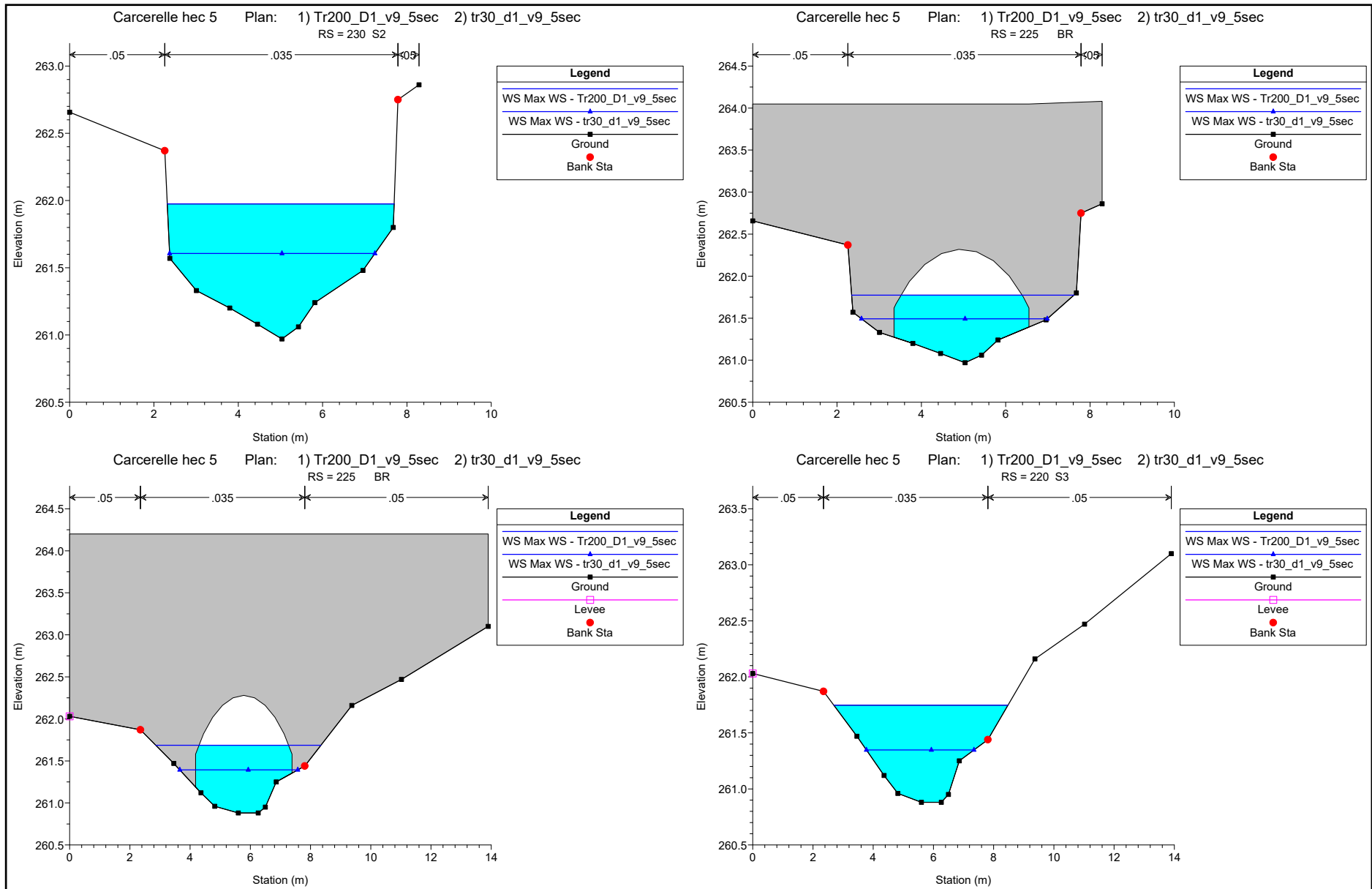
Documenti modellazione Hec-Ras

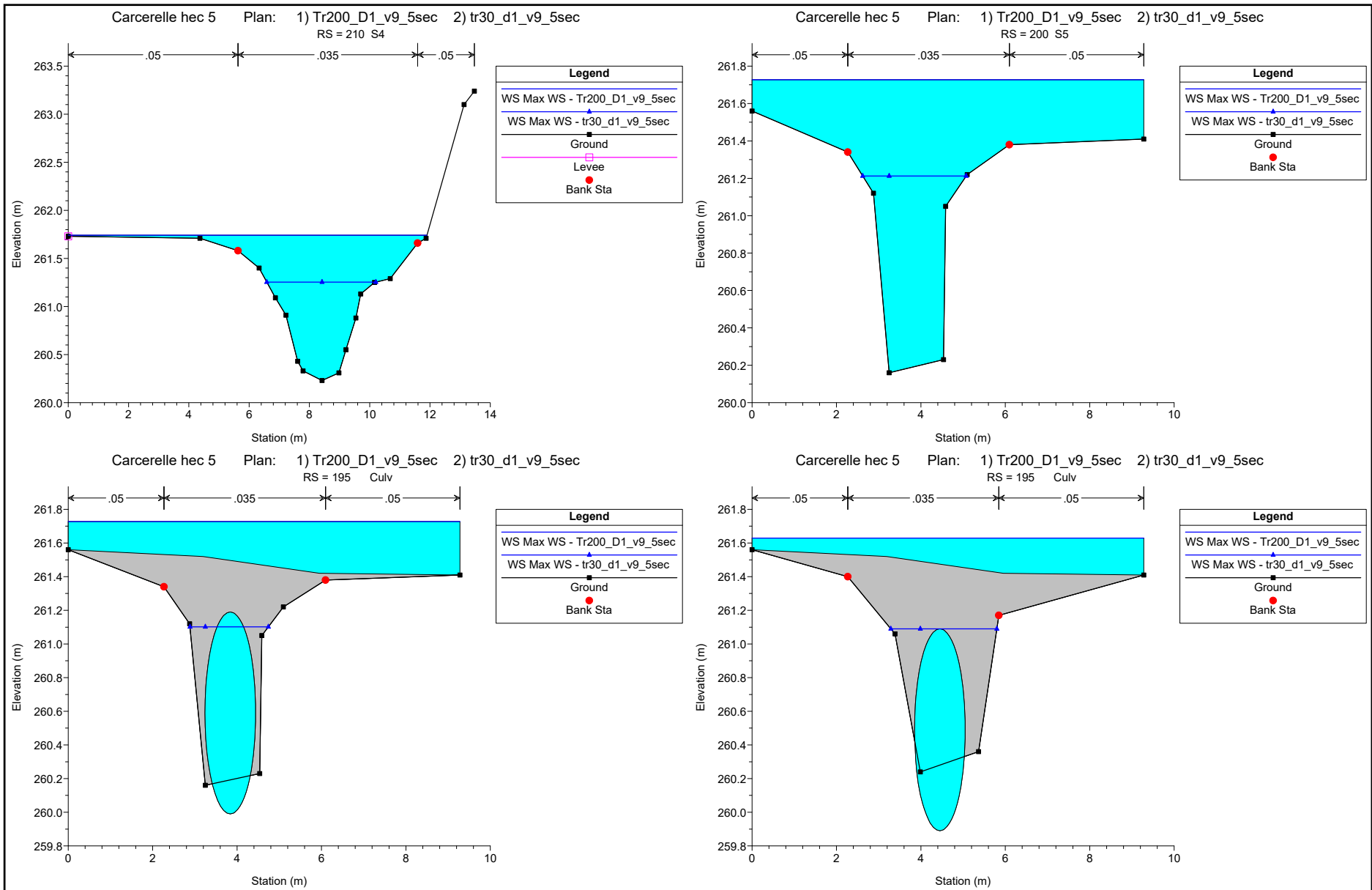
	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico idraulica di supporto alla richiesta di variante al Regolamento Urbanistico del Comune di Sinalunga	1	Novembre 2018	31 di 31
	K:\Sinalunga\Casni Polvani Bartolozzi\06_DOC		
	Relazione idrologico idraulica.docx		

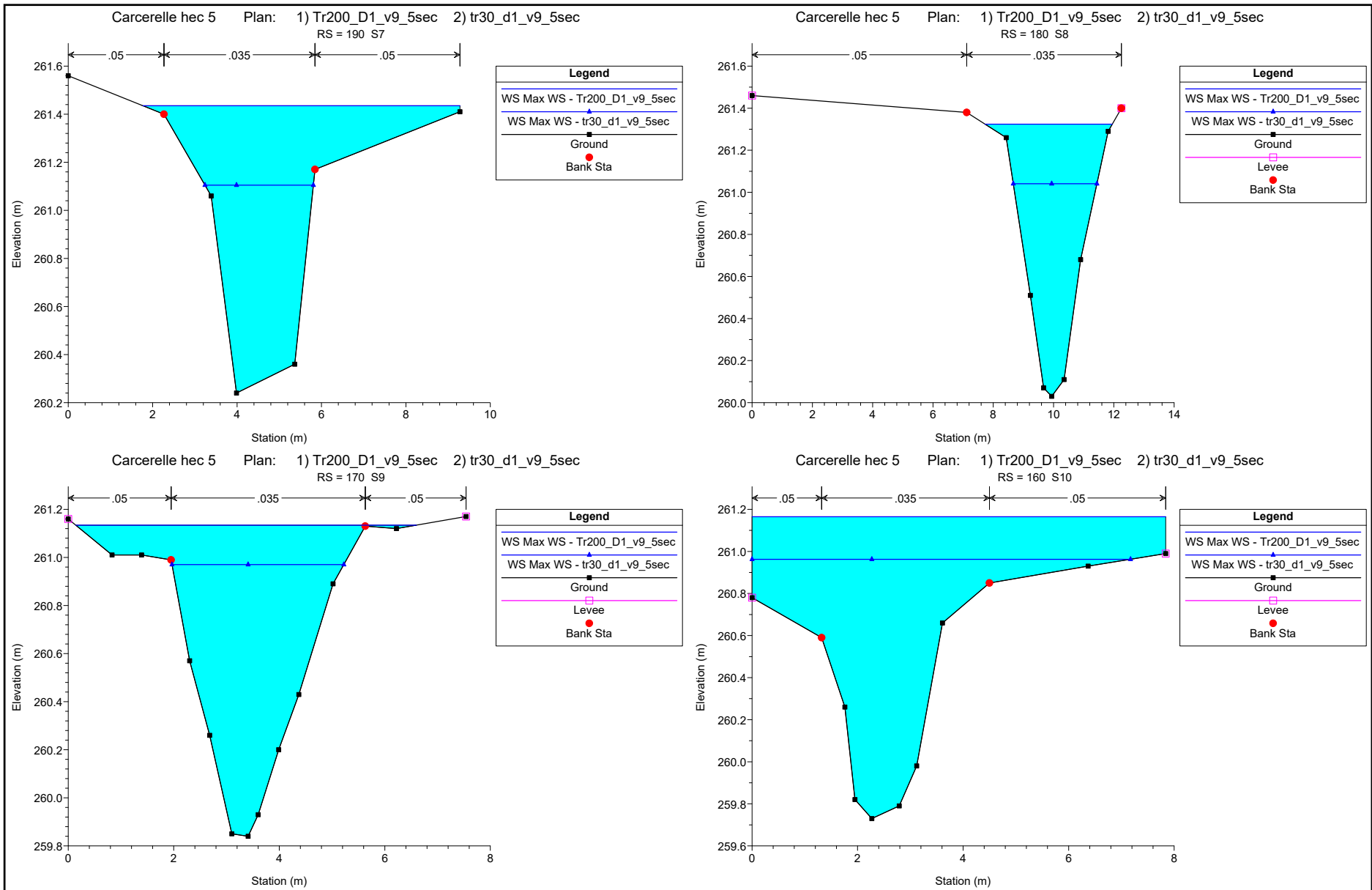


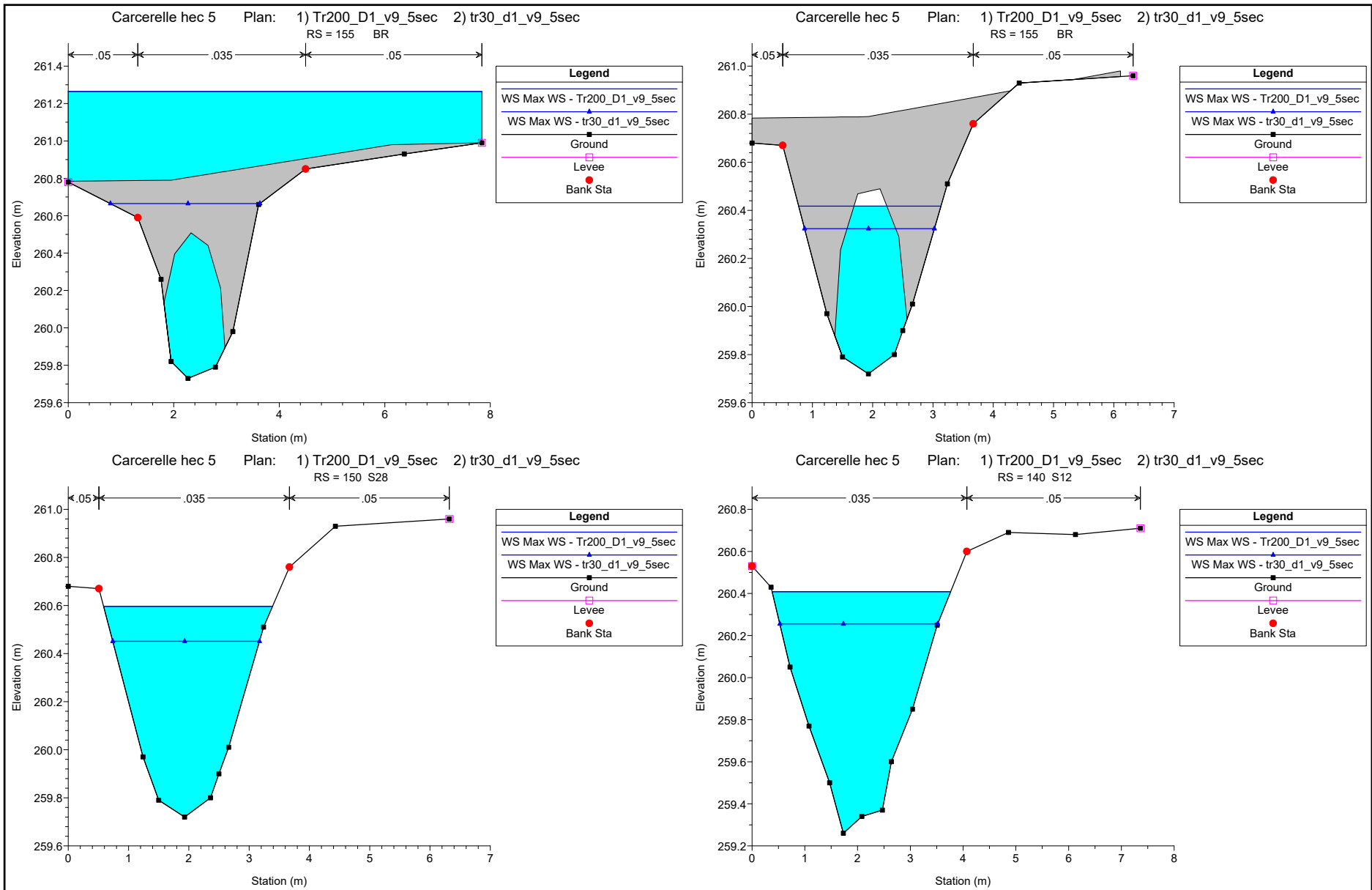


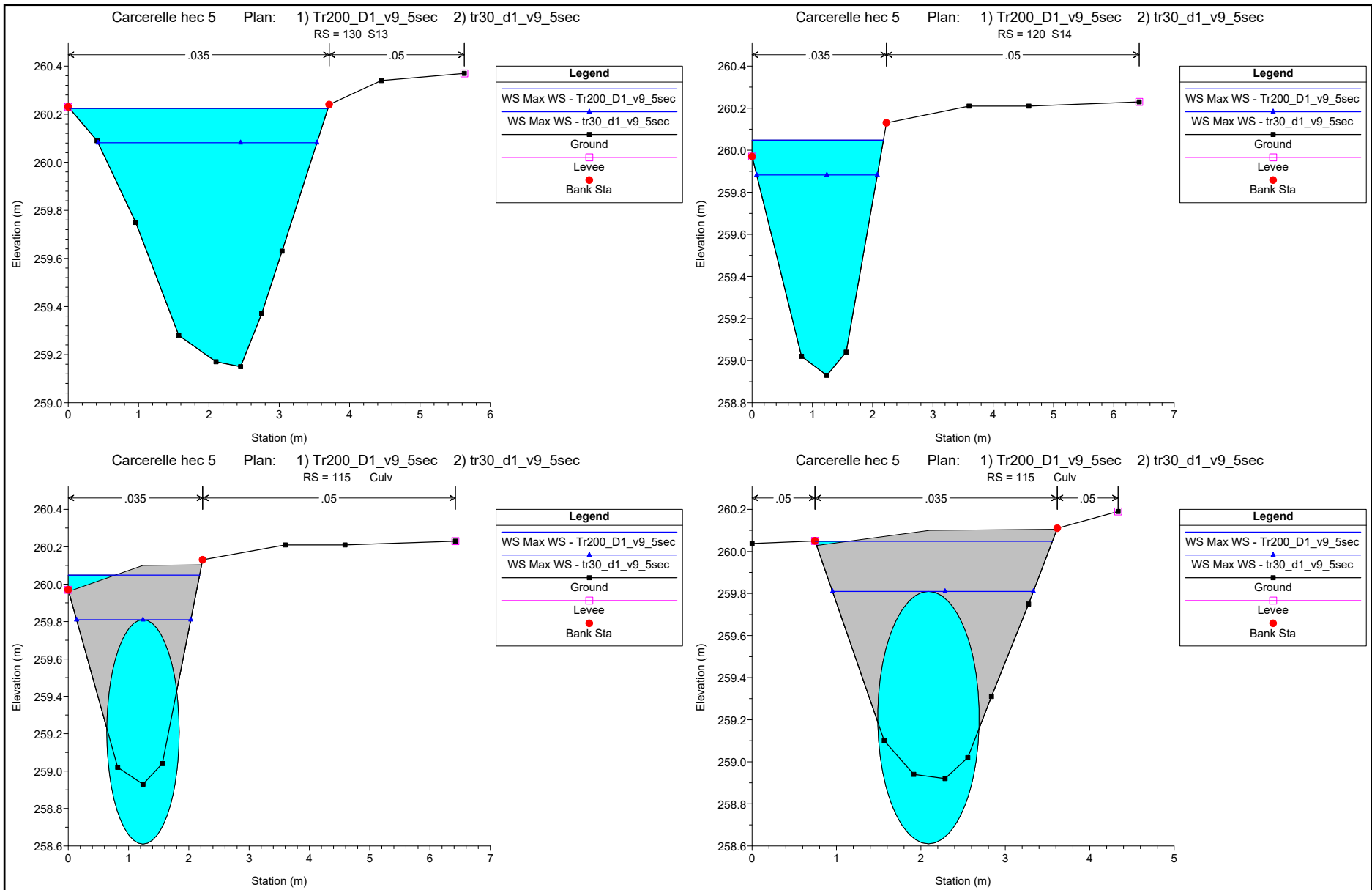




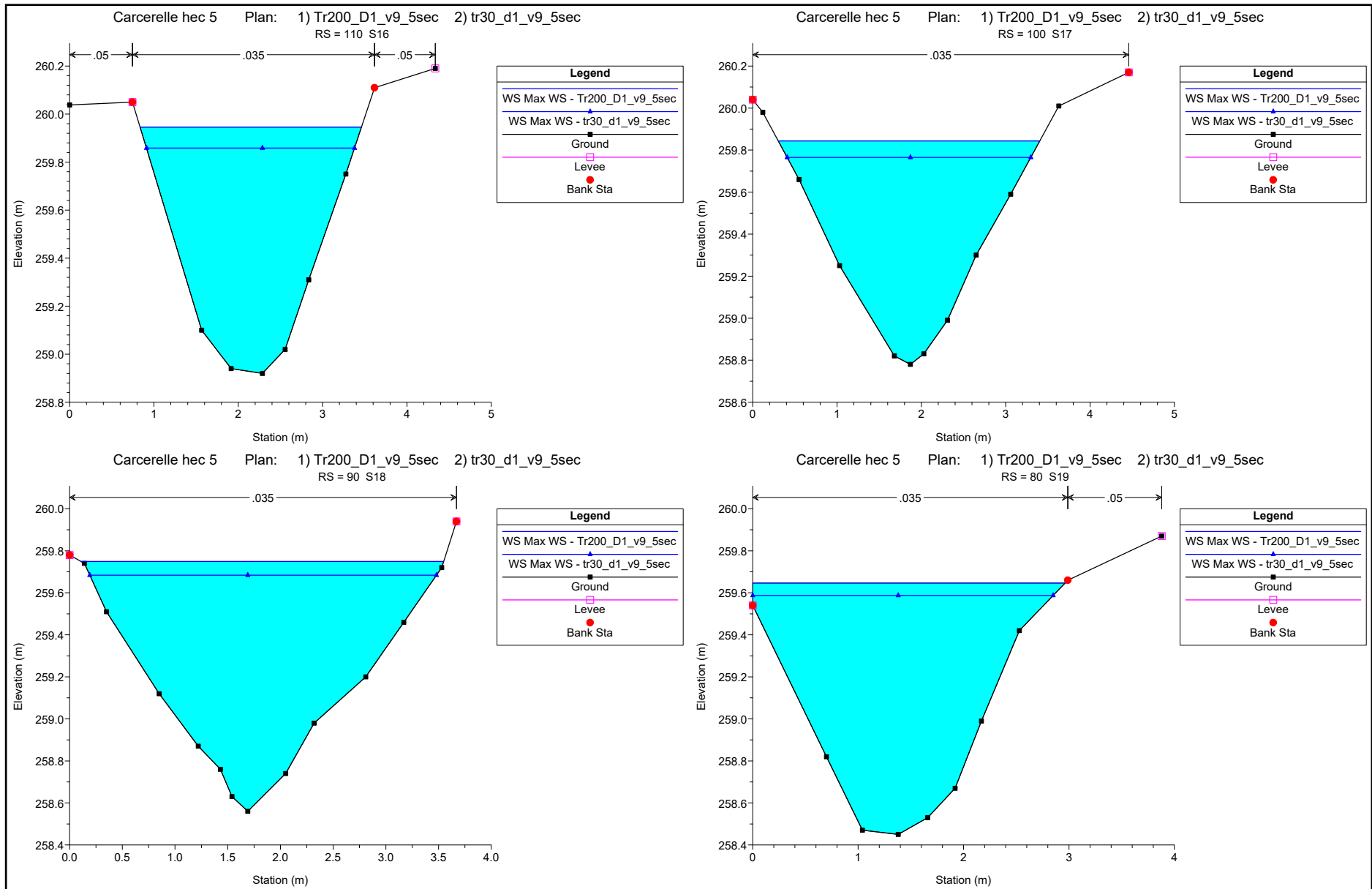


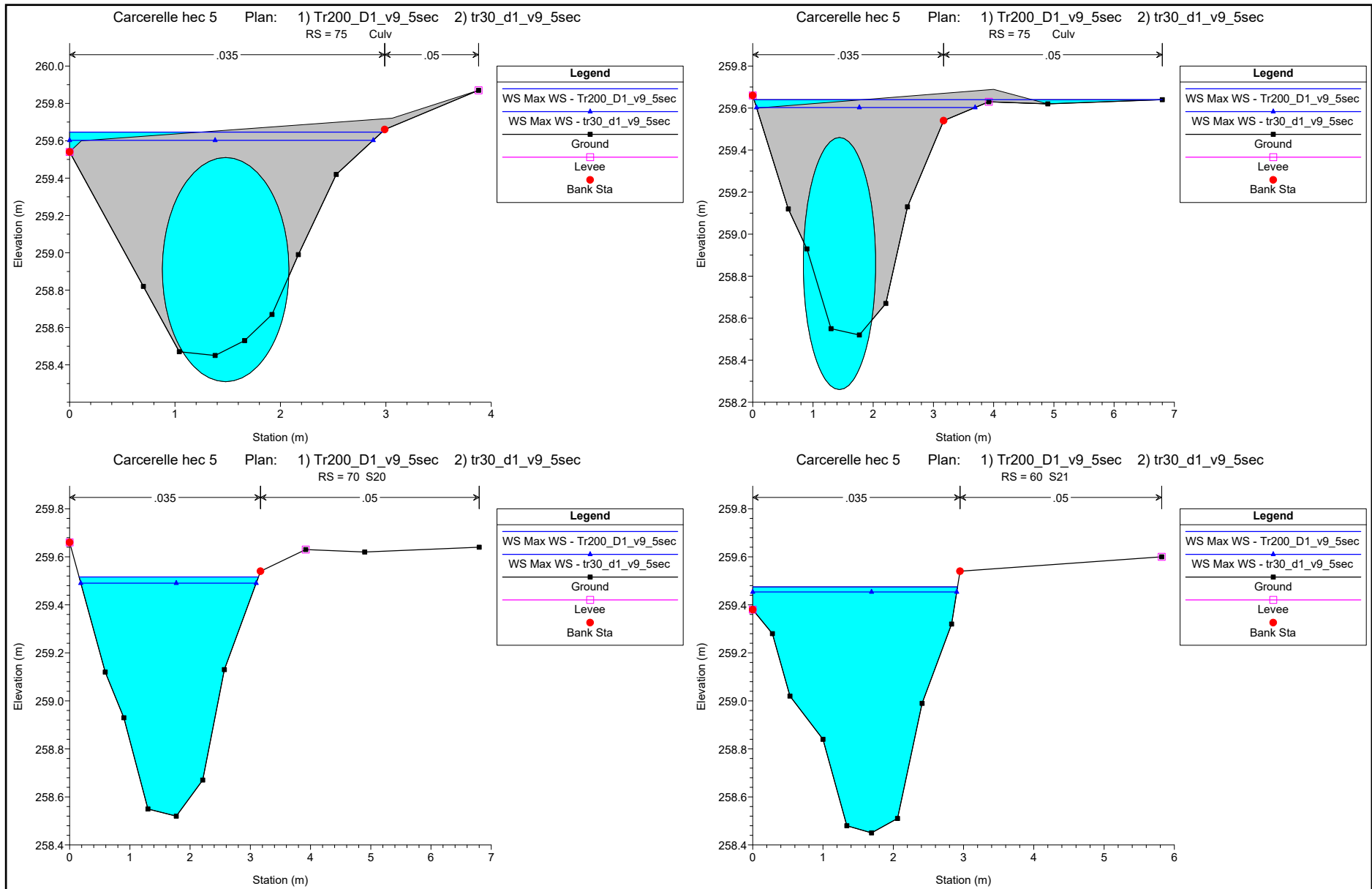


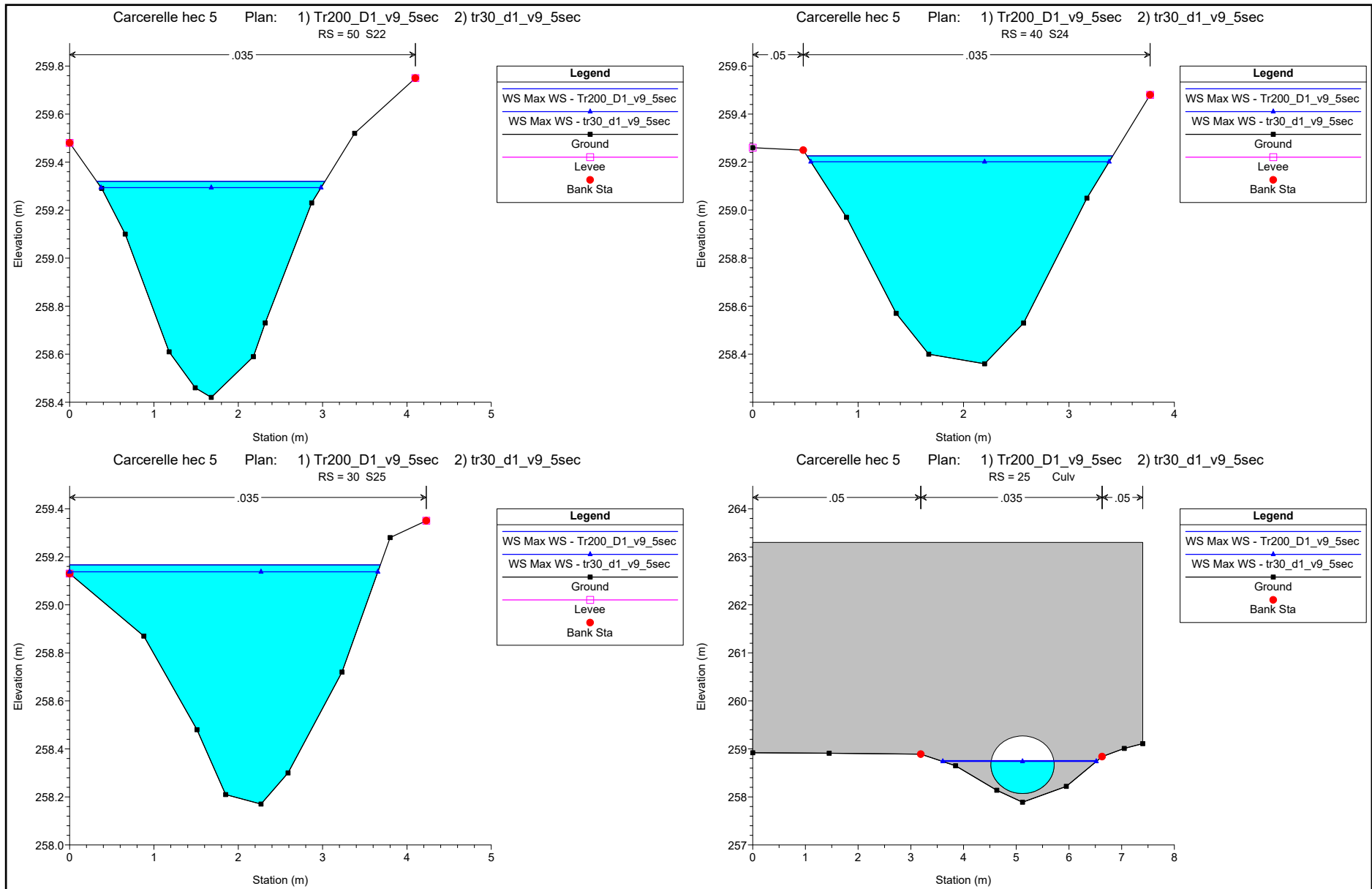


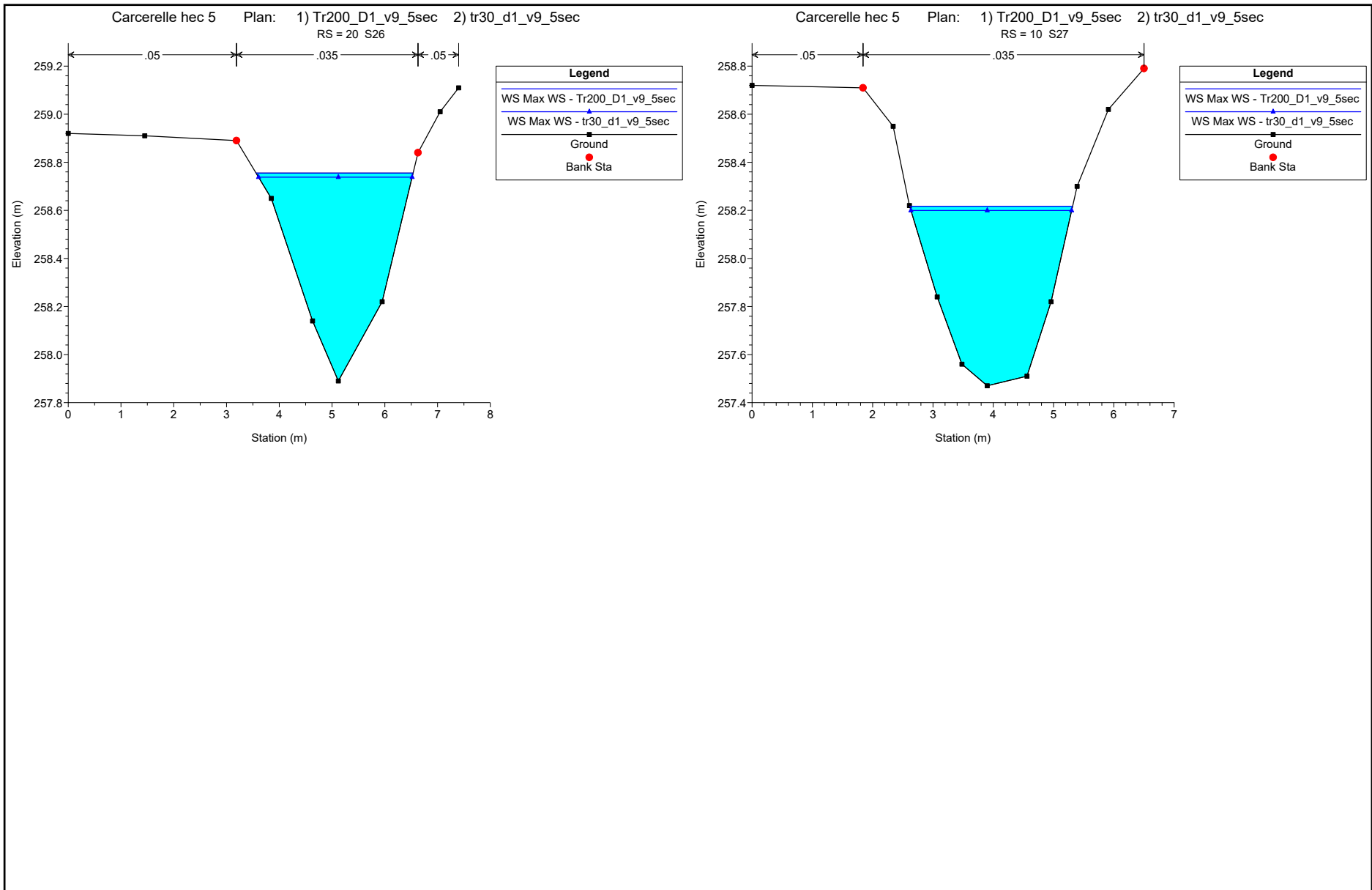




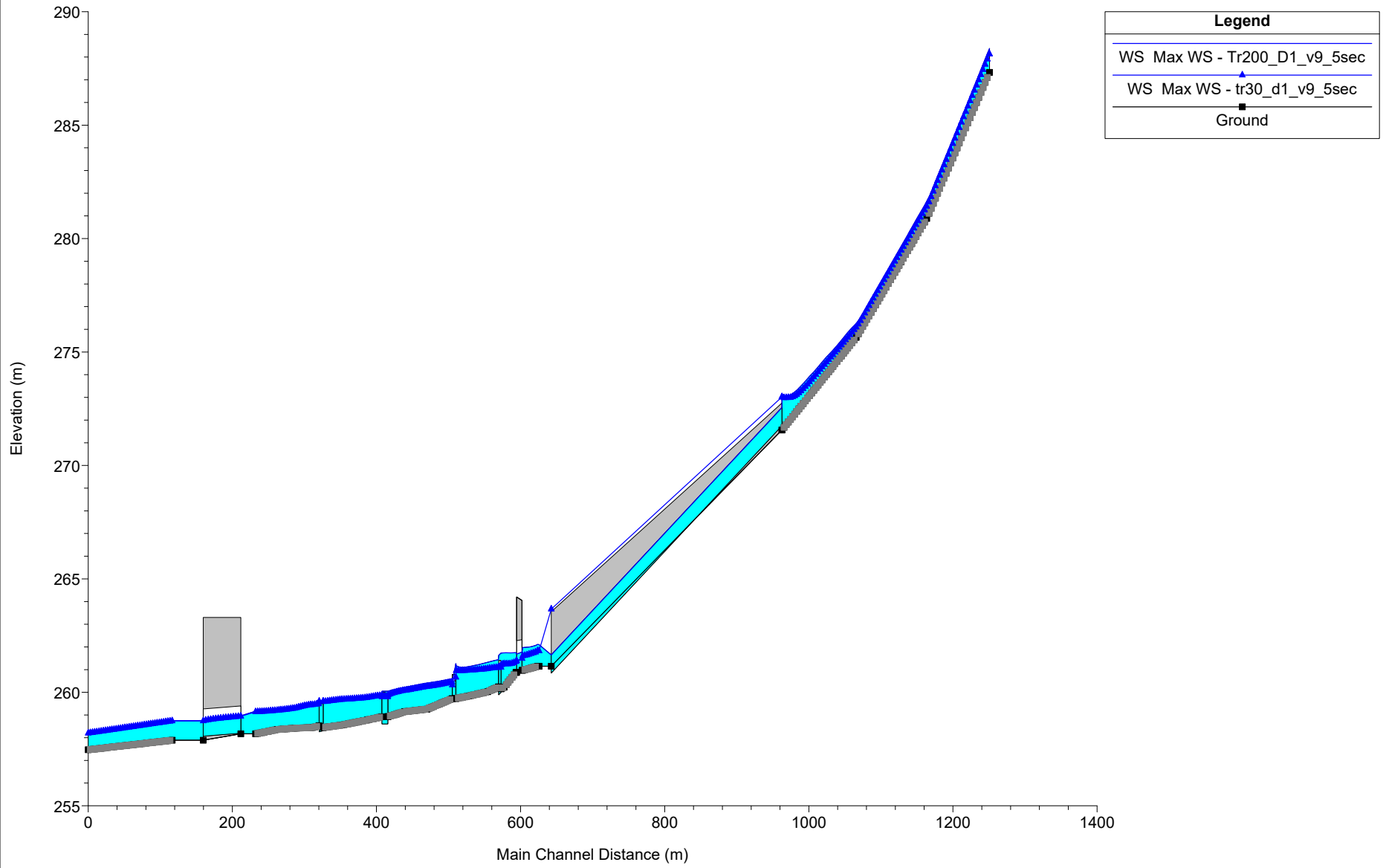








Carcerelle hec 5 Plan: 1) Tr200\_D1\_v9\_5sec 2) tr30\_d1\_v9\_5sec



HEC-RAS River: Carcerelle Reach: Unico Profile: Max WS

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Unico	290	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	5.10	287.33	288.38	288.62	289.26	0.078055	4.17	1.31	5.84	1.84
