

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA  
RADDOPPIO TRATTA FIUME TORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
LOTTO 1 + 2

LINEA

INQUADRAMENTO GENERALE

Relazione idrologico-idraulica - Studio bidimensionale Fiume Torto

SCALA:

-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
RS3Z	00	D	26	RI	NV0000	002	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C. INTEGRA	Gennaio 2020	M. VENTURA	Gennaio 2020	A. BARILECA	Gennaio 2020	F. SACCHI Gennaio 2020

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD  
Dot. Ing. Francesco Sacchi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia  
di Siracusa n. 2017/Sir-A

File: RS3Z00D26RINV0000002A

n. Elab.:

## INDICE

1. PREMESSA .....	1
2. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO.....	2
2.1 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO IN RELAZIONE ALL'IDOGRAFIA SUPERFICIALE .....	2
2.2 BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME TORTO .....	2
3. PIANIFICAZIONE DI ASSETTO IDROGEOLOGICO .....	3
4. ANALISI PLUVIOMETRICA.....	9
4.1 GENERALITA' .....	9
4.2 PROGETTO VAPI .....	10
4.2.1 MODELLO PROBABILISTICO TCEV.....	10
4.2.1 DETERMINAZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA METODO VAPI.....	15
4.3 ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI .....	16
4.3.1 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI .....	19
5. CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA - ELABORAZIONI DRPC - SERVIZIO RIA.....	26
6. SCELTA DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....	27
7. INDIVIDUAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI.....	28
7.1 TEMPO DI CORRIVAZIONE .....	31
8. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO .....	32
8.1 DETERMINAZIONE DELLA PIOGGIA EFFICACE .....	34
8.2 IETOGRAMMI DI PROGETTO.....	39
8.3 TRASFORMAZIONE DELLA PIOGGIA EFFICACE IN DEFLUSSO.....	43
8.4 RISULTATI DEL MODELLO IDROLOGICO .....	45
9. MODELLAZIONE IDRAULICA.....	47
9.1 GEOMETRIA ED DATI DI INPUT DEL MODELLO IDRAULICO.....	47
10. ALLEGATI .....	49
11. HEC HMS .....	50
12. HEC RAS 2D .....	51
13. IDROGRAMMI DI PROGETTO TR 200 ANNI.....	54
13.1 FIUME TORTO_ IDROGRAMMA DI PROGETTO TR 200 ANNI .....	61
13.2 BACINI IN SINISTRA INFRASTRUTTURA DI PROGETTO .....	62
13.3 BACINI IN DESTRA INFRASTRUTTURA DI PROGETTO.....	67
14. RISULTATI DELLA MODELLAZIONE .....	73
14.1 SIMULAZIONE BIDIMENSIONALE FIUME TORTO ANTE OPERAM - POST OPERAM.....	73

## 1. PREMESSA

Il presente studio nell'ambito della progettazione definitiva del raddoppio tratta Fiume Torto - Lercara Diramazione, (nuovo collegamento ferroviario Palermo-Catania appartenente alla Direttrice ferroviaria Messina-Catania-Palermo), si propone di fornire :

- l'inquadramento idrologico del territorio interessato dall'opera e le caratteristiche del reticolo idrografico da questa interferito;
- la stima delle portate di progetto delle opere di attraversamento dei corpi idrici interferenti con l'infrastruttura in studio, attraverso l'utilizzo di un modello matematico di trasformazione Afflussi Deflussi capace di mettere in relazione l'afflusso meteorico con l'idrogramma di piena generato;
- una valutazione delle aree di esondazione, della loro estensione, dei corrispondenti tiranti idrici e delle velocità di deflusso in relazione a due differenti scenari Ante e Post Operam, attraverso una modellazione idraulica in di tipo bidimensionale del Fiume Torto e dei vari corsi d'acqua affluenti;
- valutazione dell'adeguatezza dei manufatti di attraversamento, esistenti e in progetto, sia in termini di sezione idraulica sia di franco di sicurezza rispetto all'intradosso del manufatto.

## 2. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

### 2.1 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO IN RELAZIONE ALL'IDOGRAFIA SUPERFICIALE

L'infrastruttura in progetto si sviluppa lungo la direttrice Palermo-Catania andando a costituire il nuovo collegamento tra Roccapalumba e Lercara. Nel suo percorso viene interferita da una serie di corsi d'acqua con bacini idrografici di piccola estensione a carattere prevalentemente torrentizio.

Il principale bacino idrografico interessato dall'infrastruttura in studio è quello del fiume Torto che con andamento prevalentemente meandriforme scorre in affiancamento alla stessa salvo poi esserne attraversato nella parte finale del tracciato mediante un viadotto su cinque campate (quattro di luce 49.80 m ed una di 24 m) di lunghezza pari a 223.20 m.

### 2.2 BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME TORTO

Il bacino idrografico del F. Torto ricade nel versante settentrionale della Sicilia e si estende, per circa 420 km<sup>2</sup>, da contrada Regalmici, appartenente al territorio di Castronovo di Sicilia, sino al Mar Tirreno, in contrada Canne Masche, nel territorio di Termini Imerese. Esso si inserisce tra il bacino del F. Imera Settentrionale e l'area territoriale di Termini Imerese ad est, il bacino del F. S. Leonardo ad ovest e il bacino del F. Platani a sud e ricade nei territori della provincia di Palermo e Caltanissetta.

Il bacino idrografico del Fiume Torto presenta una variabilità morfologica piuttosto spiccata, sviluppando il suo territorio tra due complessi montuosi (Madonie e Monti di Termini) e comprendendo anche la zona interna collinare tra la catena settentrionale ed i Monti Sicani.

L'asta principale del fiume, lungo complessivamente circa 57 Km, nel tratto di monte, si sviluppa in direzione est-ovest, parallelamente allo spartiacque meridionale. In questo primo tronco gli affluenti principali sono: il T. Gian Jacopo ed il V.ne Guccia. Nella zona centrale, fino alla confluenza in sinistra del T. Lisca, il corso d'acqua raccoglie i deflussi del F. S. Filippo e del V.ne Raffo, in sponda sinistra. A valle della confluenza con il T. Lisca, che costituisce il maggiore affluente del F. Torto, il corso d'acqua prosegue fino alla foce raccogliendo i deflussi del V.ne Finantelli e Scarcella, in sponda sinistra, e il Fosso Zimma ed il V.ne Baglio, in sponda destra.

Il Fiume Torto presenta un regime tipicamente torrentizio, caratterizzato da lunghi periodi di magra, con valore della portata praticamente uguale a zero.

### 3. PIANIFICAZIONE DI ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'assetto idrogeologico dell'area interessata dall'infrastruttura in progetto è regolamentato dal "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico" (di seguito P.A.I.), redatto dall'Assessorato Regionale al Territorio e Ambiente della Sicilia ai sensi dell'art.17, comma 6 ter, della L. 183/89, dell'art. 1, comma 1, del D.L. 180/98, convertito con modificazioni dalla L. 267/98, e dell'art. 1 bis del D.L. 279/2000, convertito con modificazioni dalla L. 365/2000.

Esso ha valore di Piano Territoriale di Settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico del territorio siciliano.

Il P.A.I. ha sostanzialmente tre funzioni:

- la funzione conoscitiva, che comprende lo studio dell'ambiente fisico e del sistema antropico, nonché della ricognizione delle previsioni degli strumenti urbanistici e dei vincoli idrogeologici e paesaggistici;
- la funzione normativa e prescrittiva, destinata alle attività connesse alla tutela del territorio e delle acque fino alla valutazione della pericolosità e del rischio idrogeologico e alla conseguente attività di vincolo in regime sia straordinario che ordinario;
- la funzione programmatica, che fornisce le possibili metodologie d'intervento finalizzate alla mitigazione del rischio, determina l'impegno finanziario occorrente e la distribuzione temporale degli interventi.

Il riferimento territoriale del P.A.I. è la Regione Sicilia che costituisce un unico bacino di rilievo regionale. La Sicilia, estesa complessivamente 25.707 kmq, è stata suddivisa in 102 bacini idrografici e aree territoriali intermedie, oltre alle isole minori. Per ogni bacino idrografico è stato realizzato un piano stralcio. I piani sono pubblicati singolarmente, nel caso dei bacini idrografici di maggiore estensione e le isole minori, o raggruppando i bacini idrografici meno estesi e le aree territoriali intermedie.

Nell'ambito delle attività svolte per la redazione del P.A.I., lo studio idraulico è stato finalizzato sia alla valutazione delle capacità di convogliamento dei diversi tratti d'alveo nelle loro condizioni attuali, sia all'individuazione dell'estensione delle aree di allagamento, nei tratti soggetti ad esondazione.

Necessaria è stata la costruzione di un quadro conoscitivo di base dell'ambiente fisico oggetto di studio; pertanto, oltre alla definizione del reticolo idrografico, dei limiti del bacino principale e dei sottobacini, è stata effettuata una prima caratterizzazione delle aste fluviali. Parallelamente a tale attività, sono stati acquisiti tutti

gli elementi conoscitivi utili all'individuazione delle aree potenzialmente inondabili attraverso informazioni storiche e analisi di tipo territoriale.

Si è proceduto, così, allo studio idrologico dei vari bacini e sono state stimate le massime portate relative alle sezioni di interesse del corso d'acqua (in dipendenza delle aree potenzialmente inondabili prima individuate) e la probabilità associata che tali portate vengano raggiunte o superate.

Nella fase successiva, attraverso lo studio idraulico, sono state determinate, in ogni sezione scelta, i livelli idrici associati agli eventi di piena precedentemente definiti e, conseguentemente, sono state perimetrare le aree inondabili.

Infine, sono stati valutati la pericolosità ed il rischio. Si sottolinea che, nella metodologia adottata per determinare il rischio per inondazione, poiché la valutazione quantitativa del danno richiede, oltre ad una conoscenza dettagliata degli elementi esposti al rischio sul territorio, anche la stima della vulnerabilità, valutabile tramite analisi territoriali, sociali ed economiche da svolgersi ad un livello di dettaglio che trascende le scale proprie della pianificazione di bacino, nell'ambito del P.A.I. il rischio è stato valutato considerando soltanto due fattori. In particolare si è tenuto conto del valore degli elementi a rischio presenti nell'area in esame (E) e della pericolosità idraulica (P).

$$R = P \times E$$

Classe di pericolosità	
P4	Aree a pericolosità molto elevata
P3	Aree a pericolosità elevata
P2	Aree a pericolosità moderata
P1	Aree a pericolosità bassa

*Tabella 1: Classi di pericolosità idraulica*

Classe	Descrizione
<b>E1</b>	Case sparse - Impianti sportivi e ricreativi - Cimiteri - Insediamenti agricoli a bassa tecnologia - Insediamenti zootecnici.
<b>E2</b>	Reti e infrastrutture tecnologiche di secondaria importanza e/o a servizio di ambiti territoriali ristretti (acquedotti, fognature, reti elettriche, telefoniche, depuratori,...) - Viabilità secondaria (strade provinciali e comunali che non rappresentino vie di fuga) - Insediamenti agricoli ad alta tecnologia - Aree naturali protette, aree sottoposte a vincolo ai sensi del D. L.vo 490/99.
<b>E3</b>	Nuclei abitati - Ferrovie - Viabilità primaria e vie di fuga - Aree di protezione civile (attesa, ricovero e ammassamento) - Reti e infrastrutture tecnologiche di primaria importanza (reti elettriche e gasdotti) - Beni culturali, architettonici e archeologici sottoposti a vincolo - Insediamenti industriali e artigianali - Impianti D.P.R. 175/88.
<b>E4</b>	Centri abitati - Edifici pubblici di rilevante importanza (es. scuole, chiese, ospedali, ecc.).

*Tabella 2: Elementi a rischio*

<b>R1</b>	<b>RISCHIO MODERATO:</b> per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali.
<b>R2</b>	<b>RISCHIO MEDIO:</b> per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.
<b>R3</b>	<b>RISCHIO ELEVATO:</b> per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale.
<b>R4</b>	<b>RISCHIO MOLTO ELEVATO:</b> per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.

*Tabella 3: Classi di rischio*

Gli studi suddetti, condotti per i tempi di ritorno  $T = 50, 100$  e  $300$  anni, si possono pertanto articolare nelle seguenti fasi fondamentali:

- individuazione e caratterizzazione dell'ambiente fisico oggetto di studio;
- analisi storico-inventariale (raccolta dati) e analisi territoriale;
- studio idrologico;

- studio idraulico;
- perimetrazione delle aree a diversa pericolosità di inondazione e valutazione del rischio idraulico.

La stima della pericolosità costituisce il presupposto essenziale per la valutazione del rischio sul territorio. Essa è stata valutata in maniera differente a seconda delle informazioni disponibili e dell'affidabilità della ricostruzione delle aree inondabili.

Nel caso in cui la scala della cartografia disponibile e le connesse sezioni trasversali della valle fluviale non consentissero di ottenere un'affidabile distribuzione spaziale delle altezze idriche all'interno dell'area inondata (ottenuta peraltro utilizzando modelli monodimensionali, oppure bidimensionali semplificati), si è fatto riferimento ad una metodologia, cosiddetta "semplificata", che valuta la pericolosità soltanto in funzione del tempo di ritorno (vedi Tabella 4).

<b>T</b>	<b>P</b>
<b>50</b>	P3
<b>100</b>	P2
<b>300</b>	P1

*Tabella 4: Calcolo della pericolosità idraulica secondo la metodologia semplificata*

Le classi di rischio sono dunque determinate dalla sovrapposizione della carta della pericolosità con gli elementi a rischio risultanti dalle informazioni derivate dalla CTR in scala 1:10.000 e dalle ortofotocarte alla medesima scala. Mediante l'incrocio del dato relativo all'elemento con quello della classe di pericolosità, si può pertanto risalire agevolmente al grado di rischio (Tabella 5).

<b>Rischio</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>
<b>P1</b>	R1	R1	R2	R3
<b>P2</b>	R1	R2	R3	R4
<b>P3</b>	R2	R2	R4	R4

*Tabella.5: Valutazione del rischio idraulico secondo la metodologia semplificata.*

Nel caso in cui, invece, i risultati della modellazione idraulica fossero supportati da elementi conoscitivi di dettaglio (cartografia 1:2000 e/o sezioni trasversali rilevate in loco), atti a consentire una notevole affidabilità relativa al calcolo della distribuzione spaziale delle grandezze idrauliche (ottenute tramite l'uso di modelli mono/bidimensionali o quasi-bidimensionali), si è fatto ricorso ad una metodologia "completa" che valuta la pericolosità incrociando le informazioni relative al tempo di ritorno con quelle relative alla distribuzione spaziale delle altezze idriche.



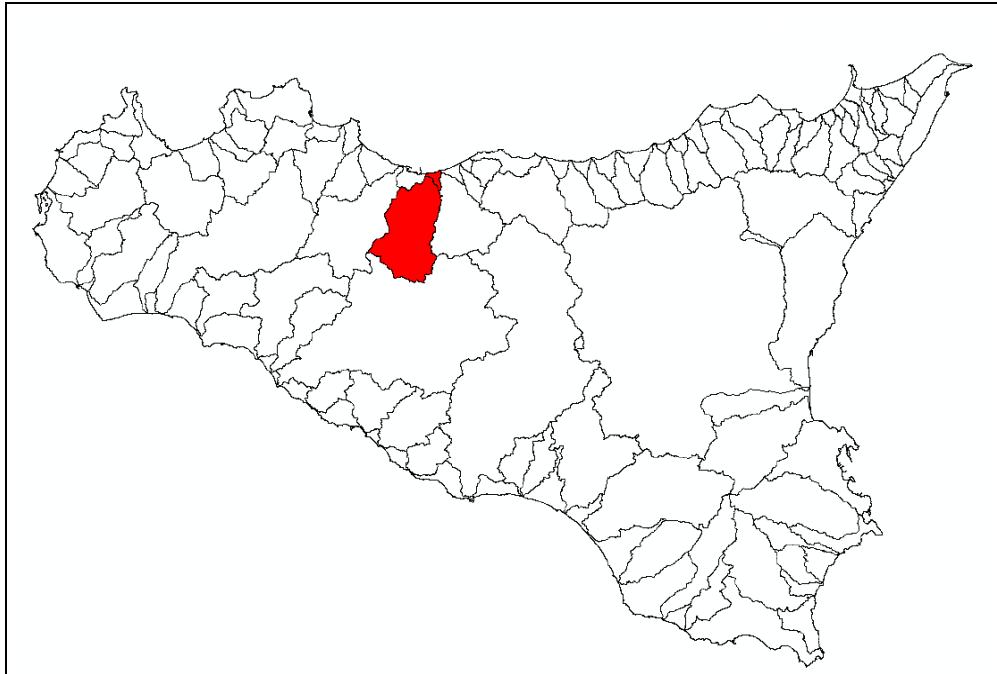
Battente Idraulico	Tempo di Ritorno		
	50	100	300
H<0.3 m	P1	P1	P1
0.3<H<1 m	P2	P2	P2
1<H<2 m	P4	P3	P2
H>2 m	P4	P4	P3

Tabella 6: Calcolo della pericolosità idraulica secondo la metodologia completa.

Rischio	E1	E2	E3	E4
P1	R1	R1	R2	R2
P2	R1	R2	R3	R3
P3	R2	R2	R3	R4
P4	R2	R3	R4	R4

Tabella.6: Valutazione del rischio idraulico secondo la metodologia completa.

I piani di riferimento per il tracciato in progetto sono relativi al Bacino Idrografico del Fiume Torto (080)–  
Giugno 2004.



*Figura 1: P.A.I. Sicilia – bacini idrografici di interesse per l'infrastruttura in progetto*

Dall'analisi degli elaborati cartografici relativi alla definizione delle aree di Pericolosità e Rischio Idraulico (Bacino idrografico del Fiume Torto (031)-Area Territoriale tra il bacino del Fiume Torto ed il Bacino del Fiume Imera Settentrionale (031 A) Area Territoriale tra il bacino del Fiume S Leonardo e il bacino del Fiume Torto (032) ) risulta che l'infrastruttura in progetto non interessa alcuna delle due aree specifiche.

## 4. ANALISI PLUVIOMETRICA

### 4.1 GENERALITA'

Lo studio delle piogge avviene utilizzando metodologie statistiche, basate su misure delle altezze di precipitazione realmente osservate.

La rappresentazione di un evento pluviometrico di una certa durata  $\tau$ , viene effettuata mediante una curva, detta curva segnalatrice di possibilità pluviometrica o climatica, caratterizzata generalmente dalla seguente espressione:

$$h = at^n \quad \text{Eq. 4.1}$$

nella quale  $h$  rappresenta l'altezza di precipitazione caduta nell'intervallo di tempo  $t$ ;  $a$  ed  $n$  sono dei coefficienti determinati statisticamente.

L'area di progetto ricade all'interno del bacino idrografico del Fiume Torto di seguito individuati rispettivamente in blu e ed in rosso, con riferimento all'isola della Sicilia.

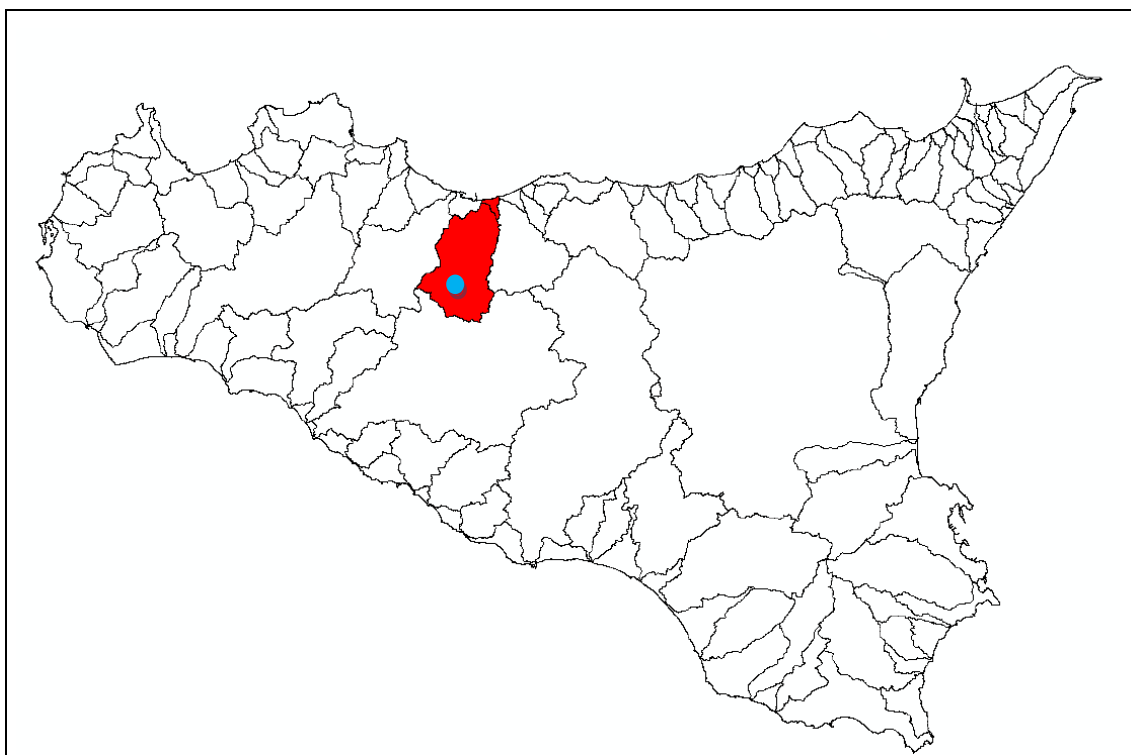


Figura 2 – Ubicazione del tracciato di progetto

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica (CCP) associate ai diversi tempi di ritorno  $T_r$ , nella presente applicazione si analizzano e si confrontano i risultati di tre diversi studi.

1. Progetto VAPI Sicilia, riportati nella pubblicazione: *“La valutazione delle piene in Sicilia”*
2. Analisi statistica tramite il modello probabilistico di Gumbel dei dati osservati ai pluviografi dagli Annali Idrologici forniti dall’Osservatorio delle Acque della Regione Sicilia la cui area di influenza interessa il tracciato di progetto
3. Curve di possibilità pluviometrica presenti nel documento *“Parametri  $a$  ed  $n$  delle curve di possibilità pluviometrica del territorio regionale”* del Servizio Rischi Idrogeologici ed ambientali della Protezione Civile Siciliana.

## 4.2 PROGETTO VAPI

Il progetto VAPI esegue l’analisi delle serie storiche delle piogge registrate in tutte le stazioni di misura della regione Sicilia, basandosi sul modello probabilistico TCEV descritto al paragrafo seguente, e fornisce delle mappe che permettono di determinare agevolmente i parametri delle elaborazioni statistiche.