Unico	290	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	2.60	287.33	288.14	288.48	288.81	0.084303	3.63	0.72	1.77	1.83
Unico	280	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	5.09	280.89	281.64	281.93	282.52	0.055621	4.23	1.36	4.56	1.77
Unico	280	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	2.60	280.89	281.42	281.66	282.05	0.065314	3.52	0.75	2.07	1.80
Unico	270	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	5.09	275.64	276.26	276.50	276.82	0.044304	3.32	1.61	4.33	1.56
Unico	270	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	2.60	275.64	276.10	276.20	276.45	0.039740	2.62	1.00	3.07	1.42
Unico	261.9												
Unico	260	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	2.12	271.56	273.12		273.14	0.000658	0.60	3.68	4.40	0.17
Unico	260	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.62	271.56	273.02		273.03	0.000504	0.51	3.26	3.66	0.15
Unico	255												
Unico	250	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	3.34	261.15	262.10		262.22	0.007565	1.55	2.15	3.33	0.62
Unico	250	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.29	261.15	261.83		261.88	0.003851	0.97	1.34	2.68	0.44
Unico	249												
Unico	245												
Unico	240	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	3.40	261.15	262.11		262.19	0.005339	1.23	2.76	5.64	0.56
Unico	240	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.33	261.15	261.83		261.87	0.003285	0.87	1.53	3.63	0.43
Unico	230	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	4.29	260.97	261.98	261.68	262.05	0.003373	1.18	3.65	5.38	0.46
Unico	230	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.85	260.97	261.61	261.48	261.67	0.005988	1.07	1.72	4.87	0.58
Unico	225												
Unico	220	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	4.29	260.88	261.75		261.86	0.006240	1.48	2.97	5.78	0.63
Unico	220	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.85	260.88	261.35	261.35	261.50	0.019812	1.73	1.07	3.57	1.01
Unico	219												
Unico	210	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	4.29	260.23	261.74		261.78	0.001781	0.93	4.84	11.90	0.34