### 4.2.1 Modello probabilistico TCEV

La funzione di probabilità per la variabile casuale  $h_t$ , massimo annuale dell’altezza di pioggia di durata oraria proposta dal metodo TCEV ha la seguente forma:

$$F(h_t) = e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{h_t}{\Theta_1}} - \Lambda_2 e^{-\frac{h_t}{\Theta_2}}} \quad \text{Eq. 4.2}$$

e dipende dunque da quattro parametri che sono rispettivamente:  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda_2$ ,  $\Theta_1$  e  $\Theta_2$ .

Tuttavia ponendo  $\Theta_* = \frac{\Theta_2}{\Theta_1}$   $\Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\Theta_*}}$  essa diviene

$$F(h_t) = e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{h_t}{\Theta_1}} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\frac{h_t}{\Theta_* \cdot \Theta_1}}} \quad \text{Eq. 4.3}$$

ed i parametri da stimare sono  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ .

Si osserva che la media della distribuzione può essere così calcolata:

$$\mu_{h_t} = \left[ \ln \Lambda_1 + 0.5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_1^j}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\Theta_*}\right) \right] \Theta_1 = \eta \cdot \Theta_1 \quad \text{Eq. 4.4}$$

dove  $\Theta_1$  dipende dai primi tre parametri.

Se si indica con  $k$  il rapporto adimensionale tra la variabile aleatoria  $h_t$  e la sua media ( $k = \frac{h_t}{\mu_{h_t}}$ ) allora

l'espressione della funzione di probabilità diviene:

$$F(k) = e^{-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^2 / \Theta_* e^{-\frac{\eta k}{\Theta_*}}} \quad \text{Eq. 4.5}$$

ed i parametri da determinare sono  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\mu_{h_t}$ .

La funzione si presta ad essere specificata nei suoi parametri a diversi livelli di omogeneità regionale utilizzando contemporaneamente più serie storiche.

Il VAPI ha analizzato i dati della rete pluviografica siciliana gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) di Palermo. Essa, al 1981, risultava composta da 172 stazioni di misura con almeno 10 anni di osservazione, con una densità media di una stazione per 150 km<sup>2</sup>.

Ciò ha permesso di stimare i parametri secondo vari livelli di regionalizzazione. I parametri  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ , da cui dipende il coefficiente di simmetria della curva possono essere ritenuti costanti su tutta la Sicilia (regione omogenea), mentre il parametro  $\Lambda_1$  è stato stimato costante entro tre zone omogenee (A, B, C – Figura 3) che corrispondono sommariamente ai tre “corni” della Sicilia.

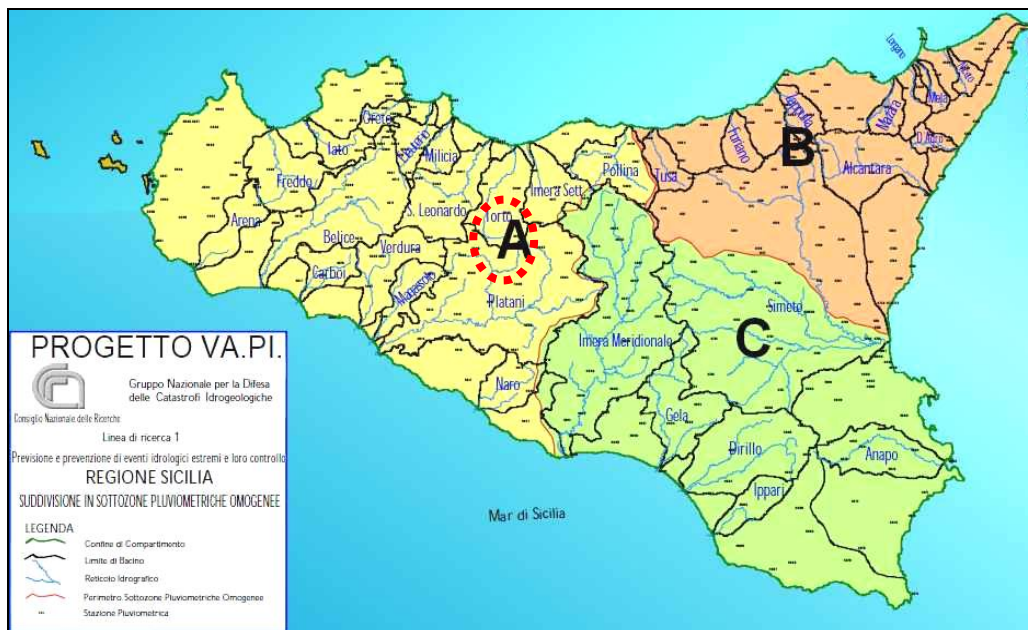


Figura 3-Regione Sicilia: mappa della suddivisione sottozone pluviometriche omogenee, con indicata l'area di studio.

Per piogge di durata giornaliera i valori calcolati dal VAPI sono:

Sottozona	$\Lambda_*$	$\Theta_*$	$\Lambda_1$	$\eta(\Lambda_*, \Theta_*, \Lambda_1)$
A			12	4.001
B	0.455	2.632	16	4.288
C			23	4.651

Per piogge di durata oraria, invece, si osserva che i parametri hanno una certa dipendenza dalla durata,  $t$ , secondo le seguenti leggi:

Sottozona	$\Lambda_*$	$\Theta_*$	$\Lambda_1$	$\eta(\Lambda_*, \Theta_*, \Lambda_1)$
A			$14.55 t^{0.2419}$	Da calcolare per ogni caso.
B	$0.175 t^{0.301}$	$1.95+0.0284 t$	$12.40 t^{0.1802}$	
C			$11.96 t^{0.0960}$	

L'ultimo parametro che definisce compiutamente la funzione di probabilità TCEV è  $\mu_{ht}$ . Esso può essere stimato come media aritmetica della serie storica di pari durata  $t$  della stazione di misura più vicina. Tuttavia il VAPI fornisce una tavola della Sicilia con le linee di iso- $a$  ossia dei valori medi per piogge della durata  $t=1$  ora (Figura 4).

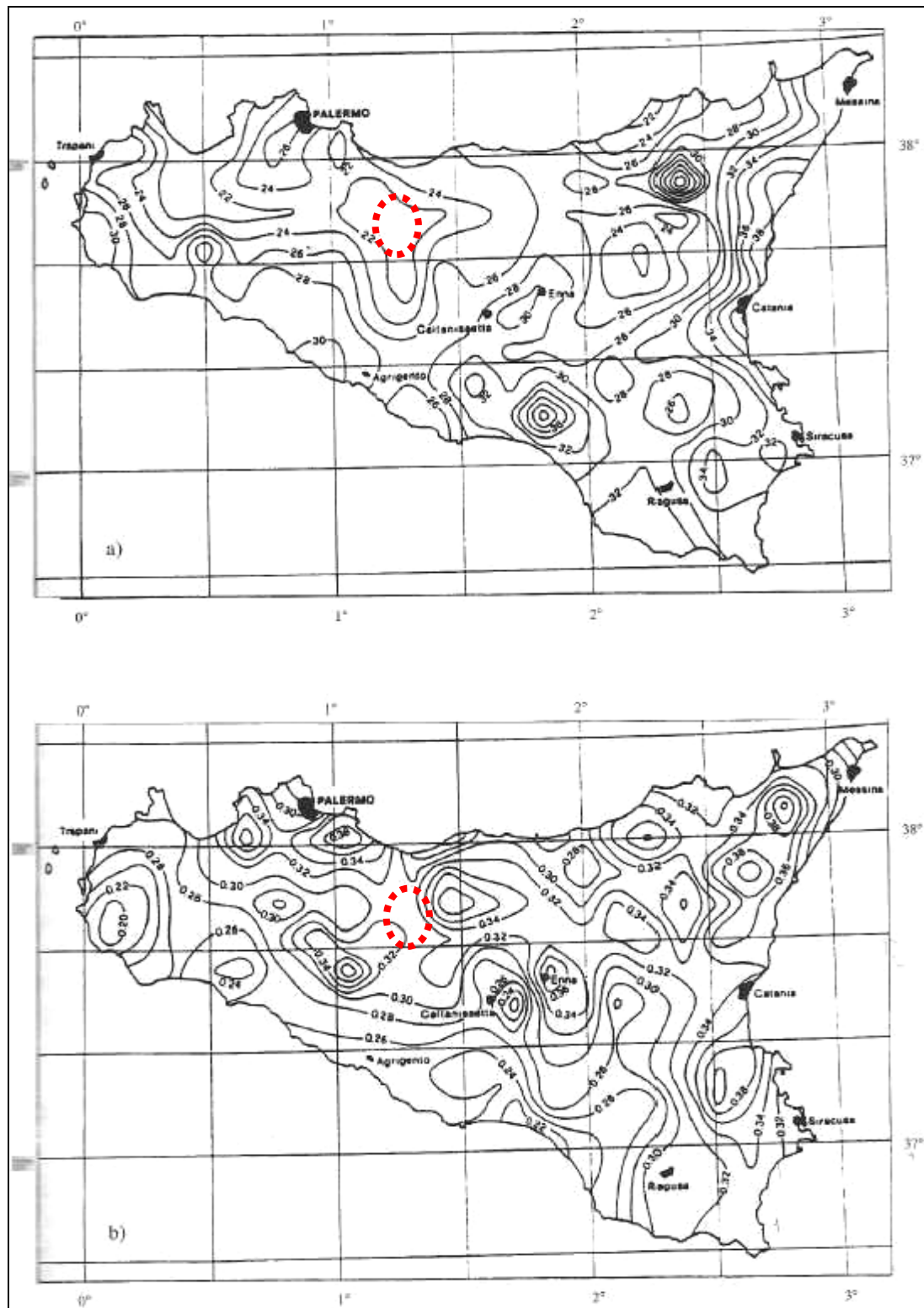


Figura 4 – Carta delle iso-a (sopra) e delle iso-n (sotto) per il territorio siciliano.

Per le altre durate il valore medio è direttamente calcolato tramite la relazione:

$$\mu_{h_t} = at^n \quad \text{Eq. 4.6}$$

che segue dall'aver applicato l'operatore di media alla formula dell'equazione di possibilità pluviometrica.

Anche i valori di  $n$  sono forniti dal VAPI per tutto il territorio siciliano (

Figura ).

Una volta nota la distribuzione di probabilità della variabile aleatoria  $h_t$  (ovvero  $k$ ) il problema tipico è quello di conoscere il valore della variabile, assegnato il tempo di ritorno ( $Tr$ ) dell'evento.

Il tempo di ritorno  $Tr$  è legato alla probabilità cumulata di non superamento secondo la relazione:

$$T_r = \frac{1}{1-F(k)} \quad \text{Eq. 4.7}$$

tuttavia non è possibile esplicitare analiticamente  $k$ , se non in forma approssimata.

Il VAPI, tenuto conto della dipendenza dei parametri da  $t$ , suggerisce le seguenti approssimazioni per  $k(Tr)$ :

Zona	$K_T(t, Tr)$ per piogge orarie
A	$0.5391 - 0.001635 \cdot t + (0.0002212 \cdot t^2 + 0.00117 \cdot t + 0.9966) \cdot \log(Tr)$
B	$0.5135 - 0.002264 \cdot t + (0.0000198 \cdot t^2 + 0.00329 \cdot t + 1.0508) \cdot \log(Tr)$
C	$0.5015 - 0.003516 \cdot t + (0.0003720 \cdot t^2 + 0.00102 \cdot t + 1.0101) \cdot \log(Tr)$

Tabella 8 – Espressioni per il calcolo di  $K_t$  per le sottozone pluviometriche omogenee in cui è divisa la Sicilia.

$k(Tr)$  è spesso indicato come  $K_T$  e viene chiamato fattore di crescita, perché esprime il rapporto tra un valore indice della variabile precipitazione, in questo caso la media, ed il valore effettivo crescente con il tempo di ritorno.

Le espressioni indicate in

Tabella per  $K_T(t, Tr)$  valgono solo per  $t > 1$  ora.

Osservando che i bacini interessati dal progetto appartengono tutti alla sottozona omogenea A, si possono definire le curve di possibilità pluviometrica secondo le seguenti leggi.

Per  $t \geq 1$  ora:



$$h_t = K_T \cdot \mu_{h_t} = (0.5391 - 0.001635 \cdot t + (0.0002212 \cdot t^2 + 0.00117 \cdot t + 0.9966) \cdot \log(Tr)) \cdot a \cdot t^n \text{ Eq. 4.8}$$

dove  $n$  e  $a$  sono ricavabili per ogni bacino tramite le tavole fornite dal VAPI e riportate in Figura .

Per  $t < 1$  ora:

$$h_t = 0.208 \cdot h_{60,Tr} \cdot t^{0.386} \text{ Eq. 4.9}$$

in cui le durate sono espresse in minuti. Anche questa relazione è suggerita dal VAPI.

L'area interessata dal presente studio ricade in una zone entro cui i valori di  $a$  e  $n$  possono essere considerati costanti. I valori assunti sono riportati in Tabella 9.

Tabella 9 – Valori di  $a$  e  $n$  per la zone di studio.

<b>a</b> [mm/ore <sup>n</sup> ]	<b>n</b>
22.0	0.32

#### 4.2.1 Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica metodo VAPI

Fissato il tempo di ritorno,  $Tr$ , tramite l'equazione 2.8 sono state determinate le altezze di pioggia di diversa durata, variabile da 1 a 24 ore . Per interpolazione esponenziale dei valori così ottenuti, sono stati determinati i valori dei parametri della curva di possibilità pluviometrica per le piogge orarie nella forma di eq. 2.1 per diversi tempi di ritorno (30, 100, 200 e 300 anni).

Per distinguerli dai parametri utilizzati nell'eq. 2.6, tali parametri sono stati indicati come  $a'$  ed  $n'$ .

I risultati ottenuti sono riportati in Tabella 10

<b>Tr</b> [anni]	<b>Kt</b>	<b>a'</b> [mm/ore <sup>n</sup> ]	<b>n'</b>
25	1.93	42.50	0.32
50	2.23	49.10	0.32
100	2.53	55.71	0.32
200	2.83	62.31	0.32
300	3.01	66.18	0.32


	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA</b> <b>TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE – LOTTO 1+2</b>					
RELAZIONE IDROLOGICO – IDRAULICO STUDIO BIDIMENSIONALE FIUME TORTO	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO RINV0000002	REV. A	FOGLIO 16 di 88

Tabella 10 – Valori dei parametri della CPP per le zone di intervento  $t \geq 1$  ora.

Per durate  $t < 1$  ora, si può utilizzare l'equazione 2.9. Nella presente applicazione si sono, tuttavia, utilizzati, a favore di sicurezza (altezze di precipitazione maggiori), i parametri delle piogge orarie anche per i sottobacini che presentano tempi critici inferiori all'ora.

### 4.3 ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI

Le curve di caso critico, pur fornendo alcune informazioni sul carattere degli eventi pluviometrici, non danno modo di marcare in forma esplicita ogni evento registrato con il valore della sua frequenza probabile: cioè non consentono di valutare quale sia la ricorrenza media del suo verificarsi. L'analisi statistica degli eventi osservati consente invece di allargare il campo delle previsioni oltre il periodo di osservazione e di associare ad ogni evento un tempo di ritorno  $T_r$ , inteso come periodo, espresso in anni, nel quale mediamente l'evento viene eguagliato o superato. Il metodo utilizzato per l'analisi statistica dei dati di pluviometrici è il cosiddetto metodo di Gumbel.

Il metodo di Gumbel, prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale (o di Gumbel, appunto) al campione di dati di precipitazione intesi come variabili indipendenti.

La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

$$F = P(X \leq x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

Introducendo la variabile ridotta

$$y = \alpha(x - u)$$

Si ha la forma canonica

$$F = e^{-e^{-y}}$$

I parametri  $\alpha$  e  $u$  sono legati alla media e alla varianza della popolazione. Sfruttando le informazioni contenute nel campione a disposizione si procede alla loro stima seguendo diversi metodi. Si otterranno parametri diversi per ogni durata di precipitazione. Per una durata di precipitazione si ordinano le  $N$  altezze di precipitazione in ordine crescente e si numerano da 1 a  $N$ . Ad ogni altezza di precipitazione si associa la relativa frequenza cumulata di non superamento calcolata con la formula di Weibull:

$$F_i = \frac{i}{N + i}$$

A denominatore si ha N+1 in luogo di N per evitare che il più grande evento verificatosi sia caratterizzato da una frequenza cumulata di non superamento di una certa altezza di precipitazione (relativa ad una popolazione) con la sua frequenza cumulata di non superamento ( che si riferisce invece ad un campione della popolazione suddetta), cioè:

$$F(h_i) \cong F_i$$

La variabile ridotta da associare ad ogni altezza di precipitazione viene quindi calcolata come:

$$F(h_i) = F_i = F(y) = e^{-e^{(y)}}$$

e

$$F_i = \frac{i}{N + i}$$

$$y_i = - \ln [-\ln(1/N+1)]$$

Con questa assunzione la variabile ridotta dipende solamente da h con la relazione lineare:

$$y = \alpha (h-u)$$

La stima dei parametri  $\alpha$  e u si ottiene applicando il metodo dei momenti, in base al quale i parametri della distribuzione vengono ottenuti eguagliando la media campionaria della distribuzione della popolazione.

Si ottengono quindi per  $\alpha$  e u le seguenti espressioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{S_u}$$

$$u = m_h - \frac{0.577}{\alpha}$$

Introducendo il concetto di Tempo di Ritorno  $T_r$  cioè il tempo che mediamente trascorre tra l'accadimento di un evento e di un altro di entità uguale o superiore, si ottiene l'espressione che esprime le altezze di precipitazione in funzione del tempo di ritorno:

$$T(h) = \frac{1}{1-F(h)} \Rightarrow F(h) = \frac{T_r-1}{T_r}$$

Grazie all'espressione del metodo di Gumbel è stata ricavata un'espressione analitica della funzione che fornisce il valore di h in funzione di Tr per un prefissata precipitazione. Si vuole ora trovare un'espressione analitica che per un dato tempo di ritorno fornisca l'altezza di precipitazione i funzione della durata.

A questo scopo si assegna alla funzione h (Tr,τ) la seguente forma:

$$h (Tr, \tau) = a (Tr) \tau^n$$

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica.

L'intensità di pioggia è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

$$i(T_r, \tau) = \frac{h(T_r, \tau)}{\tau} = a \cdot \tau^{n-1}$$

Passando alla notazione logaritmica l'equazione della curva di possibilità pluviometrica assume la forma lineare e viene ottenuta interpolando i valori per regressione lineare ai minimi quadrati. Gli scarti da minimizzare sono quelli verticali, in quanto la misura di h soffre maggiori di incertezze rispetto a quella del tempo di pioggia:

$$\log h = \log a + n \log \tau$$

#### 4.3.1 Analisi delle precipitazioni

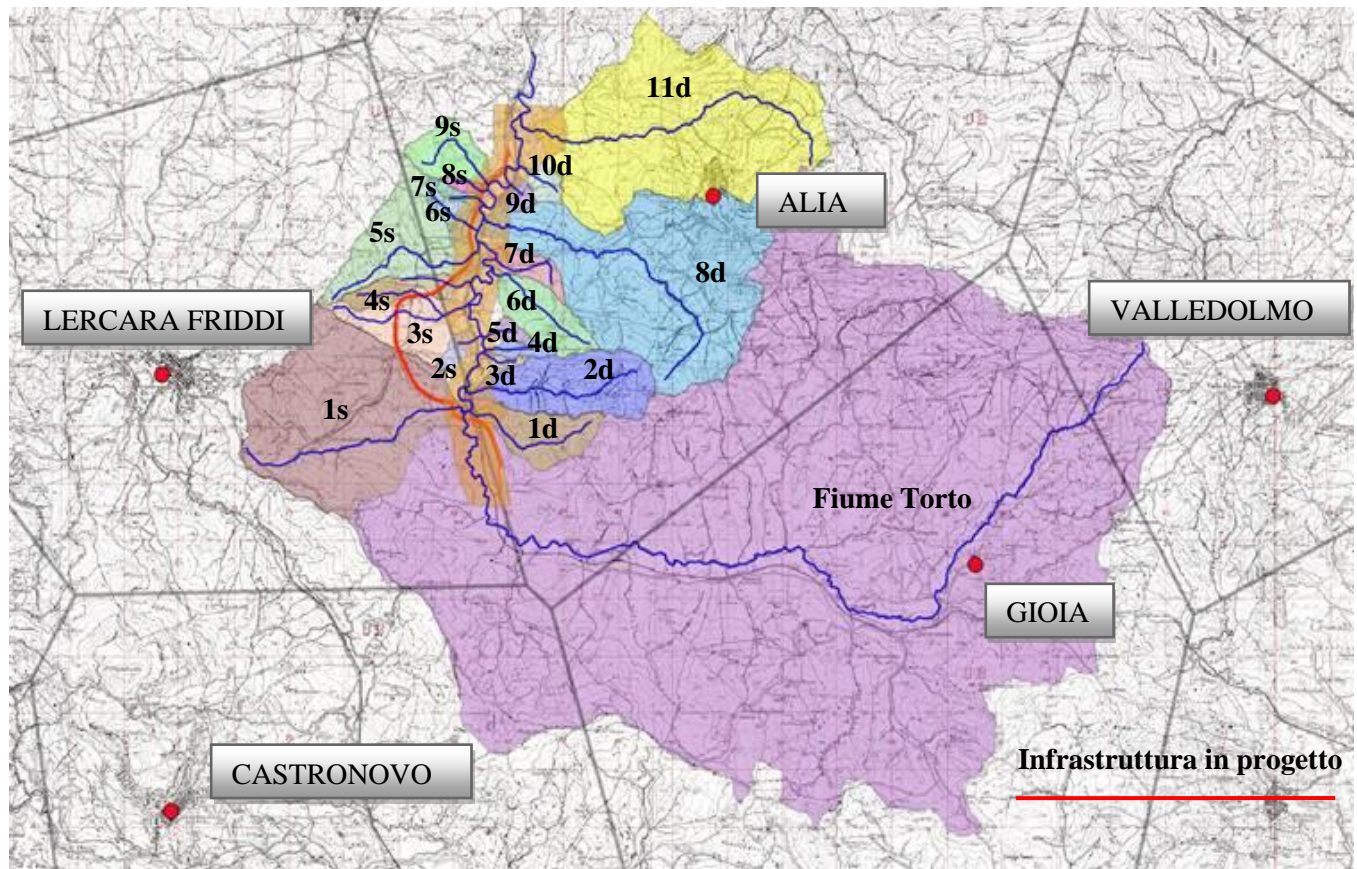
Per sviluppare l'analisi statistica sopra descritta sono stati considerati i dati di pioggia registrati nelle stazioni pluviometriche più vicine al tratto stradale di progetto. Le stazioni più vicine all'area di interesse sono quelle di Alia, Lercara Friddi, Valledolmo, Gioia e Castronovo di cui si riportano di seguito in tabella le caratteristiche,

Stazione pluviometrica	Numero osservazioni	Periodo osservazioni (anni)	Altitudine (m s.l.m.)	Latitudine	Longitudine
ALIA	37	1972-2015	734	37°44'24" N	13°36'00" E
LERCARA FRIDDI	45	1958-2009	693	37°46'36" N	13°42'08" E
GIOIA	31	1954-2004	560	37°43'6.9" N	13°46'8" E
CASTRONOVO	49	1933-1999	660	37°40'40.59" N	13°36'11" E
VALLEDOLMO	27	1960-2002	693	37°46'36" N	13°42'08" E

Si è quindi, proceduto a ripartire il territorio di studio in aree di competenza relative alle stazioni vicine. Per questo scopo, è stato utilizzato il metodo geometrico dei reticoli di Thiessen.

Con questo approccio si definisce il punto di mezzo dei segmenti che collegano una stazione con quella contigua e da questo punto si traccia la normale fino ad incontrare la normale relativa ad un'altra congiungente. L'area così delimitata è associata agli eventi che si sono verificati nella stazione posta all'interno del poligono.

A tutti i bacini individuati sono state assegnate una o più stazioni pluviometriche di riferimento secondo la metodologia sopra descritta, esemplificata in figura



*Reticolo di Thiessen per le stazioni pluviometriche della zona di studio.*

Nel caso di bacini con più stazioni pluviometriche ricadenti al proprio interno l'altezza di pioggia complessiva è stata calcolata come media pesata delle altezze di pioggia delle singole stazioni.

I dati idrologici disponibili per l'analisi pluviometrica sono quelli degli Annali Idrologici forniti dall'Osservatorio delle Acque della Regione Sicilia.

I dati di interesse sono i valori storici del massimo annuo giornaliero della pioggia per le durate di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

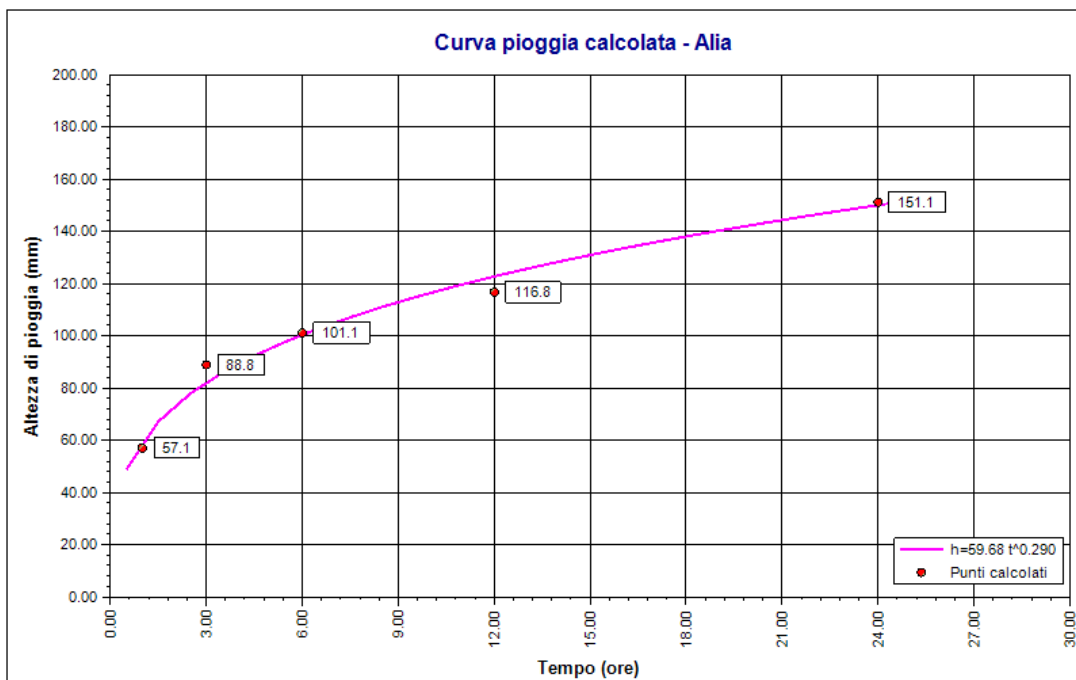
Tutti i sottobacini estratti cadono nel poligono di Thiessen che si riferisce alla stazione di Alia a parte i sottobacini 5s (in parte), 4s, 3s, 2s e 1s , per i quali si deve fare riferimento alla stazione di Lercara Friddi.

Si riportano di seguito sotto forma tabellare i parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni di riferimento Alia e Lercara Friddi per diversi tempi di ritorno. Il bacino del Fiume Torto ricade in misura variabile all'interno dei poligoni di Thiessen relativi a tutte le stazioni considerate.

In particolare si riporta la rappresentazione grafica delle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni utilizzate nel presente studio per un tempo di ritorno  $T_R = 200$  anni.

#### ALIA

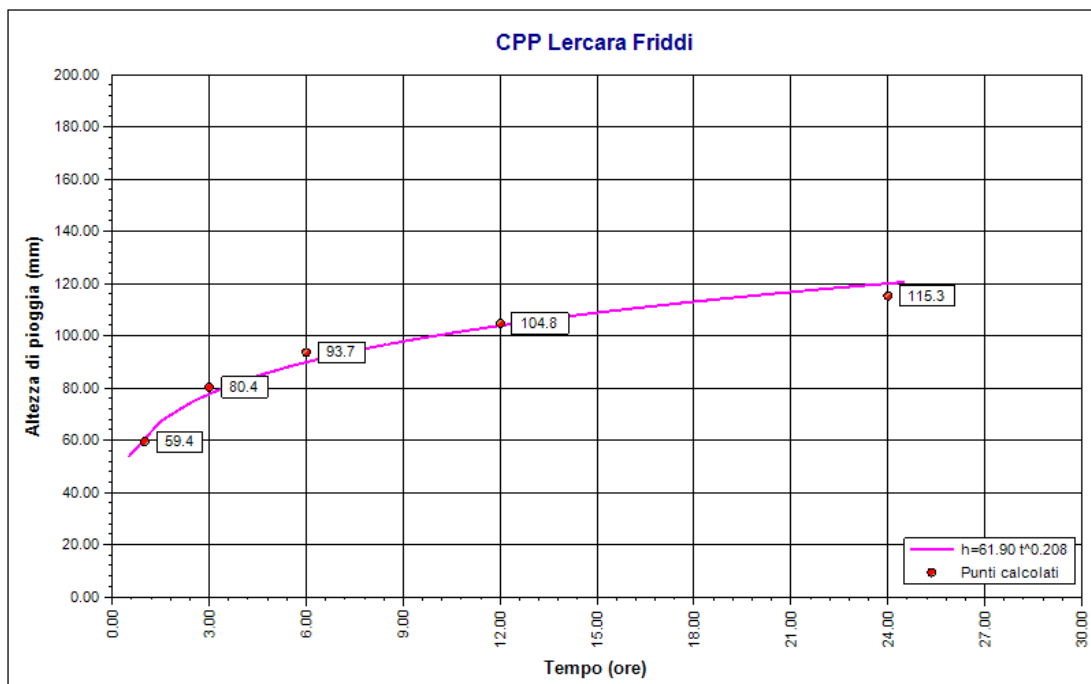
Tr (anni)	25	50	100	200
<b>a</b>	43.27	48.78	54.24	<b>59.70</b>
<b>n</b>	0.291	0.290	0.290	<b>0.290</b>



*Curva di possibilità pluviometrica  $T_R$  200 anni \_ALIA*

**LERCARA FRIDDI**

Tr (anni)	25	50	100	200
<b>a</b>	44.18	50.12	56.02	<b>61.9</b>
<b>n</b>	0.228	0.220	0.214	<b>0.208</b>

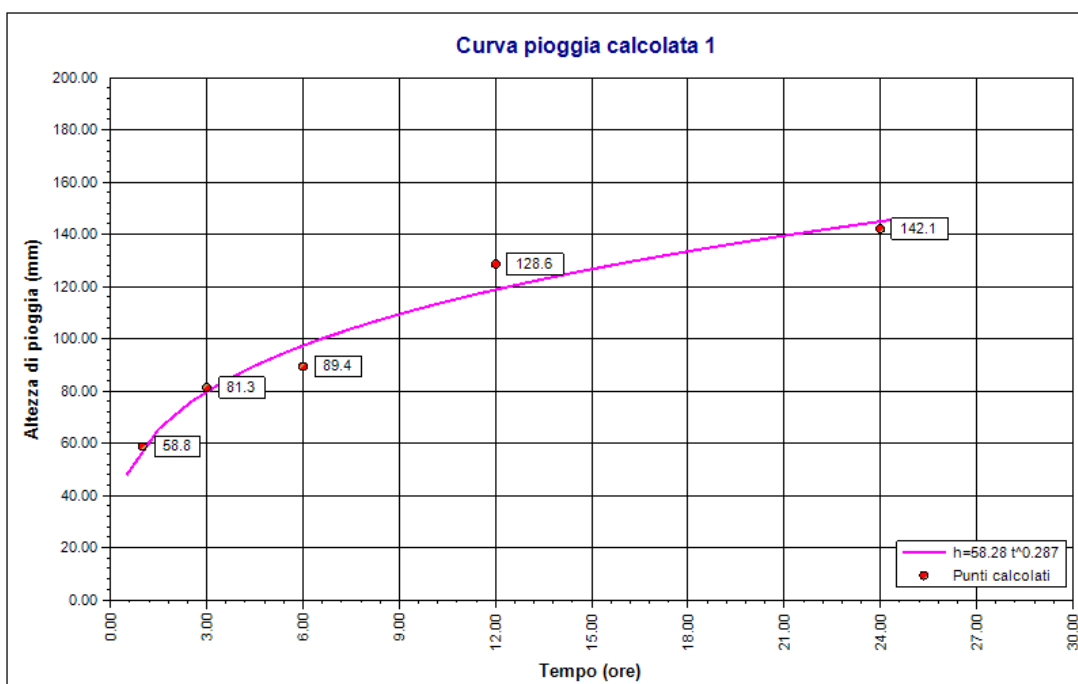


*Curva di possibilità pluviometrica  $T_R$  200 anni \_ LERCARA FRIDDI*



**VALLEDOLMO**

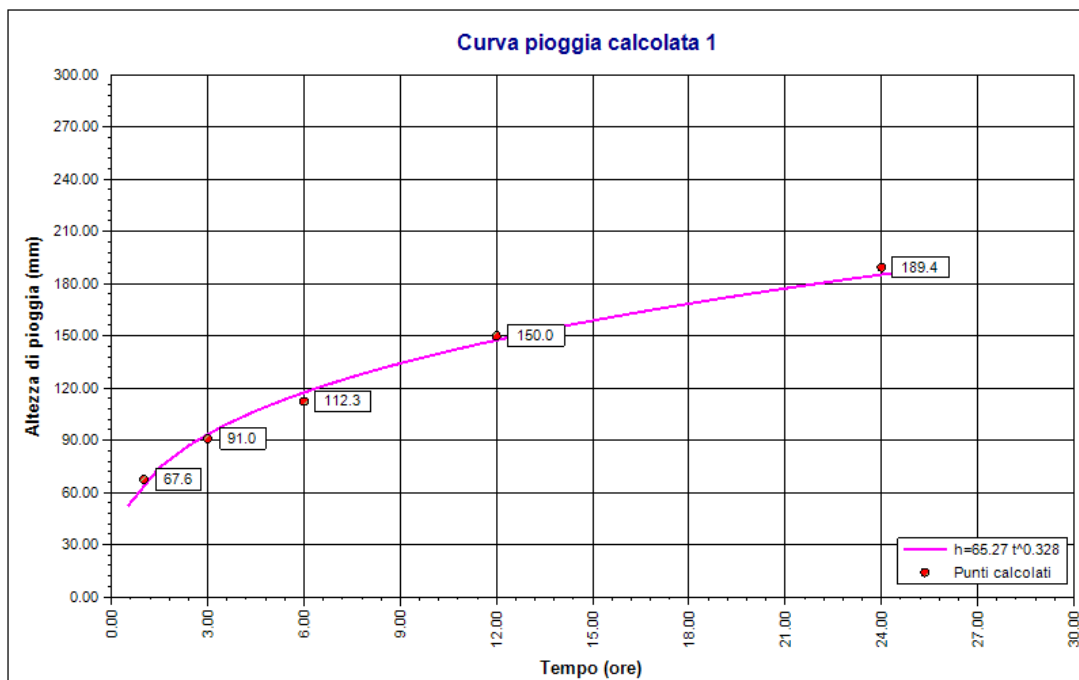
Tr (anni)	25	50	100	200
<b>a</b>	42.54	47.82	53.06	<b>58.28</b>
<b>n</b>	0.284	0.285	0.286	<b>0.287</b>



*Curva di possibilità pluviometrica  $T_R$  200 anni \_ VALLEDOLMO*

**CASTRONOVO**

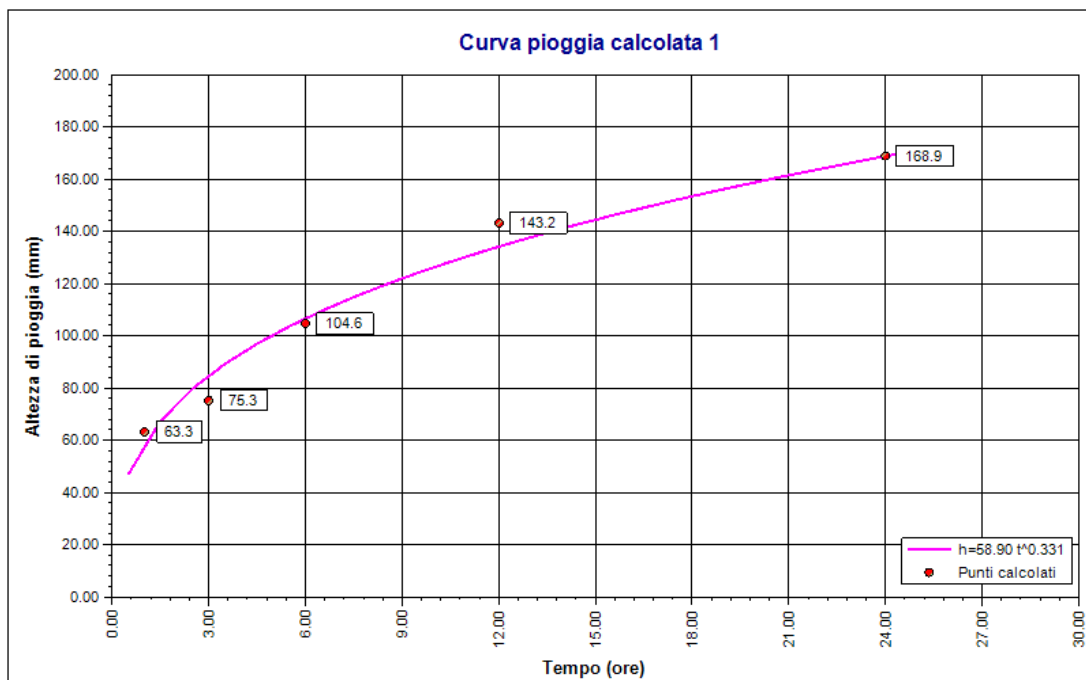
Tr (anni)	25	50	100	200
<b>a</b>	47.29	53.32	59.30	<b>65.27</b>
<b>n</b>	0.33	0.329	0.329	<b>0.328</b>



*Curva di possibilità pluviometrica  $T_R$  200 anni \_ CASTRONOVO*

**GIOIA**

Tr (anni)	25	50	100	200
<b>a</b>	42.90	48.27	53.59	<b>58.90</b>
<b>n</b>	0.323	0.326	0.329	<b>0.331</b>



*Curva di possibilità pluviometrica  $T_R$  200 anni \_ GIOIA*

## 5. CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA - ELABORAZIONI DRPC - SERVIZIO RIA

Il Dipartimento Regionale della Protezione Civile - DRPC ha stimato, utilizzando l'informazione rappresentata dagli annali idrologici della regione Sicilia sezione B Pluviometria dal 1924 al 2002, i parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni pluviometriche territorio regionale.

Si riportano di seguito in forma tabellare per il caso di studio i valori di a e n ottenuti per le stazioni pluviometriche di Alia, Lercara Friddi, Gioia, Valledolmo e Castronovo:

### ALIA

Tr (anni)	50	100	200
a	38.7	42.4	46
n	0.32	0.32	0.32

### LERCARA FRIDDI

Tr (anni)	50	100	200
a	47.2	52.8	58.4
n	0.22	0.22	0.21

### GIOIA

Tr (anni)	50	100	200
a	38.30	42	45.80
n	0.42	0.42	0.43

### VALLEDOLMO

Tr (anni)	50	100	200
a	49.90	55.50	61.20
n	0.29	0.29	0.29

### CASTRONOVO

Tr (anni)	50	100	200
a	54.52	60.30	66.40
n	0.32	0.32	0.32

## 6. SCELTA DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

A conclusione delle analisi precedentemente descritte, sono stati messi a confronto i risultati delle elaborazioni delle diverse metodologie di calcolo, quindi sono stati considerati quelli ottenuti dalle seguenti fonti:

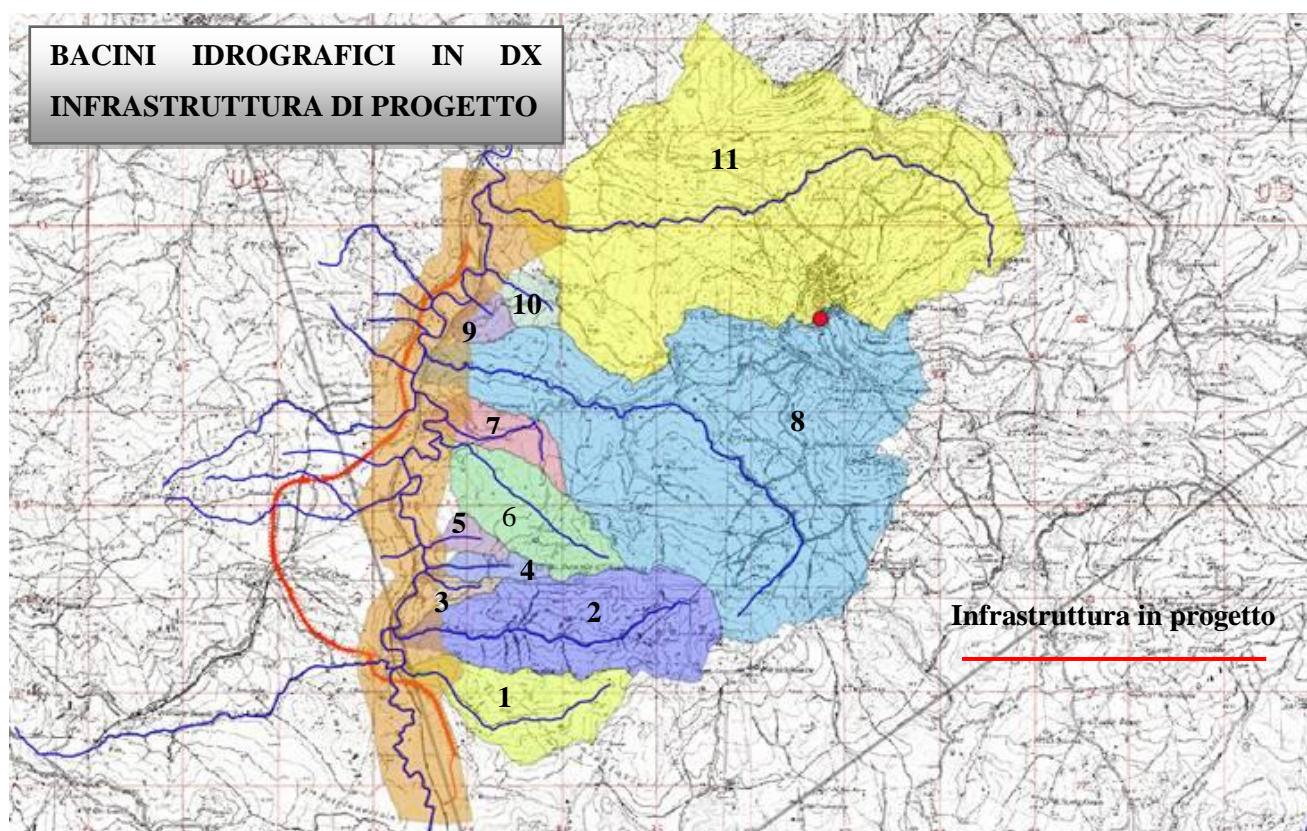
1. Metodo VAPI
2. Applicazione del metodo di Gumbel ai dati ricavati dagli Annali Idrologici della Regione Sicilia;
3. Dipartimento Regionale della Protezione Civile

A favore di sicurezza vengono adottate nel prosieguo del presente studio i valori delle CPP ricavati attraverso l'applicazione del metodo di Gumbel.

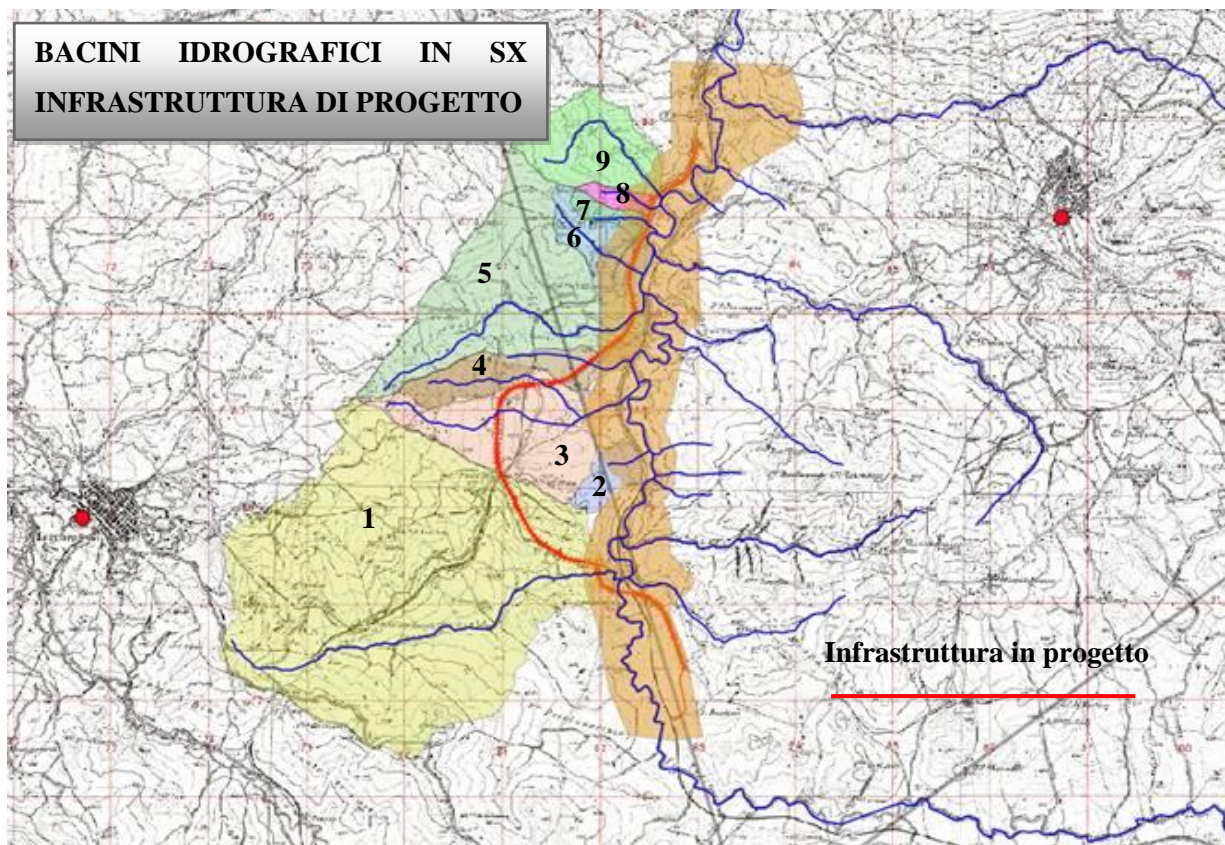
La scelta è dipesa dal fatto che utilizzano le altre metodologie si basano su campioni di dati registrati sino al 1981 per il metodo VAPI e fino al 2002 per il DPRG. Gli annali idrologici a disposizione arrivano a dati misurati nel 2019 per cui data la maggior qualità e numerosità delle misurazioni si è optato per l'utilizzo delle CPP ricavate tramite la regolarizzazione statistica degli eventi tramite Gumbel.