Unico	210	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.84	260.23	261.25		261.29	0.002520	0.88	2.10	3.62	0.37
Unico	209												
Unico	200	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	4.16	260.16	261.73		261.77	0.002193	1.00	5.15	9.28	0.34
Unico	200	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.84	260.16	261.21		261.28	0.005345	1.15	1.60	2.45	0.45
Unico	195												
Unico	190	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	4.16	260.24	261.43		261.55	0.005989	1.53	3.09	7.51	0.57
Unico	190	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.84	260.24	261.10		261.18	0.004967	1.19	1.55	2.57	0.49
Unico	189												
Unico	180	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	4.18	260.03	261.32		261.47	0.008845	1.67	2.51	4.22	0.69
Unico	180	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.84	260.03	261.04		261.11	0.004681	1.15	1.60	2.77	0.49
Unico	170	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	4.18	259.84	261.13		261.26	0.006394	1.58	2.80	6.46	0.60
Unico	170	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.84	259.84	260.97		261.01	0.002536	0.91	2.03	3.26	0.37
Unico	169.5												
Unico	160	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	2.20	259.73	261.16	260.48	261.18	0.000758	0.64	4.36	7.84	0.21
Unico	160	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.56	259.73	260.96	260.35	260.98	0.001062	0.64	2.79	7.17	0.24
Unico	155												
Unico	150	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	2.20	259.72	260.60		260.70	0.007485	1.45	1.52	2.80	0.63
Unico	150	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.55	259.72	260.45		260.55	0.007951	1.36	1.14	2.43	0.63
Unico	140	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	2.20	259.26	260.41		260.46	0.002788	0.99	2.23	3.38	0.39
Unico	140	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.55	259.26	260.26		260.30	0.002679	0.89	1.74	2.99	0.37
Unico	130	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	2.20	259.15	260.22		260.27	0.002966	0.99	2.22	3.67	0.41