## 7. INDIVIDUAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI

L'infrastruttura in progetto ricade interamente nel bacino idrografico del fiume Torto. Per la determinazione e la caratterizzazione dei bacini afferenti alla nuova infrastruttura di progetto in corrispondenza dei punti di intersezione tra quest'ultima ed i corsi d'acqua ad essa interferenti (in destra e sinistra infrastruttura) , rappresentati nelle figure seguenti e



*Bacini idrografici in destra infrastruttura di progetto*



*Bacini idrografici in sinistra infrastruttura di progetto*

sono stati utilizzati i seguenti dati:

- Modello digitale del terreno con risoluzione 2m x 2m disponibile nel SITR Sistema Informativo Territoriale Regionale della Regione Sicilia;
- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000;
- Carta dell'uso del Suolo (Corinne Land Cover) in formato vettoriale (shapefile).

Per tutti i bacini oggetto del presente studio sono state determinati, attraverso l'uso di un software Gis Open Source (QGIS), in grado di processare dati territoriali ed eseguirne analisi di tipo spaziale, sono stati estratti in maniera automatica i limiti dei sottobacini e le distribuzioni le principali caratteristiche morfologiche, fisiche ed idrologiche utili o necessarie allo studio idrologico oggetto del presente studio. In particolare sono state determinate:

- L'Area del bacino idrografico;
- La Lunghezza dell'asta idrografica principale;
- La Quota della sezione di chiusura e la quota massima del bacino;
- La pendenza dell'asta idrografica principale;
- La pendenza media del bacino idrografico

riportate in forma tabellare:

Bacino	Area (Km <sup>2</sup> )	L (Km)	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>min</sub> (mm)	H <sub>med</sub> (mm)	P%
Fiume Torto	93.29	23630	998	394	574	2.6%

Bacino DX	Area (Km <sup>2</sup> )	L (Km)	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>min</sub> (mm)	H <sub>med</sub> (mm)	P%
1	1.53	1950	616	398	502	11.2%
2	2.99	3550	738	394	561	9.7%
3	0.15	450	545	387	456	35.1%
4	0.28	885	631	387	502	27.5%
5	0.22	645	543	384	468	24.5%
6	1.46	2414	695	374	514	13.3%
7	0.63	1510	544	367	436	11.7%
8	10.85	6649	929	364	565	8.5%
9	0.29	550	460	352	400	19.7%
10	0.33	650	497	352	436	22.3%
11	11.89	7233	963	348	618	8.5%



Bacino SX	Area (Km <sup>2</sup> )	L (Km)	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>min</sub> (mm)	H <sub>med</sub> (mm)	P%
1	9.06	4792	777	398	556	7.9%
2	0.30	650	517	386	429	20.1%
3	2.13	3015	750	377	479	12.4%
4	0.82	1310	557	373	421	14.0%
5	2.95	3620	744	367	499	10.4%
6	0.56	1195	577	363	446	17.9%
7	0.17	610	577	372	459	33.6%
8	0.15	600	572	368	452	33.9%
9	1.08	1905	639	365	480	14.4%

## 7.1 TEMPO DI CORRIVAZIONE

La determinazione del valore del tempo di corrivazione, in funzione delle caratteristiche fisiografiche dei bacini, è eseguita:

- per bacini con estensione areale superiore ai 75 km<sup>2</sup> – ricorrendo all'uso della formula di Giandotti

$$t_{cG} = (4\sqrt{A} + 1,5L)/(0,8\sqrt{(\Delta H)})$$

dove:

A = superficie del bacino sotteso dall'attraversamento [km<sup>2</sup>];

L = lunghezza dell'asta principale [km];

$\Delta H$  = dislivello medio del bacino imbrifero [m].

- per bacini con estensione areale A tra 1 < A < 75 km<sup>2</sup> – calcolo dei tempi di corrivazione mediante la seguente formula

$$t_c = t_{cG} \frac{(A - 1)}{74} + t_{cK} \frac{(75 - A)}{74}$$

dove:

$A$  = superficie del bacino sotteso dall'attraversamento [ $\text{km}^2$ ];

$t_{cG}$  = tempo di corrivazione stimato con la formula di Giandotti [ore];

$t_{cK}$  = tempo di corrivazione stimato con la formula di Kirpich [ore].

- per bacini con estensione areale  $A$  minore ad  $1 \text{ km}^2$  – calcolo dei tempi di corrivazione mediante la formule di Kirpich

$$t_{cK} = 0.95 \cdot (L)^{1.155} \cdot S^{-0.385}$$

dove:

$L$  = lunghezza dell'asta principale [m];

$S$  = pendenza media del bacino .

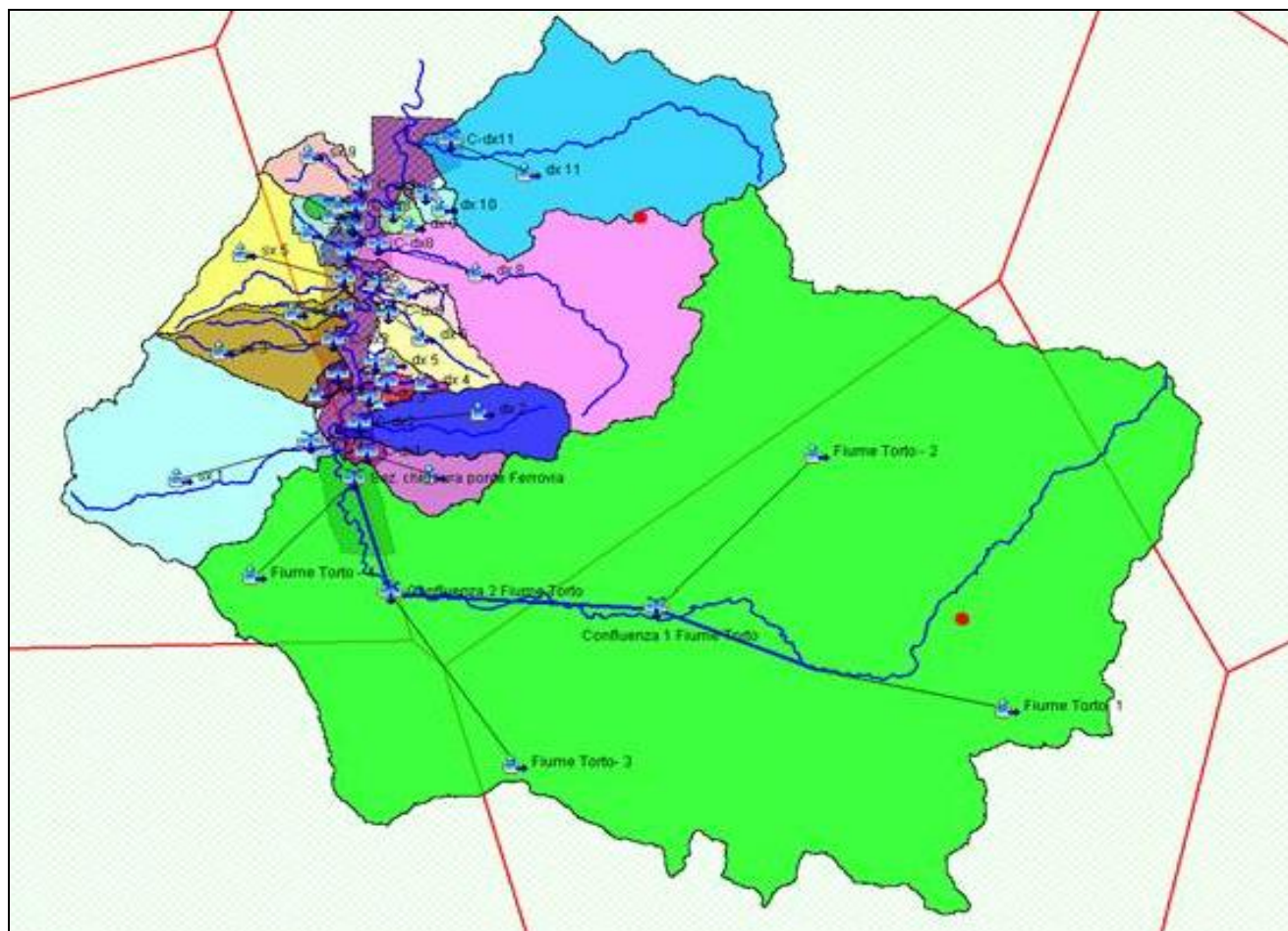
Nel caso particolare in cui il tempo di corrivazione del bacino idrografico in studio risulti inferiore ai 15 minuti si è assunto un  $T_c$  di progetto pari a 15 min ovvero 0.25 ore.

## 8. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO

La determinazione delle portate si basa sulla costruzione di un modello matematico di trasformazione afflussi - deflussi capace di correlare l'intensità dell'evento meteorico con l'idrogramma di piena generato. L'utilizzo di un modello matematico possiede anche il vantaggio di restituire non solo la massima portata al colmo, ma anche il completo andamento temporale del fenomeno, la forma dell'idrogramma e il volume complessivo.

Il problema della trasformazione afflussi - deflussi viene generalmente scomposto in due fasi successive. La prima si propone di determinare la precipitazione efficace ovvero la frazione di pioggia totale che defluisce effettivamente attraverso la rete idrografica mentre la seconda simula la propagazione dei deflussi così ottenuti lungo la rete idrografica fino alla determinazione dell'andamento temporale delle portate transitate attraverso la sezione di chiusura del bacino.

Nel presente studio ai fini dell'analisi del comportamento idrologico dei bacini in esame e della determinazione degli idrogrammi di piena in corrispondenza delle sezioni di interesse, è stato implementato il modello matematico HEC-HMS nella versione 4.3.



*Modello Idrologico Hec Hms per il caso di studio*

Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) è un modello idrologico, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center della U.S. Army Corps of Engineers, che permette di simulare i processi idrologici che influiscono sulla formazione e sulla propagazione dei deflussi di piena a partire dalla combinazione di differenti algoritmi di calcolo e sulla base della schematizzazione del bacino di indagine in diversi elementi variamente connessi tra loro dal punto di vista idrologico (HEC, 2018).

Nell'ambito del presente studio, HEC-HMS è stato utilizzato con l'obiettivo di ricavare gli idrogrammi di progetto e le portate al colmo per un tempo di ritorno  $T_R$  pari a 200 anni.

## 8.1 Determinazione della pioggia efficace

La determinazione della pioggia efficace, ovvero della frazione di pioggia che defluisce direttamente alla rete idrografica, viene condotta con il metodo del Curve Number (CN) proposto dal Soil Conservation Service (1972), che determina tale volume di deflusso tenendo conto della variazione del grado di saturazione del terreno durante l'evento meteorico. Questo metodo è stato scelto tra quelli disponibili, per la maggiore consistenza fisica dei suoi parametri che lo rende applicabile anche nel caso di assenza di osservazioni di fenomeni reali.

IL metodo si basa sull'assunzione che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace)  $P_{net}$  risulta legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda  $P$  (pioggia effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale dalla relazione:

$$P_{net} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \text{ [mm]}$$

nella quale  $S$  è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizione di saturazione ed  $I_a$  è la cosiddetta perdita iniziale, vale a dire quel valore limite di altezza di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale del fenomeno senza che si abbia creazione di deflusso; il parametro  $S$  corrisponde al volume idrico trattenuto dal terreno e dalla vegetazione, e quindi sottratto al deflusso superficiale dopo l'istante in cui si ha  $P > I_a$ ; fino all'istante in cui non si ha  $P < I_a$  il deflusso superficiale è da ritenersi praticamente assente.

In realtà con l'introduzione della perdita iniziale  $I_a$  si vuole tenere conto anche di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale. In mancanza di adeguate osservazioni utili, per la stima di  $I_a$  si può fare ricorso alla seguente relazione:

$$I_a = 0.2 \cdot S \text{ [mm]}$$

che risulta verificata in buona approssimazione.

La valutazione del valore di  $S$  può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), cui esso risulta legato dalla relazione:

$$S = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) \text{ [mm]}$$

L'indice CN è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e del grado di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico. Il Soil Conservation Service (SCS) sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento, ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi (A, B, C, D):

- Gruppo A - Scarsa potenzialità di deflusso: comprende forti spessori di sabbia con scarsissimo limo e argilla; anche forti spessori di ghiaie profonde, molto permeabili.
- Gruppo B – Potenzialità di deflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte degli strati sabbiosi meno spessi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
- Gruppo C – Potenzialità di deflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
- Gruppo D - Potenzialità di deflusso molto elevata: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

Tipologia di Uso del Territorio	Tipo idrologico Suolo			
	A	B	C	D
<b>Terreno coltivato</b>				
in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
<b>Terreno a pascolo</b>				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
<b>Terreni boscosi o forestati</b>				
in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
<b>Spazi aperti, prati rasati, parchi</b>				
con copertura erbosa superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
con copertura erbosa compresa tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
con copertura erbosa inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
<b>Aree commerciali (area impermeabile 85%)</b>	89	92	94	95
<b>Distretti industriali (area impermeabile 72%)</b>	81	88	91	93
<b>Aree residenziali</b>				
impermeabilità media 65%	77	85	90	92
impermeabilità media 38%	61	75	83	87
impermeabilità media 30%	57	72	81	86
impermeabilità media 25%	54	70	80	85
impermeabilità media 20%	51	68	79	84
impermeabilità media 12%	46	65	77	82
<b>Parcheggi, tetti, autostrade</b>	98	98	98	98
<b>Strade</b>				
pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
con letto in ghiaia	76	85	89	91
battute in terra	72	82	87	89

Tabella 11: metodo SCS-CN; valori del "Curve Number" CN per i diversi tipi di suolo in funzione dell'uso del suolo per condizioni di umidità iniziale (antecedent moisture conditions – AMC) medie (classe II)

I valori del CN riportati nella Tabella 11 si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, precisamente quella intermedia indicata come AMC II (Antecedent Moisture Condition II).

Poiché il rifiuto del terreno è un fenomeno dinamico, che dipende dallo stato del sistema, ovvero dallo stato di imbibimento del bacino, si assume che il valore di CN possa variare in relazione alle condizioni iniziali di imbibimento all'atto della piena. Lo stato di imbibimento viene espresso, in modo quali-quantitativo, in base ad un indice di pioggia, dato dall'altezza totale di pioggia caduta nei cinque giorni che precedono l'evento di piena,  $API_5$ . a seconda del valore di  $API_5$ , vengono identificate le tre classi AMC I, II e III, che rappresentano rispettivamente terreno inizialmente asciutto, mediamente imbibito e fortemente imbibito.

CLASSE AMC	Altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I - asciutta	< 12.7	< 35.5
II - media	12.7 - 28.0	35.5 - 53.3
III - umida	> 28.0	> 53.3

Tabella 12: definizione della classe di umidità in base al parametro  $API_5$

Noto il valore di CN per le condizioni medie di imbibimento, per passare a condizioni di umidità iniziale asciutte (classe AMC I) o umide (classe AMC III), si utilizzano le curve riportate di seguito.

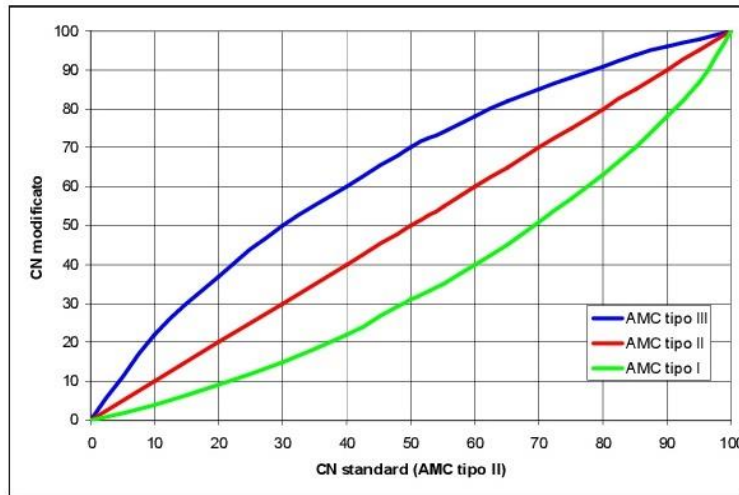


Figura 12: curve di conversione dei valori di CN per le diverse condizioni di umidità del suolo antecedenti l'evento

Tali curve possono essere interpolate mediante le seguenti relazioni:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

Nel caso di terreni variegati possono essere identificate alcune categorie fondamentali per definire un valore globale del CN, pesato in ragione dell'estensione delle sottozone con le quali si è suddiviso il bacino.

Una volta calcolata la pioggia netta (efficace)  $P_{net}$ , il coefficiente di deflusso è pari a:

$$c = \frac{P_{net}}{P}$$

Nel caso in esame, al fine di definire il CN per le varie porzioni dei bacini in studio, sono stati analizzati i seguenti documenti:

- “Corinne Land Cover” anno 2008 shapefile fornito dal S.I.T.R. della Regione Sicilia – Assessorato Territorio ed Ambiente;
- Foto satellitari, al fine di valutare eventuali variazioni significative rispetto a quanto riportato nelle suddette carte;
- Pubblicazione Scientifica : Runoff Curve Number method in Sicily: CN Determination and Analysis of the initial abstraction ratio-F.D’asaro-G. Grillone\_Università di Palermo 2010;
- Pubblicazione Scientifica : Curve Number: Empirical evaluation and Comparison with Curve Number Handbook Tables in Sicily -F.D’asaro-G. Grillone-R.H.Hawkins\_ASCE 2014.

Per tutti i bacini si è supposta, in sicurezza, una condizione iniziale “media” corrispondente a valori di CN (II) e sulla base di quanto affermato dalla studio di D’Asaro-Grillone-Hawkins circa la determinazione e l’analisi delle perdite iniziali  $I_a$  nel territorio Siciliano, citato in precedenza, si è ritenuto opportuno assumere per  $I_a$  un valore pari a 0.05 S ad eccezione del bacino del Fiume Torto per il quale è stato utilizzato il valore  $I_a= 0.2$  S tenendo conto della maggior estensione del bacino e dunque della maggior permanenza sul suolo del volume d’acqua precipitato.

Si riportano nelle tabelle seguenti i risultati delle elaborazioni

### Fiume Torto

Bacino SX	CNII	P (t) (mm)	S (mm)	I (mm)	h (mm)	$\phi$
1	81.1	69.21	59.23	11.85	28.23	0.41
2	81.0	46.42	59.70	2.98	18.30	0.39
3	81.0	54.16	59.70	5.97	21.52	0.40
5	80.9	46.87	59.93	3.00	18.55	0.40
6	81.0	58.79	59.66	5.97	24.80	0.42
7	81.0	45.66	59.62	2.98	17.81	0.39
8	81.1	45.66	59.35	2.97	17.86	0.39
9	81.6	45.66	57.16	2.86	18.33	0.40



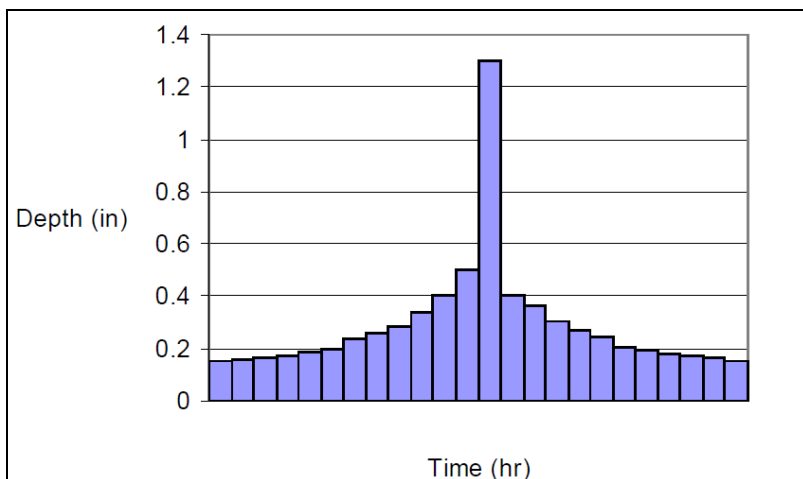
Bacino DX	CNII	P (t) (mm)	S (mm)	I (mm)	h (mm)	$\varphi$
1	81.0	46.60	59.58	2.98	18.44	0.40
2	79.0	57.44	67.68	6.77	21.70	0.38
3	82.1	45.66	55.23	2.76	18.75	0.41
5	82.1	45.66	55.23	2.76	18.75	0.41
6	82.1	45.66	55.45	2.77	18.70	0.41
7	80.5	48.27	61.37	3.07	19.17	0.40
8	81.0	45.66	59.70	2.98	17.79	0.39
9	80.8	75.26	60.51	12.10	32.25	0.43
10	80.8	45.66	60.24	3.01	17.68	0.39
11	80.7	45.66	60.75	3.04	17.58	0.38

## 8.2 Ietogrammi di progetto

La determinazione dello ietogramma di progetto per un prefissato tempo di ritorno richiede l'individuazione della durata dello ietogramma nonché della distribuzione temporale delle altezze di pioggia stimati dalla corrispondente linea segnalatrice di possibilità pluviometrica.

La precipitazione in ingresso al modello di trasformazione afflussi-deflussi considerata nella presente applicazione è una pioggia di durata  $d$  maggiore o uguale tempo di corrivazione,  $t_c$ , del sottobacino in esame e di assegnato tempo di ritorno, pari al tempo di ritorno dell'idrogramma di piena che si vuole determinare.

Per ciascun sottobacino in studio viene adottato uno ietogramma di progetto del tipo blocchi alternati (pluviogramma Chicago discretizzato) con picco centrale riportato nella figura seguente.



*Ietogramma Chicago a blocchi alternati*

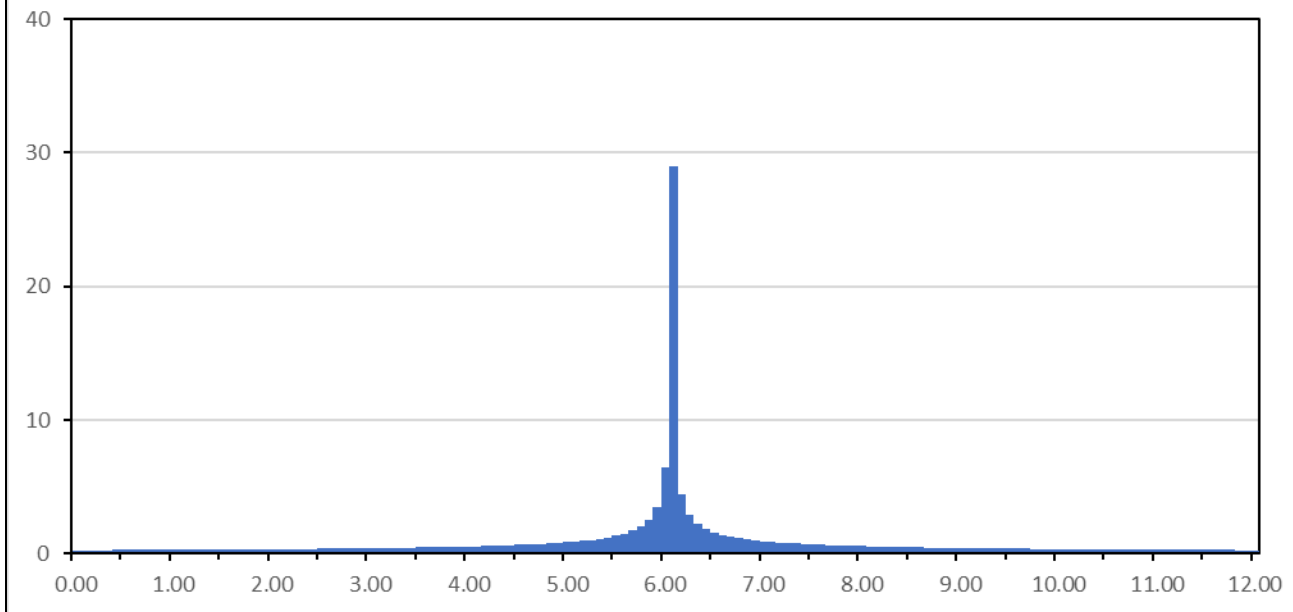
Con questo metodo si calcolano direttamente le altezze di pioggia incrementali corrispondenti ad  $n$  intervalli di tempo  $\Delta t$  successivi in cui è stata suddivisa la durata totale della pioggia,, nel caso in esame si assume un  $T_{\text{Pioggia}}$  pari a 12 ore ( scelta a favore di sicurezza molto maggiore dei tempi di risposta dei bacini idrografici in esame) ed un  $\Delta t = 5$  minuti.

Dalla curva di possibilità pluviometrica si ricavano le altezze di pioggia  $h_{i,T_r}$  per ciascuna durata  $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t \dots n\Delta t$  (altezze cumulate) ottenute utilizzando i parametri  $a$  e  $n$  determinati nel Capitolo 4.

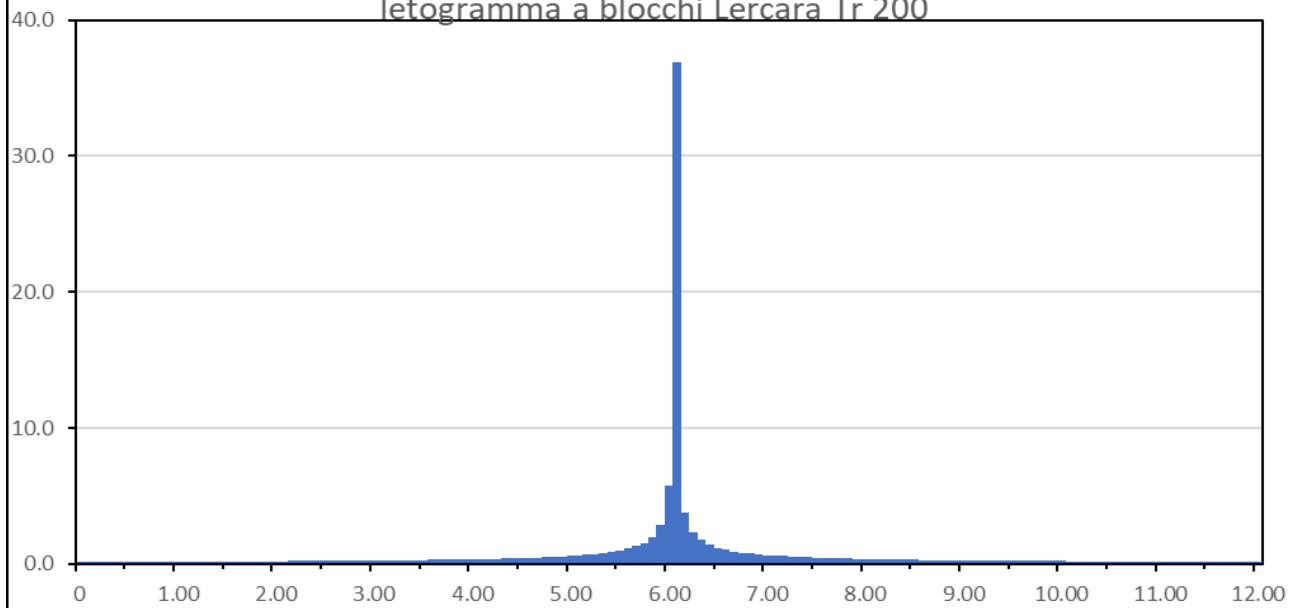
Facendo la differenza tra le altezze di pioggia corrispondenti a due durate successive si ottiene la pioggia incrementale relativa a ciascun intervallo considerato (blocchi). I blocchi così ottenuti vengono poi riordinati in una sequenza temporale con la massima intensità in corrispondenza dell'intervallo di picco. I blocchi rimanenti vengono disposti alternativamente a cavallo dell'intervallo di picco.

Si riportano di seguito gli ietogrammi di progetto utilizzati nella modellazione idrologica del presente studio:

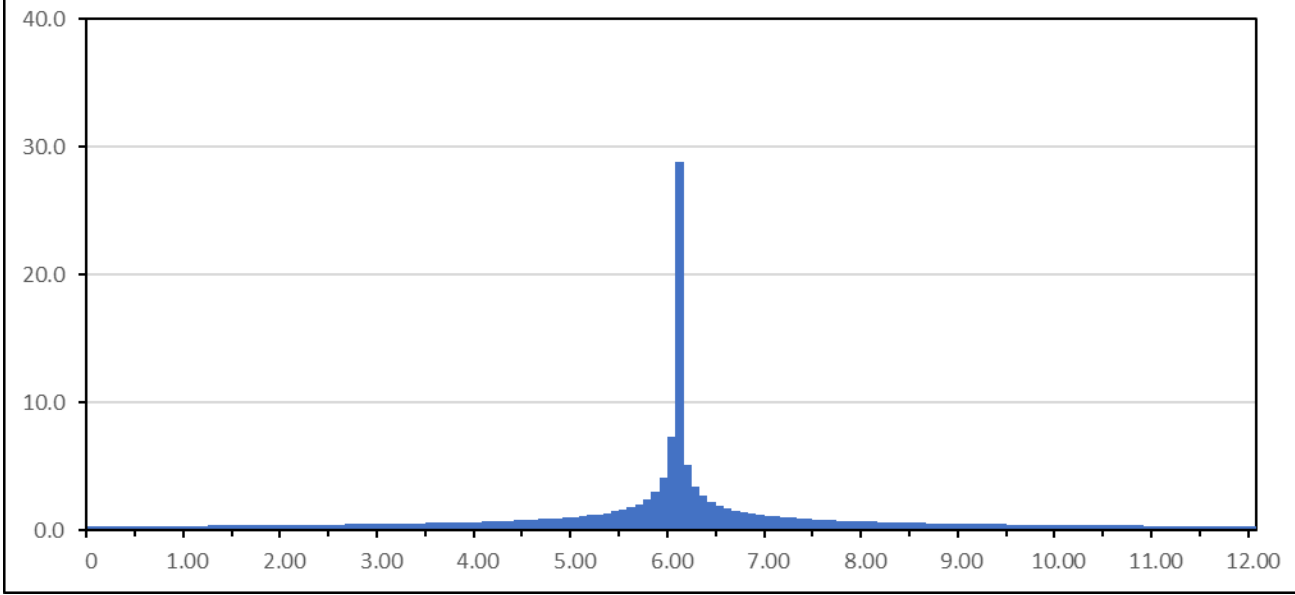
letogramma a blocchi Alia Tr 200



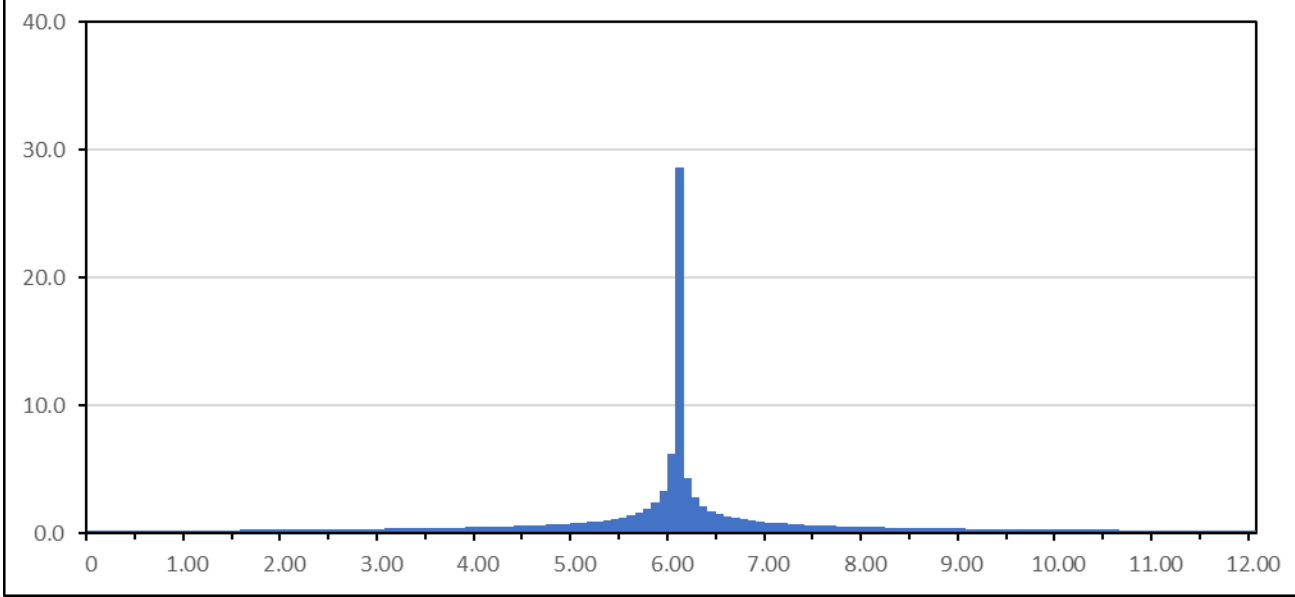
letogramma a blocchi Lercara Tr 200

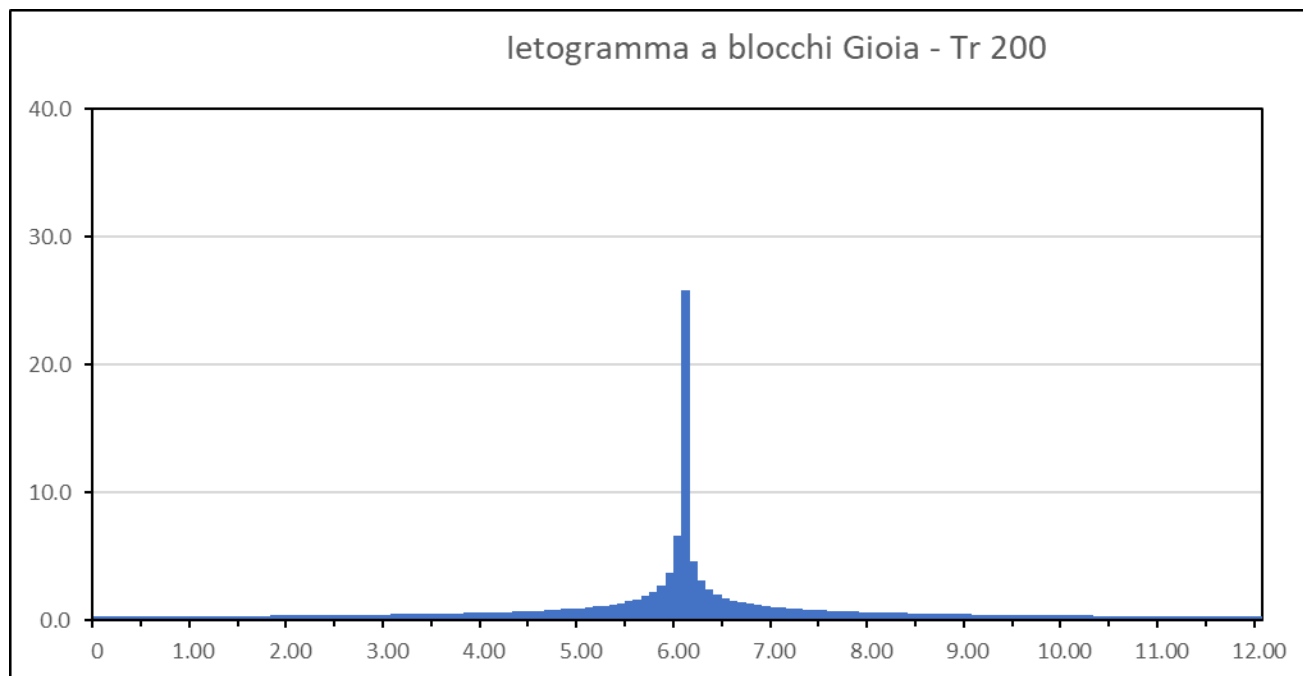


letogramma a blocchi Castronovo - Tr 200



letogramma a blocchi Valledolmo - Tr 200





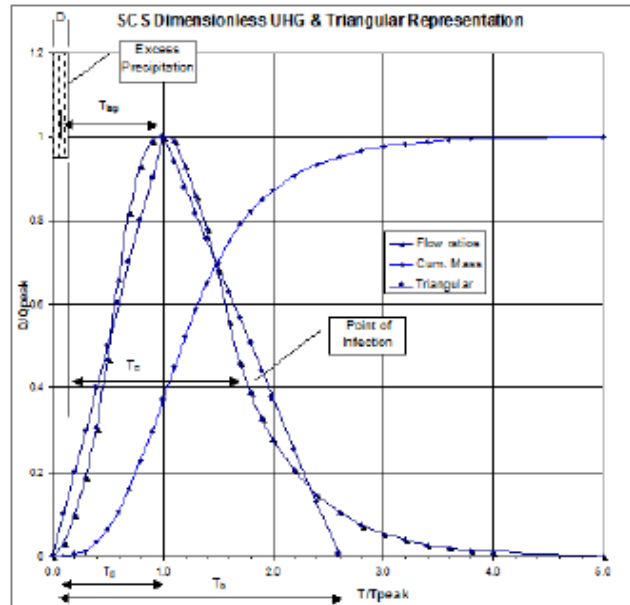
### 8.3 Trasformazione della pioggia efficace in deflusso

La pioggia efficace, determinata attraverso il metodo descritto, viene trasformata in deflusso lungo la rete idrografica utilizzando la metodologia dell'idrogramma unitario, che descrive matematicamente la risposta idrologica di un bacino idrografico ad un impulso di pioggia efficace unitario. Assumendo che l'idrogramma unitario sia invariante con il progredire della precipitazione (condizione di idrogramma stazionario) e indipendente dalla sua intensità (condizione di idrogramma lineare) la risposta del bacino ad uno ietogramma qualsiasi può essere determinata come semplice combinazione lineare di tutti gli impulsi unitari.

Un idrogramma che rispetta queste ipotesi viene descritto da una funzione,  $U(t)$ , per la quale si possono introdurre e descrivere alcune definizioni. L'idrogramma presenta una fase di risalita di durata ( $t_p$ , tempo di picco) al termine della quale raggiunge la massima intensità di picco ( $h_p$ ). La durata dell'idrogramma unitario ( $t_B$ , tempo di base) coincide con il tempo necessario affinché la precipitazione caduta nel punto più lontano del bacino faccia sentire i suoi effetti alla sezione di chiusura (tempo di corrivazione) e rappresenta la memoria del sistema. Il momento del primo ordine (baricentro) dell'idrogramma viene detto tempo di ritardo  $t_L$  (time lag).

Nel caso in esame la risposta idrologica dei sottobacini individuati è stata calcolata utilizzando l'idrogramma unitario del Soil Conservation Service (SCS). Si tratta di un modello parametrico basato su di un idrogramma

unitario adimensionale, che dipende dalla portata al colmo dell'idrogramma unitario,  $U_p$ , e dal tempo di picco,  $t_p$ .



*Idrogramma IUH SCS*

Dalle ricerche del SCS risulta che la portata al colmo dell'idrogramma unitario,  $U_p$ , e il tempo di picco,  $t_p$ , sono legati dalla seguente relazione:

$$U_p = C \frac{A}{t_p}$$

Eq. 8.1

nella quale

A= area del sottobacino in esame

C= costante che dipende dalle unità di misura utilizzate (2.08 nel SI)

Il tempo di picco,  $t_p$ , è dato dalla seguente espressione:

$$t_p = \frac{\Delta t}{2} + t_L$$

Eq. 8.2

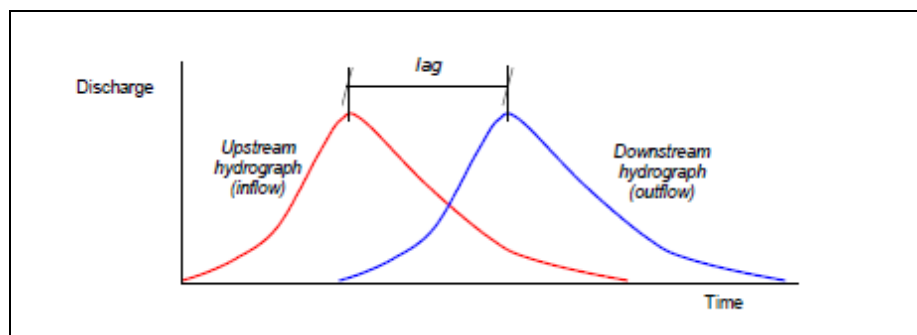
In cui

$\Delta t$  = durata delle precipitazioni efficaci

$t_L$  = time lag

Una volta stabilito  $t_L$ , il programma HEC-HMS risolve l'equazione 8.2 e, quindi, la 8.1. Calcolati  $t_P$  e  $U_P$ , l'idrogramma unitario si ottiene a partire dalla forma adimensionale, insita nel programma di calcolo, per moltiplicazione.

Per la modellazione dei deflussi viene utilizzata la simulazione del trasferimento (routing model) di una onda di piena del Lag Model in cui l'idrogramma di piena in uscita non è altro che l'idrogramma di piena in entrata



ma traslato (lagged in time) nel tempo per una durata specifica. La portata non viene quindi attenuata, e la forma resta sempre la stessa.

Si riportano in allegato per ciascun bacino in studio gli idrogrammi di progetto calcolati con la metodologia sopra descritta.

#### 8.4 Risultati del modello idrologico

Mediante il modello idrologico adottato (per la descrizione si rimanda all'allegato corrispondente) sono stati determinati gli idrogrammi di piena di progetto per ciascun bacino in studio.

I risultati ottenuti rappresentati in forma grafico, sono riportati in allegato mentre i valori delle portate colmo sono riportati di seguito in forma tabellare:

Bacino	Q <sub>200</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Fiume Torto	411.4

Bacino DX	Q <sub>200</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1	21.6
2	35.4
3	2.9
4	5.4
5	4.2
6	25
7	11.8
8	81.6
9	5.4
10	6.1
11	87.4

Bacino SX	Q <sub>200</sub> (m <sup>3</sup> /s)
1	73.6
2	5.8
3	29.4
4	16.3
5	36.2
6	10.5
7	3.2
8	2.8
9	20.2



## 9. MODELLAZIONE IDRAULICA

Il presente studio idraulico intende descrivere l'interazione del Fiume Torto e dei corpi idrici minori con l'infrastruttura viaria in progetto in termini di:

- modifica dell'estensione delle aree di esondazione, di variazione dei tiranti idrici e di velocità di deflusso,
- valutazione dell'adeguatezza dei manufatti di attraversamento in progetto, sia in termini di sezione idraulica sia di franco di sicurezza rispetto all'intradosso del manufatto.

in relazione a due differenti scenari Ante Operam (assenza dell'infrastruttura in studio) e Post Operam (inserimento dell'infrastruttura in progetto), attraverso una modellazione idraulica a moto vario di tipo bidimensionale del corso d'acqua principale e dei vari affluenti, grazie all'ausilio del codice di calcolo HEC-RAS (River Analysis System) versione 5.06 del 2018, sviluppato presso l'Hydrologic Engineering Center, dall'United States Army Corps of Engineers.