Unico	130	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.55	259.15	260.08		260.12	0.002706	0.89	1.74	3.11	0.38
Unico	120	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	1.96	258.93	260.05		260.13	0.005258	1.26	1.56	2.18	0.48
Unico	120	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.55	258.93	259.88		259.97	0.006493	1.29	1.21	2.00	0.53
Unico	115												
Unico	110	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	1.96	258.92	259.95		260.01	0.004267	1.16	1.69	2.63	0.46
Unico	110	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.55	258.92	259.86		259.92	0.003894	1.06	1.47	2.47	0.44
Unico	100	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	1.96	258.78	259.84		259.90	0.003888	1.09	1.81	3.10	0.45
Unico	100	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.55	258.78	259.77		259.82	0.003522	0.99	1.57	2.89	0.43
Unico	99.5												
Unico	90	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	1.96	258.56	259.75		259.79	0.002415	0.90	2.17	3.44	0.36
Unico	90	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.55	258.56	259.68		259.72	0.002012	0.79	1.96	3.29	0.33
Unico	80	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	1.72	258.45	259.65		259.68	0.002006	0.83	2.08	2.96	0.32
Unico	80	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.52	258.45	259.59		259.62	0.001945	0.80	1.91	2.85	0.31
Unico	75												
Unico	70	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	1.72	258.52	259.52		259.57	0.003257	0.99	1.75	2.98	0.41
Unico	70	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.52	258.52	259.49		259.53	0.002846	0.91	1.67	2.91	0.38



HEC-RAS River: Carcerelle Reach: Unico Profile: Max WS (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Unico	60	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	1.68	258.45	259.47		259.52	0.003042	0.95	1.77	2.91	0.39
Unico	60	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.50	258.45	259.45		259.49	0.002663	0.88	1.71	2.90	0.36
Unico	50	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	1.51	258.42	259.32		259.38	0.004656	1.09	1.38	2.71	0.49
Unico	50	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.40	258.42	259.29		259.35	0.004603	1.07	1.31	2.61	0.48
Unico	40	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	1.51	258.36	259.23		259.28	0.003662	1.00	1.51	2.90	0.44
Unico	40	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.40	258.36	259.20		259.25	0.003612	0.97	1.44	2.83	0.44
Unico	30	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	1.47	258.17	259.17		259.19	0.001950	0.75	1.96	3.68	0.33
Unico	30	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.40	258.17	259.14		259.17	0.002089	0.75	1.86	3.66	0.34
Unico	25				Culvert								
Unico	20	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	1.47	257.89	258.76		258.81	0.004577	1.05	1.40	2.98	0.49
Unico	20	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.40	257.89	258.74		258.79	0.004578	1.04	1.35	2.91	0.49
Unico	10	Max WS	Tr200_D1_v9_5sec	1.47	257.47	258.22	257.98	258.28	0.004467	1.08	1.36	2.70	0.48
Unico	10	Max WS	tr30_d1_v9_5sec	1.40	257.47	258.20	257.97	258.26	0.004473	1.06	1.32	2.67	0.48