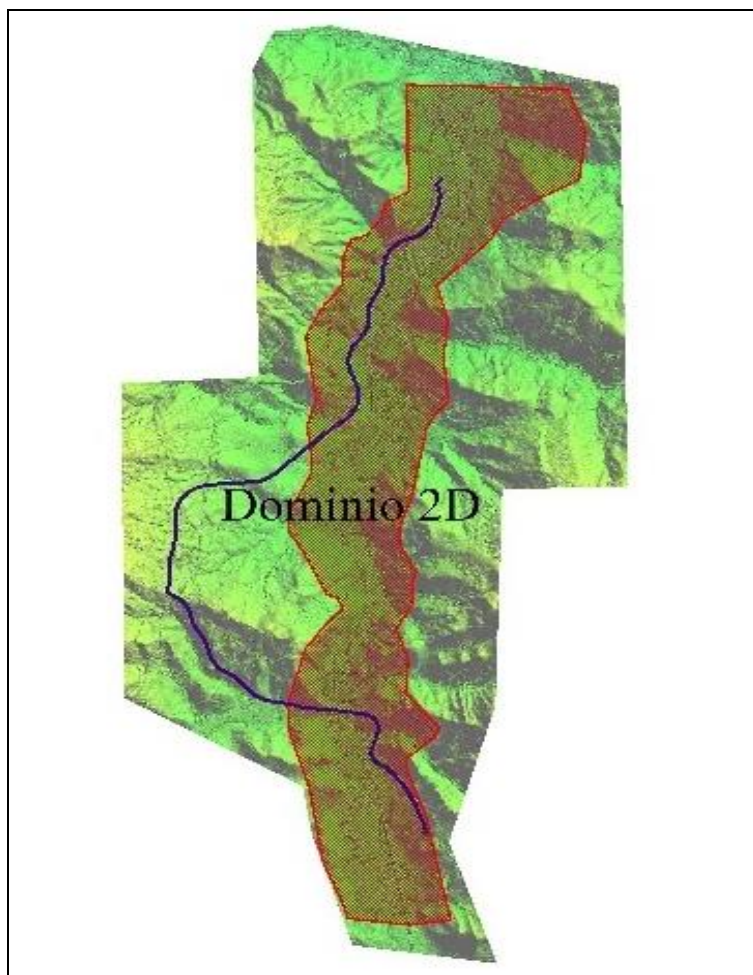
Per una descrizione di tale modello si rimanda all'Allegato 10 alla presente relazione.

### 9.1 Geometria ed dati di input del modello idraulico

Il dominio di modellazione idraulica bidimensionale è stato implementato sulla base del DTM ricavato dal volo LIDAR eseguito nel 2019 con definizione 0.10m x 0.10m.

Il tratto oggetto di analisi si sviluppa su circa 10km di alveo del Fiume torto e il dominio di calcolo 2D ha dimensione totale pari a 3.3 ha; esso è rappresentato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Nella figura seguente si riporta il dominio di calcolo:



*Dominio di Calcolo modellazione bidimensionale*

La modellazione è stata eseguita in moto vario, utilizzando come condizioni al contorno:

- in entrata gli idrogrammi di progetto con tempo di ritorno di 200 anni determinati mediante il modello afflussi-deflussi, la cui metodologia è stata ampiamente descritta nei paragrafi precedenti della presente Relazione, secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche Costruttive 2018 (NTC18) e s.m.i..
- in uscita l'altezza di moto uniforme (normal depth) definita per mezzo della pendenza media del fondo  $i = 0.004$  m/m.

Per quello che concerne i valori di scabrezza, coerentemente ai valori normali proposti in letteratura, si è assunto un valore di scabrezza di Manning pari a  $n = 0.033$  s/m<sup>1/3</sup> in alveo attivo ed  $n = 0.06$  s/m<sup>1/3</sup> in area golenale e nel resto del dominio di studio.

## 10. ALLEGATI

## 11. HEC HMS

Il programma HEC – HMS 4.3 dell'US Corps of Engineers è stato sviluppato per simulare i processi di trasformazione afflussi - deflussi (precipitazioni – run off) di bacini di drenaggio naturali e/o artificiali.

L'applicativo consente la creazione di un modello afflussi – deflussi che è in grado di simulare gli idrogrammi di piena con assegnato tempo di ritorno, sulla base della definizione della pioggia di progetto e dalle caratteristiche idrogeomorfologiche del bacino.

La rappresentazione fisica del bacino idrografico viene fatta nella schematizzazione di bacino attraverso varie componenti, come sottobacini, tronchi fluviali, giunzioni, ritenute, fuoriuscite, sorgenti e pozzi, unite tra di loro a formare una rete completa.

Le principali componenti disponibili per schematizzare il comportamento del bacino idrografico sono:

- calcolo della pioggia efficace;
- trasformazione afflussi-deflussi;
- propagazione della piena.

Il software utilizza in pratica una schematizzazione a parametri concentrati del bacino idrografico, cioè il bacino idrografico viene schematizzato come un insieme di sottobacini idrografici uniti insieme tra loro dai tronchi fluviali e dalle giunzioni. Ogni sottobacino risponde alla evento pluviometrico secondo delle caratteristiche che sono del sottobacino ma che derivano dalle caratteristiche morfologiche, di uso del suolo, ecc. presenti nello stesso sottobacino. Solo in un caso, utilizzando il metodo di Clark modificato, è possibile ricorrere anche ad una schematizzazione a parametri distribuiti.

L'esecuzione di una simulazione idrologica richiede la specificazione di tre insiemi di dati (componenti idrologici):

1. *Basin Model*: rappresentazione fisica delle caratteristiche del bacino idrografico;
2. *Meteorologic Model*: dati meteorologici relativi alle precipitazioni e all'evapotraspirazione;
3. *Control Specifications*: informazioni temporali necessarie per la simulazione.

Una volta inseriti i dati necessari è possibile effettuare la simulazione idrologica del bacino idrografico con la possibilità di selezionare diverse durate e intervalli di simulazione. Eseguita la modellazione i risultati della stessa possono essere visualizzati sia in forma grafica che tabellare.

## 12. HEC RAS 2D

Il software HEC-RAS ver 5.0.6 permette la simulazione dei deflussi combinando il modello monodimensionale dell'asta fluviale principale con il modello bidimensionale delle zone esterne.

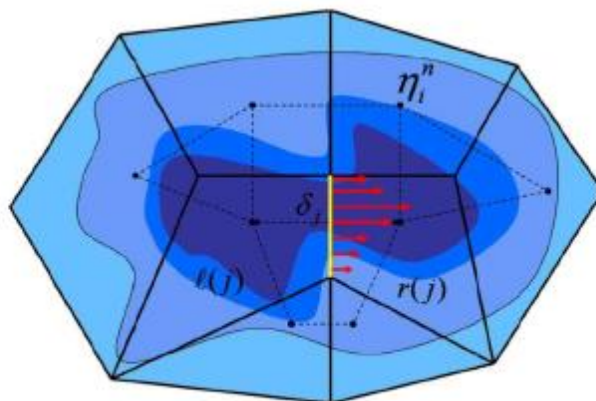
Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.

Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti che consente di utilizzare step temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi agli elementi finiti.

Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo permettendo una perfetta coerenza a ogni step tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzone è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra dell'argine o attraverso la breccia. Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturati o non strutturati.

Ciò significa che le cellule computazionali possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono.

All'interno di HEC-RAS ver 5.0.6 le celle e le facce delle celle si basano sui dati del terreno sottostante (DTM). Ogni cella e ogni faccia della cella per tutta la maglia di calcolo è pre-trattata al fine di sviluppare dettagliate tabelle di proprietà idrauliche basate sul DTM utilizzato nel processo di modellazione, vedi Figura seguente.



Rete di calcolo non strutturata con i dati dettagliati del modello digitale del terreno

Si illustra un esempio di maglia di calcolo sovrapposta ai dati del terreno. Le celle computazionali sono rappresentate dalle linee nere spesse. I centri di calcolo cellulari sono rappresentati dai nodi neri e sono i luoghi dove viene calcolata per ogni cella il livello idrico e la portata. La curva altezza/volume per ogni cella si basa sui dati del terreno sottostante. Ogni faccia della cella è una sezione trasversale dettagliata basata anch'essa sul terreno sottostante. Questo metodo di rappresentazione delle celle permette all'acqua di spostarsi tra le celle in base ai dati del terreno sottostante. Pertanto un piccolo canale che attraversa le celle e le cui dimensioni sono molto più piccole della dimensione delle celle viene comunque rappresentato tramite la curva altezza/volume delle celle oltre che dalle proprietà idrauliche delle facce tra le celle. Ciò significa che l'acqua scorre tra le celle più grandi ma comunque il deflusso è condizionato dalle caratteristiche del canale.

Un esempio di un piccolo canale che attraversa celle della griglia molto più grandi è illustrato nella Figura 3. L'esempio illustrato presenta diversi canali che sono molto più piccoli della dimensione media della cella utilizzata per modellare la zona. Tuttavia il deflusso avviene attraverso i piccoli canali in funzione delle proprietà idrauliche del canale. Il deflusso rimane nei canali fino a quando la portata non è tale da causare la tracimazione delle sponde e quindi il deflusso si riversa nelle aree adiacenti



Variabilità del DTM all'interno della cella

Questo permette agli utenti di utilizzare delle celle molti grandi senza però perdere troppo il dettaglio del terreno sottostante che governa il movimento del flusso. Il vantaggio è un minor numero di calcoli e quindi tempi di esecuzione molto più veloci.

### 13. IDROGRAMMI DI PROGETTO TR 200 ANNI

Bacino	Fiume torto	Sx1	Sx2	Sx3	Sx4	Sx5	Sx6	Sx7	Sx8	Sx9	dx1	dx2	dx3	dx4	dx5	dx6	dx7	dx8	dx9	dx10	dx11
Tempo (minuti)	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
0	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
5	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
10	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
15	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
20	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
25	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
30	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
35	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
40	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
45	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
50	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
55	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
60	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
65	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
70	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
75	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
80	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
85	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
90	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
95	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
100	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
105	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
110	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
115	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
120	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
125	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
130	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
135	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
140	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
145	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
150	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
155	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
160	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
165	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3



Bacino	Fiume torto	Sx1	sx2	Sx3	Sx4	Sx5	Sx6	Sx7	Sx8	Sx9	dx1	dx2	dx3	dx4	dx5	dx6	dx7	dx8	dx9	dx10	dx11
Tempo (minuti)	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
170	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
175	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
180	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
185	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
190	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
195	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
200	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
205	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3.1
210	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3.3	1	1	3.6
215	5.6	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3.7	1	1	4
220	6.5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	4.2	1	1	4.5
225	7.5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	4.7	1	1	5
230	8.7	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	5.2	1	1	5.6
235	10	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3.1	1	1	1	2.1	1	5.9	1	1	6.3
240	11.4	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3.4	1	1	1	2.3	1.1	6.6	1	1	7.1
245	13	3	1	2.2	2	3	1.1	1	1	2.1	3	3.8	1	1	1	2.6	1.2	7.5	1	1	8
250	14.9	3	1	2.6	2	3.3	1.2	1	1	2.3	3	4.2	1	1	1	2.9	1.4	8.5	1	1	9.1
255	17.1	3.4	1	3	2	3.8	1.4	1	1	2.7	3.2	4.8	1	1	1	3.4	1.6	9.7	1	1	10.5
260	19.5	4.4	1	3.6	2	4.5	1.7	1	1	3.2	3.7	5.7	1	1	1	4	1.9	11.3	1	1	12.1
265	22.6	5.8	1	4.5	2.6	5.6	2.1	1	1	4	4.5	6.9	1	1.1	1	5	2.3	13.5	1.1	1.2	14.4
270	26.7	8.6	1.4	6.5	3.9	7.8	3	1	1	5.8	6	9.3	1	1.6	1.2	7.1	3.4	17.3	1.6	1.8	18.4
275	38.6	28.1	4.5	19.1	12.7	20.8	8.2	2.5	2.2	15.9	13.7	20.7	2.3	4.2	3.3	18.4	9.2	32.4	4.2	4.8	33.9
280	49.2	44.8	5.7	26.5	16.2	29.7	10.4	3.2	2.8	20	18.7	28.9	2.9	5.3	4.2	23.9	11.7	46.4	5.3	6.1	48.5
285	58	57.1	5.8	29.4	16.3	34.5	10.5	3.2	2.8	20.2	21.1	33.5	2.9	5.4	4.2	25	11.8	57.9	5.4	6.1	60.7
290	67	65.5	5.2	29.4	14.8	36.2	9.6	2.9	2.6	18.5	21.6	35.4	2.6	4.9	3.9	23.8	10.8	66.8	4.9	5.6	70.2
295	80.4	70.7	4.5	27.7	12.7	35.8	8.3	2.5	2.3	16	20.9	35.3	2.3	4.3	3.3	21.4	9.4	73.3	4.3	4.9	77.3
300	105.9	73.2	3.8	25.2	10.6	34.1	7	2.1	1.9	13.5	19.5	34	1.9	3.6	2.8	18.7	7.9	77.7	3.6	4.1	82.3
305	131	73.6	3.1	22.4	8.7	31.6	5.8	1.8	1.6	11.3	17.9	32	1.6	3	2.3	16	6.6	80.4	3	3.4	85.5
310	150.3	72.5	2.5	19.6	7.1	28.9	4.8	1.5	1.3	9.3	16.1	29.6	1.3	2.5	1.9	13.6	5.5	81.6	2.5	2.8	87.1
315	165.3	70.3	2.1	17	5.8	26	4	1.2	1.1	7.8	14.3	27	1.1	2.1	1.6	11.5	4.5	81.6	2.1	2.4	87.4
320	177.8	67.4	1.7	14.7	4.8	23.3	3.4	1	1	6.5	12.7	24.5	1	1.7	1.4	9.8	3.8	80.6	1.7	2	86.8
325	188.4	63.9	1.4	12.7	4	20.7	2.9	1	1	5.6	11.2	22.1	1	1.5	1.2	8.4	3.2	79	1.5	1.7	85.3
330	197.3	60.2	1.2	11	3.4	18.3	2.5	1	1	4.8	9.9	19.9	1	1.3	1	7.2	2.8	76.7	1.3	1.5	83.3
335	204.7	56.3	1.1	9.6	3	16.3	2.2	1	1	4.2	8.8	17.9	1	1.1	1	6.3	2.5	74.1	1.1	1.3	80.7
340	211.4	52.5	1	8.4	2.6	14.4	1.9	1	1	3.7	7.8	16	1	1	1	5.6	2.2	71.2	1	1.1	77.9
345	217.9	48.7	1	7.4	2.3	12.8	1.7	1	1	3.4	6.9	14.4	1	1	1	5	2	68.2	1	1	74.8

Bacino	Fiume torto	Sx1	sx2	Sx3	Sx4	Sx5	Sx6	Sx7	Sx8	Sx9	dx1	dx2	dx3	dx4	dx5	dx6	dx7	dx8	dx9	dx10	dx11
Tempo (minuti)	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
350	229	45.1	1	6.5	2.1	11.5	1.6	1	1	3.1	6.2	13	1	1	1	4.5	1.8	65	1	1	71.6
355	243.6	41.6	1	5.9	2	10.3	1.5	1	1	2.8	5.6	11.8	1	1	1	4.1	1.7	61.8	1	1	68.3
360	257.4	38.4	1	5.3	2	9.2	1.4	1	1	2.7	5.1	10.8	1	1	1	3.8	1.6	58.7	1	1	65
365	268.9	35.4	1	4.8	2	8.4	1.3	1	1	2.4	4.7	9.8	1	1	1	3.5	1.4	55.6	1	1	61.8
370	278	32.6	1	4.4	2	7.6	1.2	1	1	2.3	4.3	9	1	1	1	3.3	1.3	52.6	1	1	58.6
375	285.9	30	1	4.1	2	7	1.1	1	1	2.2	4	8.4	1	1	1	3.1	1.3	49.7	1	1	55.6
380	293.8	27.7	1	3.8	2	6.4	1.1	1	1	2.1	3.7	7.8	1	1	1	2.9	1.2	47	1	1	52.6
385	306.2	25.5	1	3.6	2	6	1.1	1	1	2	3.5	7.2	1	1	1	2.8	1.2	44.4	1	1	49.8
390	323.6	23.6	1	3.3	2	5.6	1	1	1	2	3.3	6.8	1	1	1	2.7	1.1	41.9	1	1	47.1
395	341.8	21.8	1	3.1	2	5.2	1	1	1	2	3.1	6.4	1	1	1	2.6	1.1	39.6	1	1	44.6
400	358.3	20.3	1	3	2	4.9	1	1	1	2	3	6	1	1	1	2.5	1.1	37.4	1	1	42.2
405	372.5	18.8	1	2.9	2	4.6	1	1	1	2	3	5.7	1	1	1	2.4	1	35.4	1	1	40
410	384.3	17.5	1	2.8	2	4.4	1	1	1	2	3	5.5	1	1	1	2.3	1	33.5	1	1	37.9
415	393.8	16.3	1	2.7	2	4.1	1	1	1	2	3	5.2	1	1	1	2.3	1	31.7	1	1	35.9
420	401.1	15.3	1	2.6	2	3.9	1	1	1	2	3	4.9	1	1	1	2.2	1	30	1	1	34.1
425	406.3	14.3	1	2.5	2	3.8	1	1	1	2	3	4.7	1	1	1	2.1	1	28.5	1	1	32.4
430	409.6	13.5	1	2.4	2	3.6	1	1	1	2	3	4.5	1	1	1	2.1	1	27.1	1	1	30.8
435	411.3	12.7	1	2.4	2	3.5	1	1	1	2	3	4.4	1	1	1	2	1	25.8	1	1	29.3
440	411.4	12	1	2.3	2	3.4	1	1	1	2	3	4.3	1	1	1	2	1	24.6	1	1	27.9
445	410.2	11.4	1	2.3	2	3.3	1	1	1	2	3	4.2	1	1	1	2	1	23.4	1	1	26.6
450	407.8	10.8	1	2.2	2	3.2	1	1	1	2	3	4.1	1	1	1	2	1	22.4	1	1	25.4
455	404.4	10.3	1	2.1	2	3.2	1	1	1	2	3	4	1	1	1	2	1	21.4	1	1	24.3
460	400.1	9.8	1	2.1	2	3.1	1	1	1	2	3	3.9	1	1	1	2	1	20.5	1	1	23.3
465	395	9.4	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3.8	1	1	1	2	1	19.7	1	1	22.4
470	389.2	9	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3.7	1	1	1	2	1	18.9	1	1	21.5
475	383	8.7	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3.6	1	1	1	2	1	18.2	1	1	20.7
480	376.2	8.3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3.5	1	1	1	2	1	17.6	1	1	19.9
485	369.1	8	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3.5	1	1	1	2	1	17	1	1	19.2
490	361.8	7.4	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3.4	1	1	1	2	1	16.4	1	1	18.5
495	354.1	7.2	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3.3	1	1	1	2	1	15.9	1	1	17.9
500	346.4	7	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3.3	1	1	1	2	1	15.4	1	1	17.4
505	338.5	6.8	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3.2	1	1	1	2	1	14.9	1	1	16.8
510	330.6	6.6	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3.2	1	1	1	2	1	14.5	1	1	16.3
515	322.7	6.5	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3.1	1	1	1	2	1	14.1	1	1	15.9
520	314.8	6.3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3.1	1	1	1	2	1	13.7	1	1	15.4
525	306.9	6.2	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	13.4	1	1	15

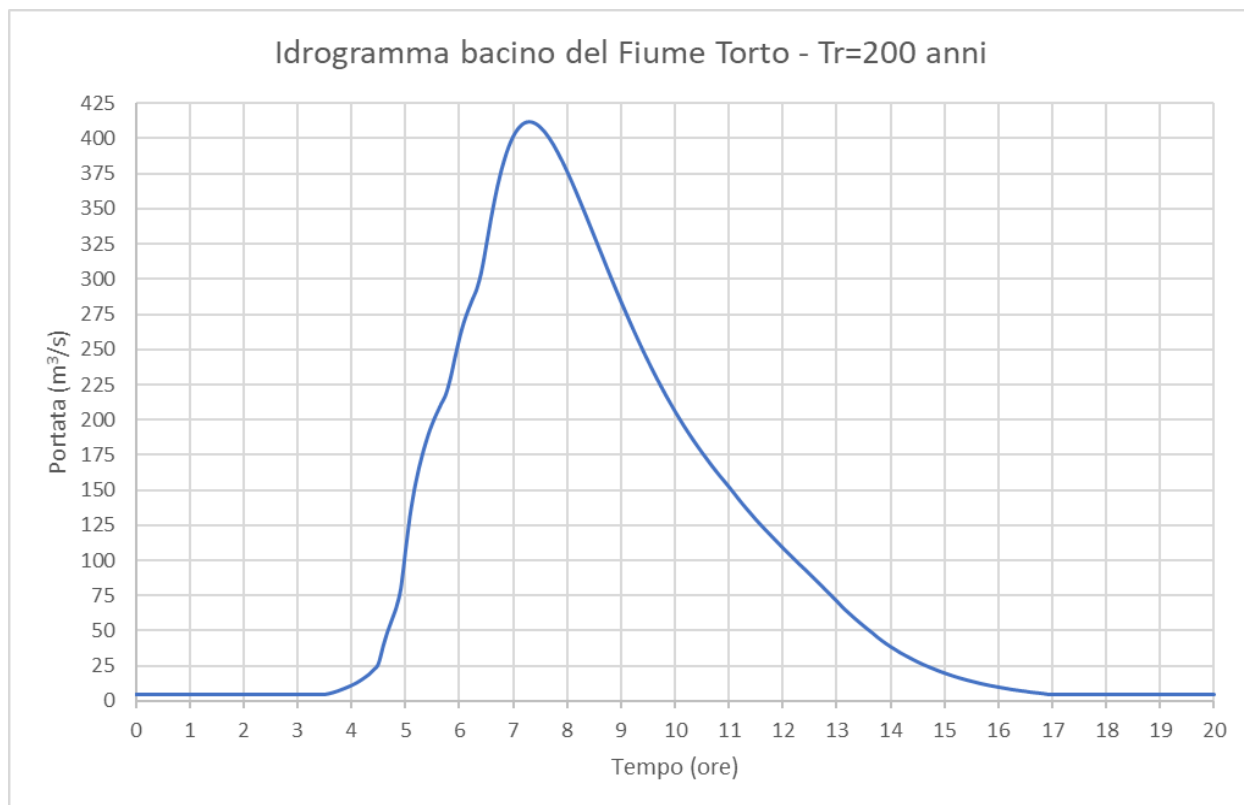
Bacino	Fiume torto	Sx1	sx2	Sx3	Sx4	Sx5	Sx6	Sx7	Sx8	Sx9	dx1	dx2	dx3	dx4	dx5	dx6	dx7	dx8	dx9	dx10	dx11
Tempo (minuti)	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
530	299.1	6.1	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	13	1	1	14.6
535	291.5	6	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	12.7	1	1	14.3
540	283.9	5.8	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	12.1	1	1	13.9
545	276.5	5.7	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	11.9	1	1	13.6
550	269.2	5.6	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	11.6	1	1	13
555	262.1	5.5	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	11.4	1	1	12.7
560	255.1	5.4	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	11.2	1	1	12.5
565	248.4	5.3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	11	1	1	12.2
570	241.8	5.2	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	10.8	1	1	12
575	235.4	5.2	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	10.7	1	1	11.8
580	229.1	5.1	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	10.5	1	1	11.6
585	223.1	5	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	10.3	1	1	11.5
590	217.2	4.9	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	10.2	1	1	11.3
595	211.6	4.9	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	10	1	1	11.1
600	206.1	4.8	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	9.9	1	1	11
605	200.8	4.7	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	9.8	1	1	10.8
610	195.6	4.7	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	9.6	1	1	10.7
615	190.7	4.6	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	9.5	1	1	10.5
620	185.9	4.5	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	9.4	1	1	10.4
625	181.3	4.5	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	9.3	1	1	10.2
630	176.8	4.4	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	9.1	1	1	10.1
635	172.5	4.3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	8.9	1	1	9.9
640	168.2	4	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	8.6	1	1	9.5
645	164.1	3.8	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	8.1	1	1	9
650	160.1	3.5	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	7.7	1	1	8.6
655	156.3	3.2	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	7.2	1	1	8
660	152.4	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	6.7	1	1	7.5
665	148.4	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	6.2	1	1	7
670	144.3	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	5.7	1	1	6.4
675	140.4	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	5.2	1	1	5.9
680	136.6	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	4.7	1	1	5.4
685	132.9	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	4.3	1	1	4.9
690	129.2	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3.9	1	1	4.5
695	125.7	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3.5	1	1	4.1
700	122.3	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3.2	1	1	3.7
705	119	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3.3

Bacino	Fiume torto	Sx1	sx2	Sx3	Sx4	Sx5	Sx6	Sx7	Sx8	Sx9	dx1	dx2	dx3	dx4	dx5	dx6	dx7	dx8	dx9	dx10	dx11
Tempo (minuti)	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
710	115.7	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
715	112.4	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
720	109.1	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
725	105.9	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
730	102.7	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
735	99.6	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
740	96.5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
745	93.5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
750	90.4	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
755	87.3	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
760	84.1	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
765	80.9	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
770	77.7	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
775	74.5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
780	71.3	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
785	67.9	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
790	64.8	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
795	61.9	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
800	59	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
805	56.3	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
810	53.6	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
815	51	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
820	48.5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
825	45.8	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
830	43.3	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
835	41	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
840	38.9	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
845	36.9	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
850	34.9	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
855	33.1	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
860	31.4	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
865	29.7	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
870	28.1	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
875	26.6	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
880	25.2	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
885	23.9	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3

Bacino	Fiume torto	Sx1	sx2	Sx3	Sx4	Sx5	Sx6	Sx7	Sx8	Sx9	dx1	dx2	dx3	dx4	dx5	dx6	dx7	dx8	dx9	dx10	dx11
Tempo (minuti)	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
890	22.6	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
895	21.3	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
900	20.2	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
905	19.1	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
910	18	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
915	17	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
920	16.1	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
925	15.2	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
930	14.4	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
935	13.6	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
940	12.8	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
945	12.1	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
950	11.4	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
955	10.8	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
960	10.2	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
965	9.6	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
970	9.1	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
975	8.5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
980	8.1	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
985	7.6	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
990	7.2	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
995	6.7	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1000	6.3	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1005	6	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1010	5.6	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1015	5.1	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1020	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1025	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1030	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1035	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1040	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1045	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1050	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1055	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1060	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1065	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3

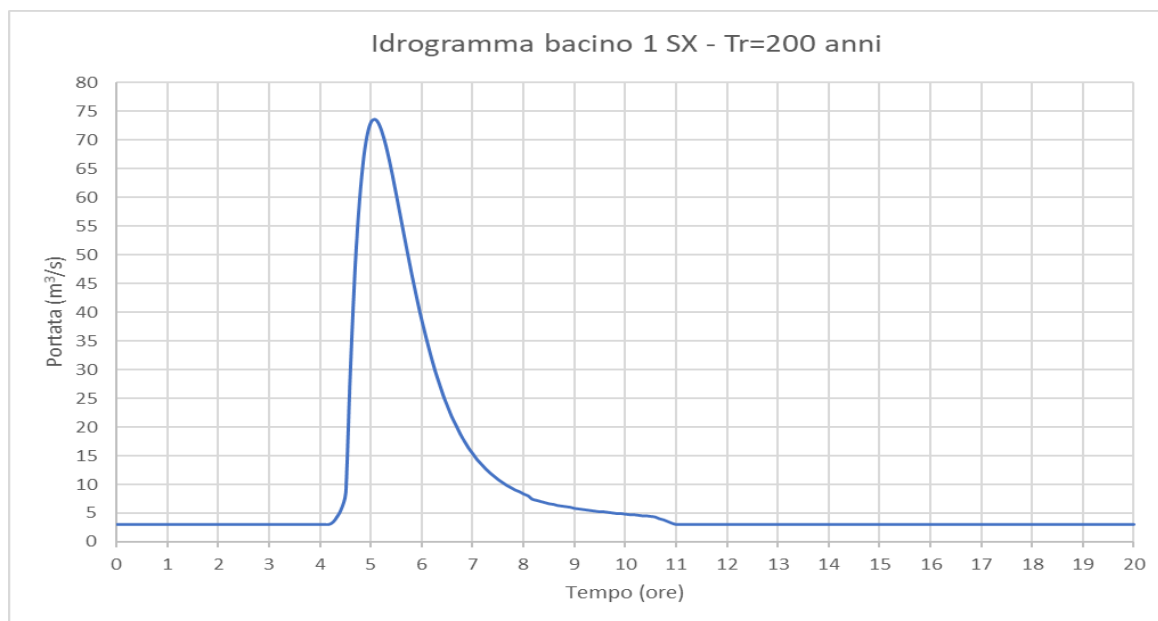
Bacino	Fiume torto	Sx1	sx2	Sx3	Sx4	Sx5	Sx6	Sx7	Sx8	Sx9	dx1	dx2	dx3	dx4	dx5	dx6	dx7	dx8	dx9	dx10	dx11
Tempo (minuti)	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
1070	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1075	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1080	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1085	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1090	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1095	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1100	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1105	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1110	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1115	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1120	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1125	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1130	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1135	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1140	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1145	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1150	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1155	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1160	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1165	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1170	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1175	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1180	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1185	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1190	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1195	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3
1200	5	3	1	2	2	3	1	1	1	2	3	3	1	1	1	2	1	3	1	1	3

### 13.1 Fiume Torto\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni

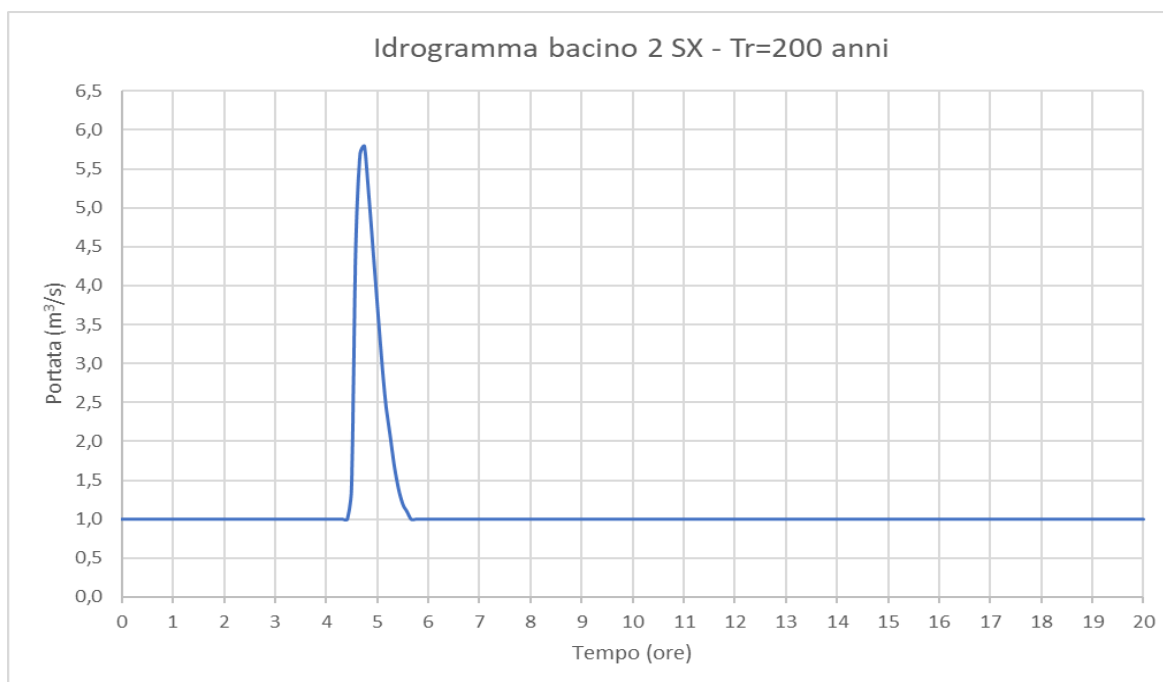


## 13.2 Bacini in Sinistra Infrastruttura di progetto

### Bacino SX 1\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni

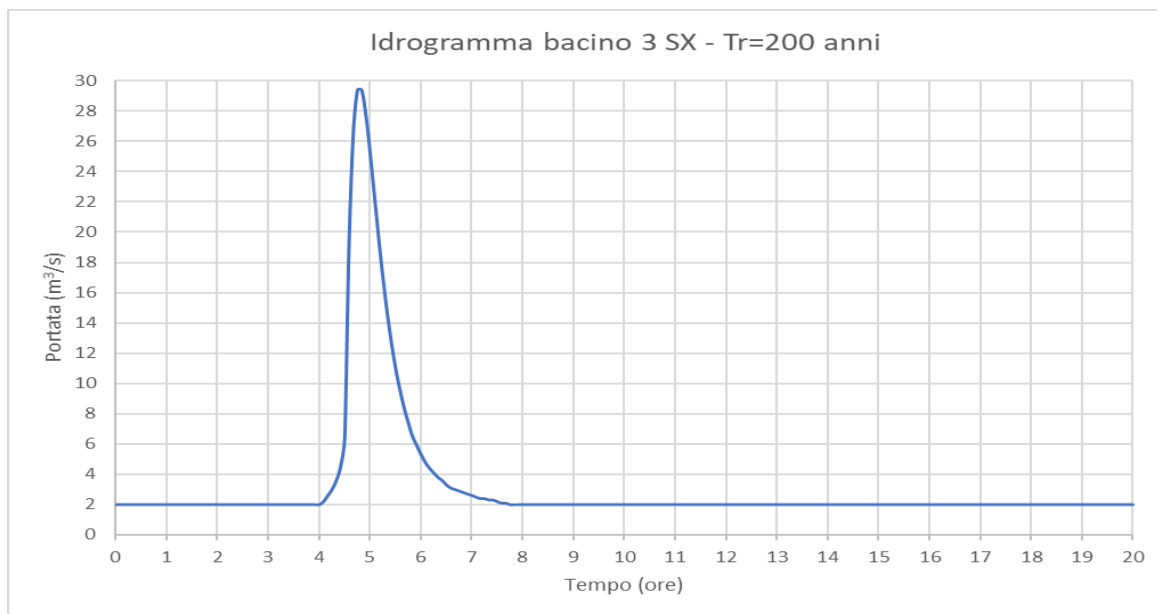


### Bacino SX 2\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni

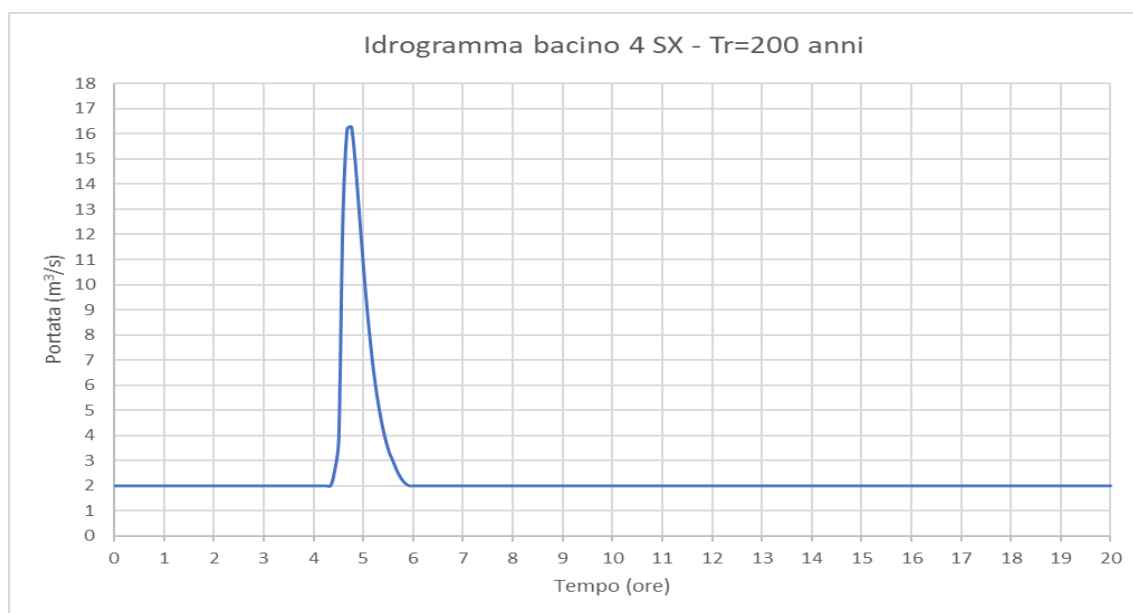




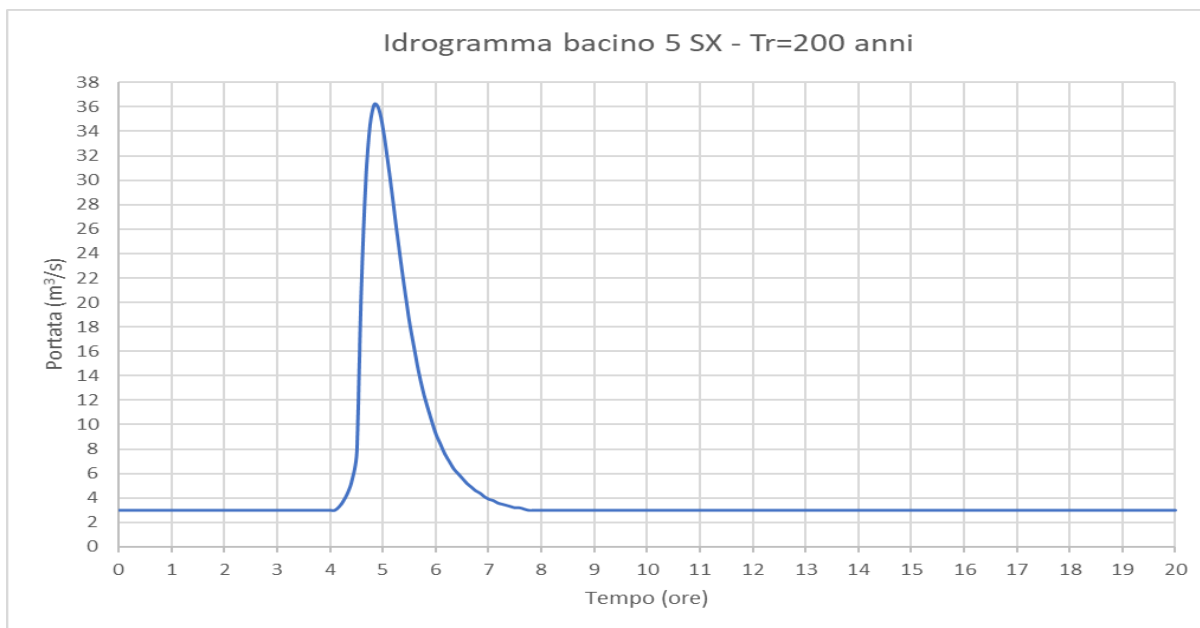
**Bacino SX 3\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni**



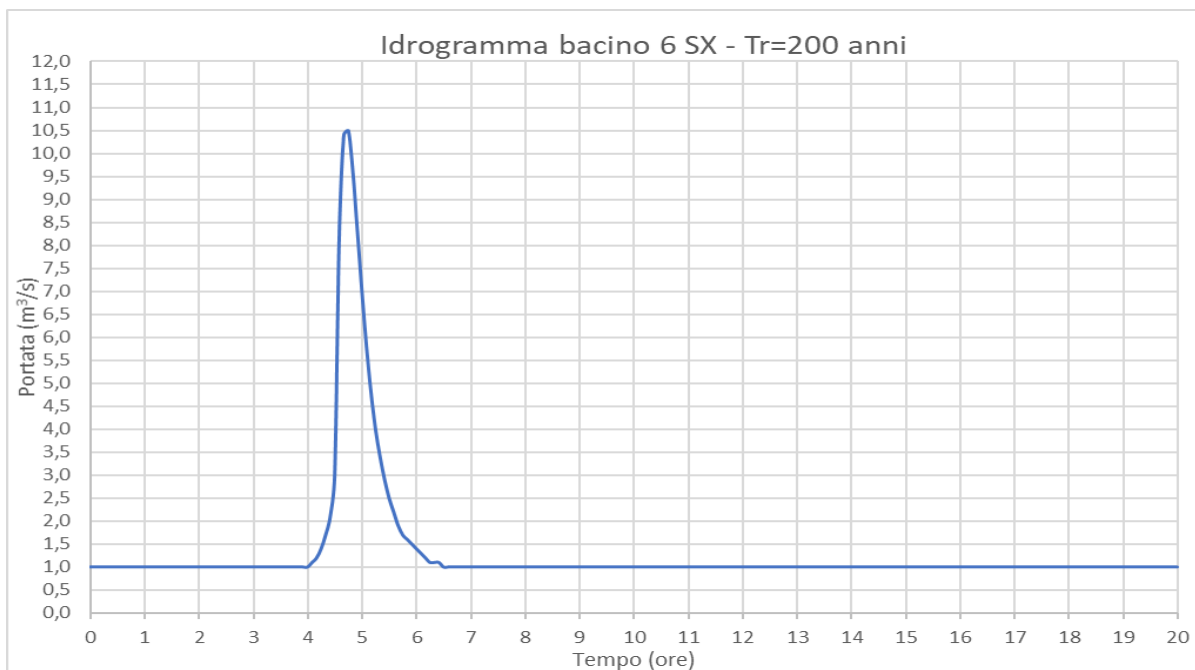
**Bacino SX 4\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni**



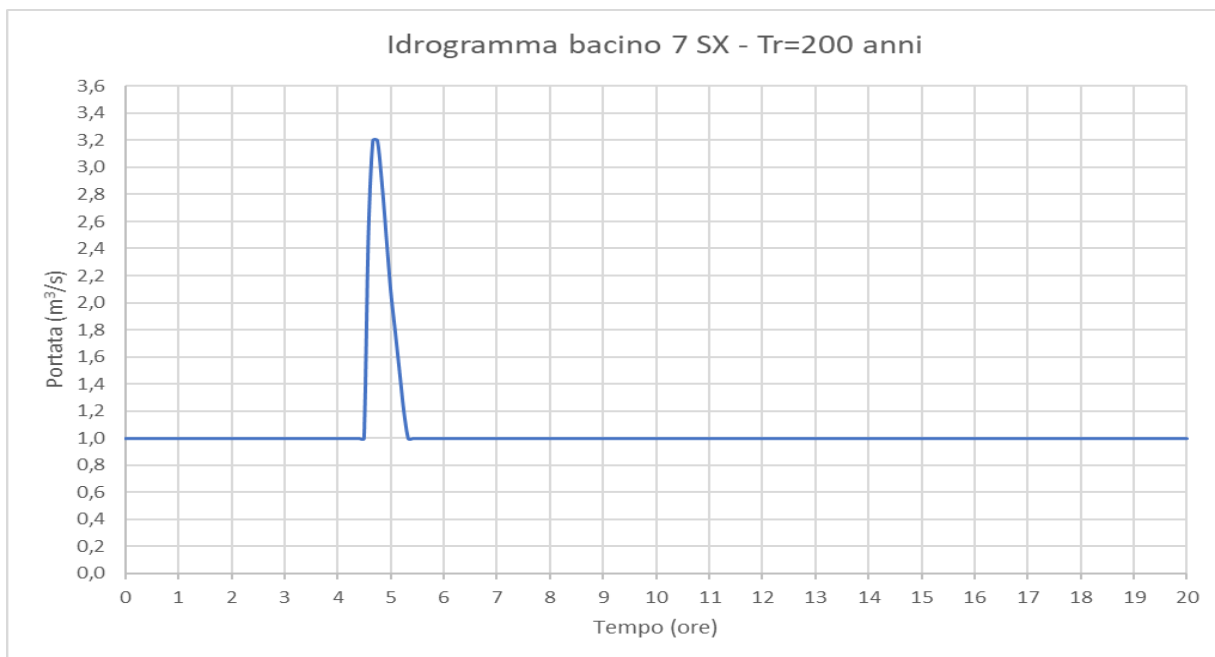
**Bacino SX 5\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni**



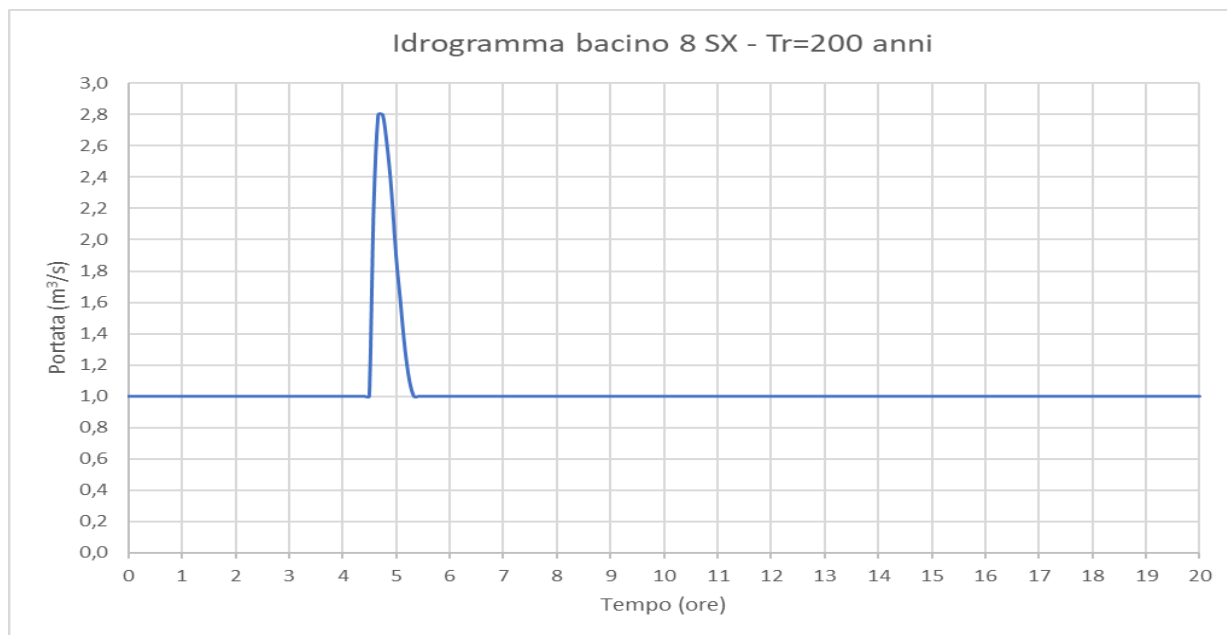
**Bacino SX 6\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni**



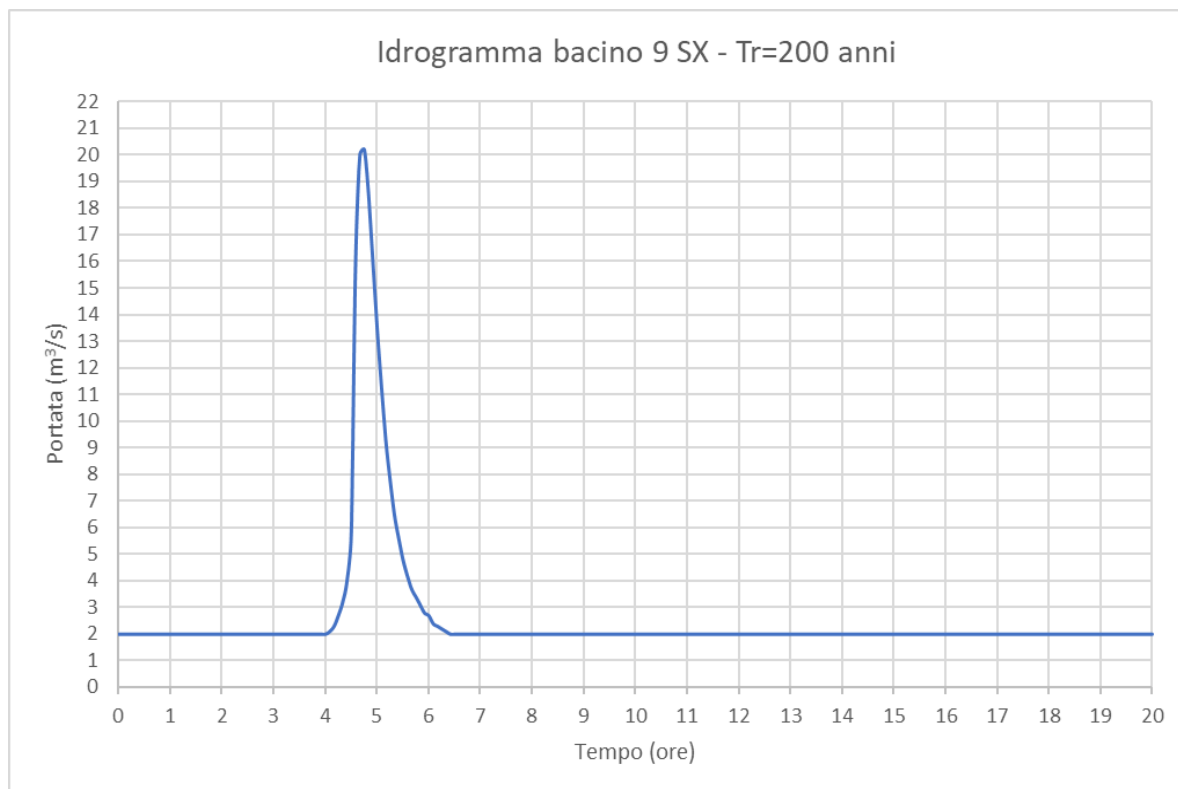
**Bacino SX 7\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni**



**Bacino SX 8\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni**

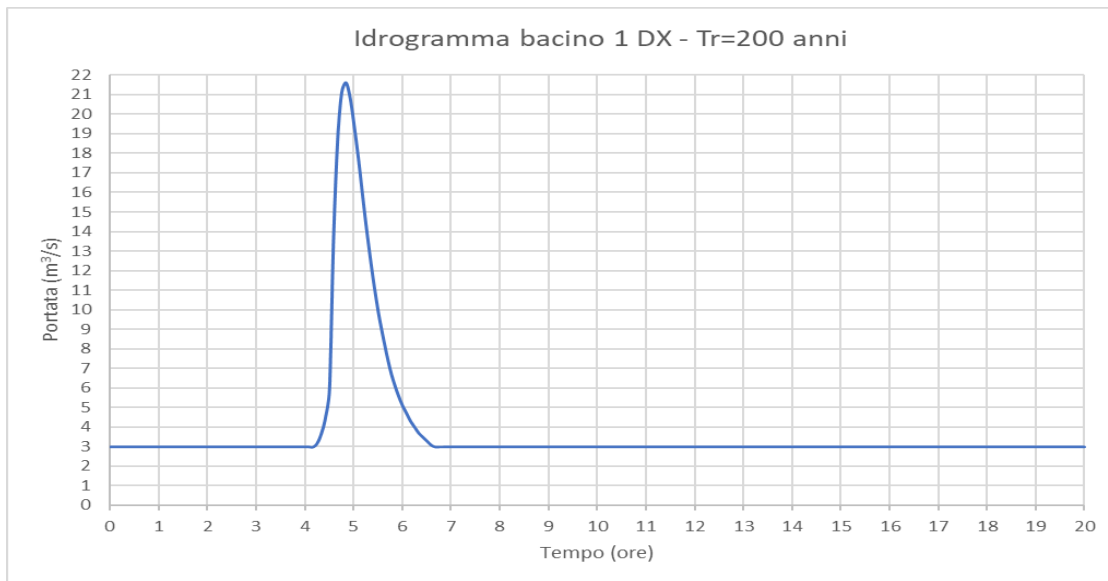


**Bacino SX 9\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni**

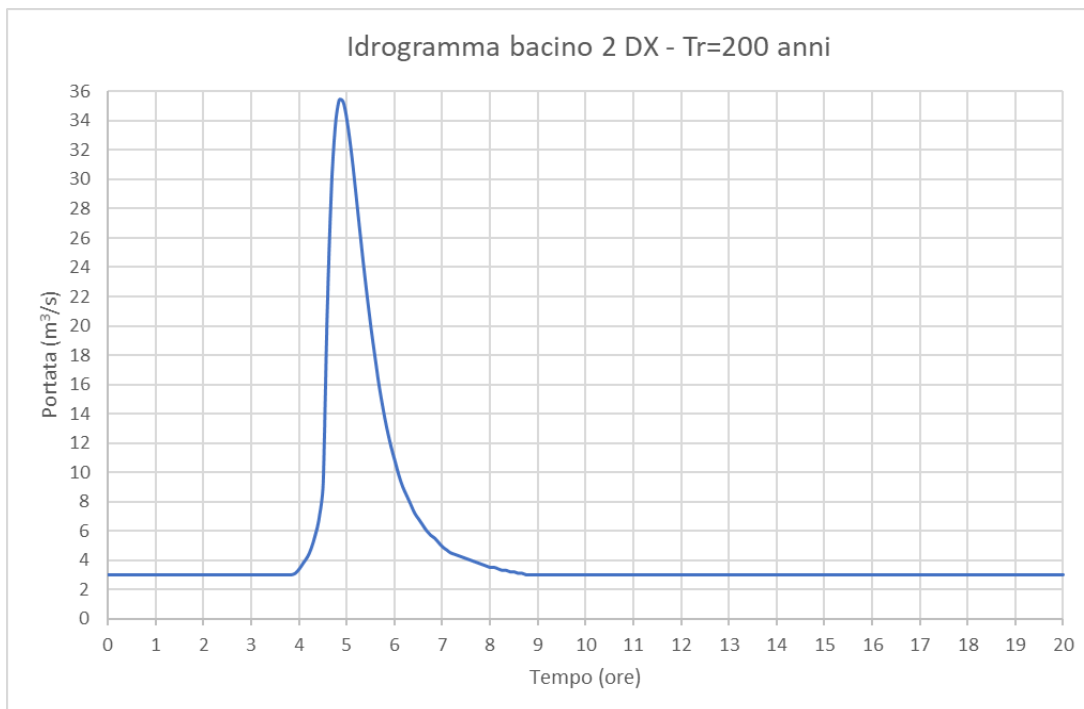


### 13.3 Bacini in Destra Infrastruttura di progetto

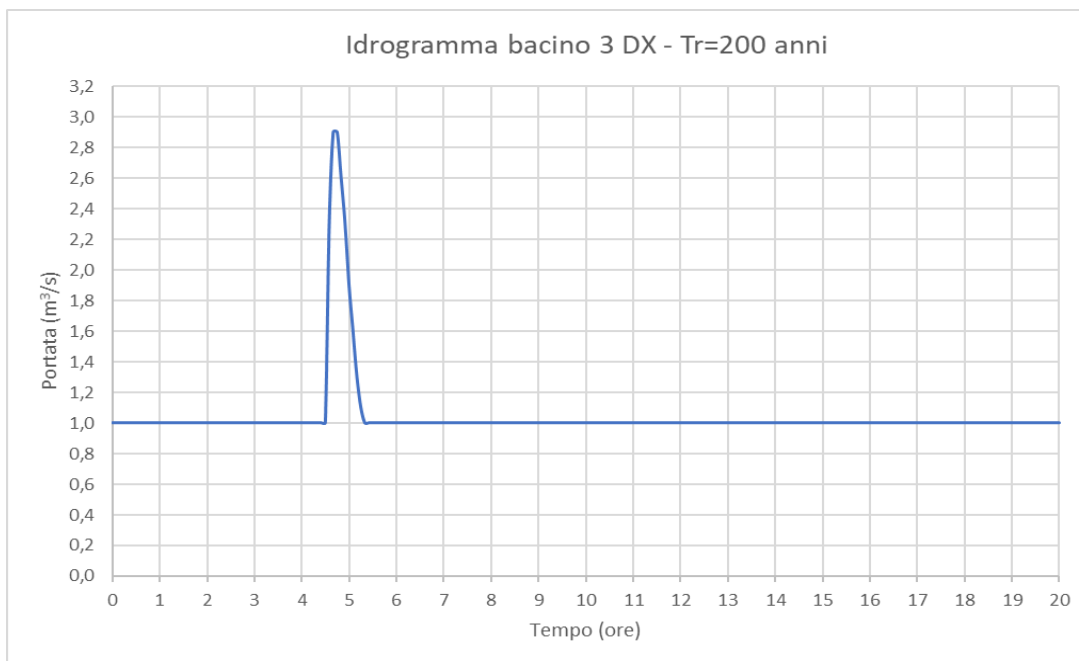
#### Bacino DX 1\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni



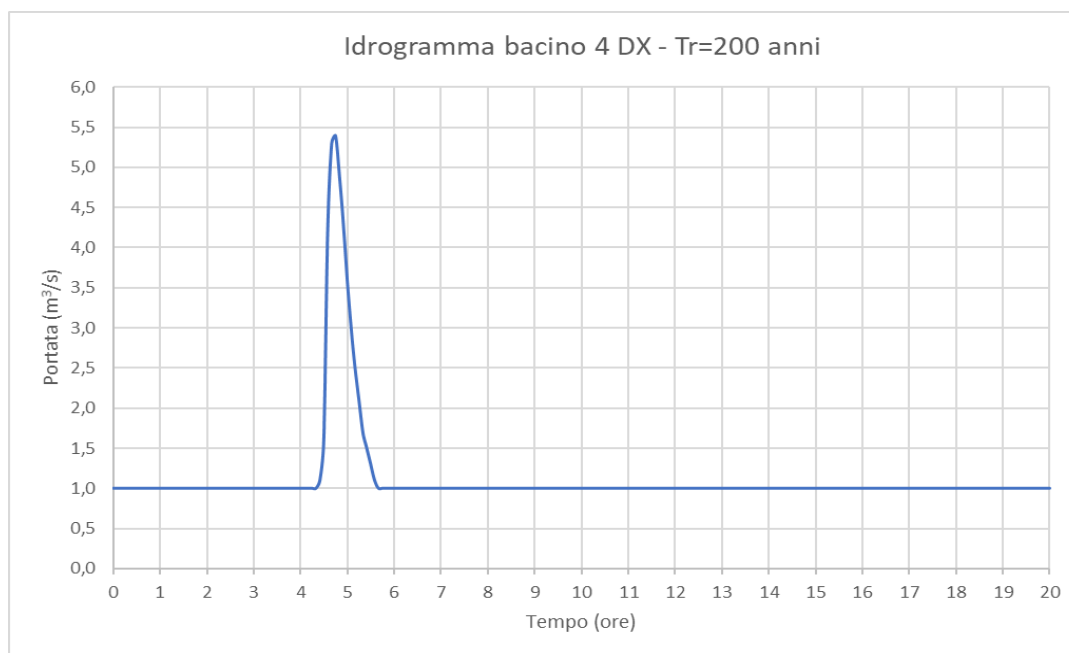
#### Bacino DX 2\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni



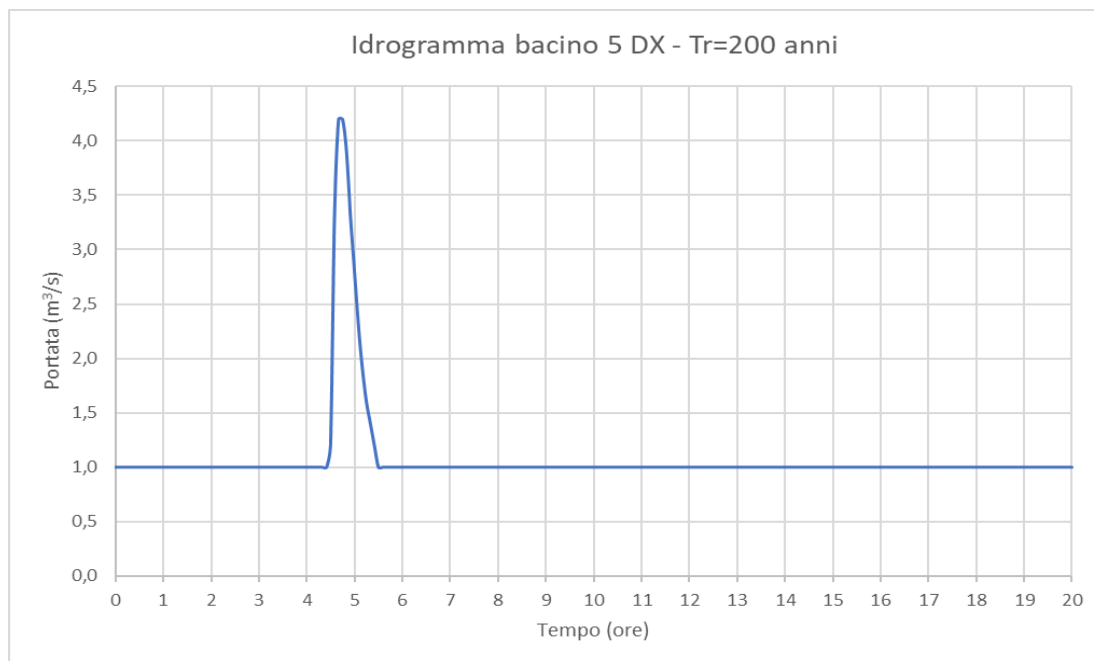
### Bacino DX 3\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni



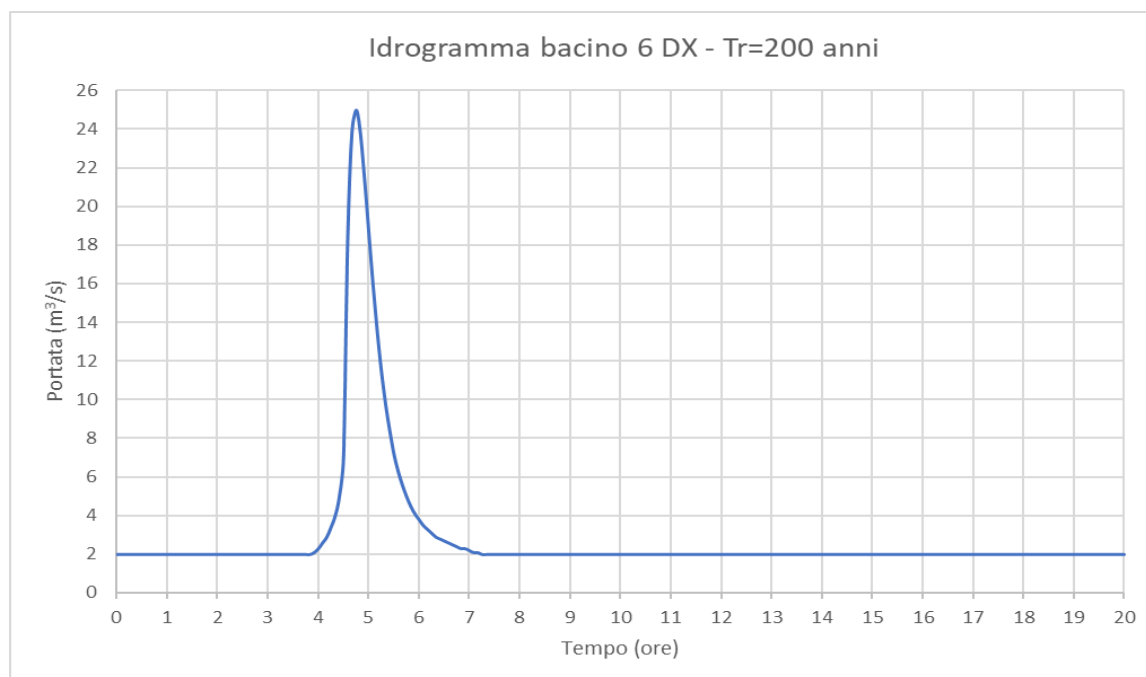
### Bacino DX 4\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni



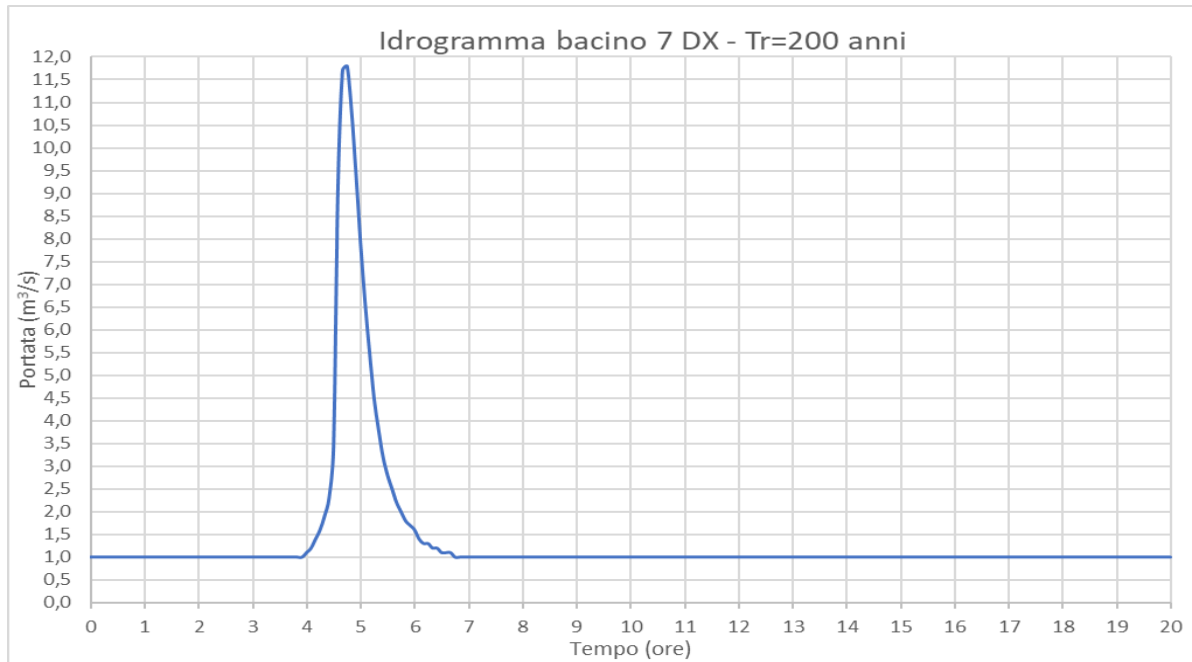
**Bacino DX 5\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni**



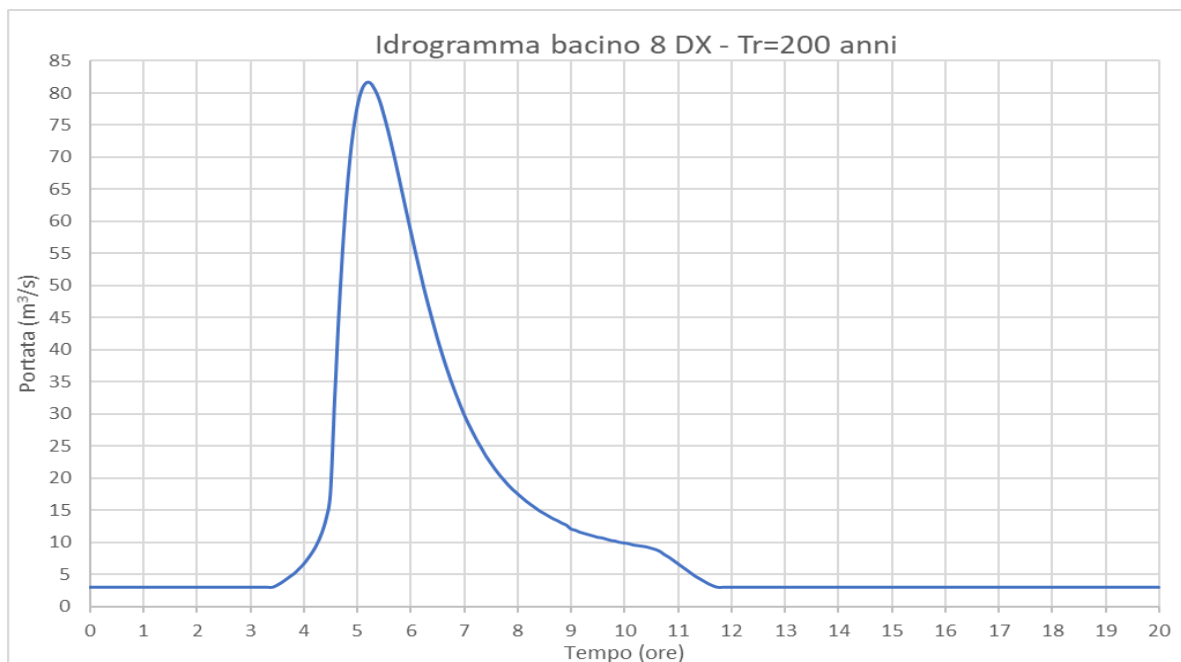
**Bacino DX 6\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni**



**Bacino DX 7\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni**

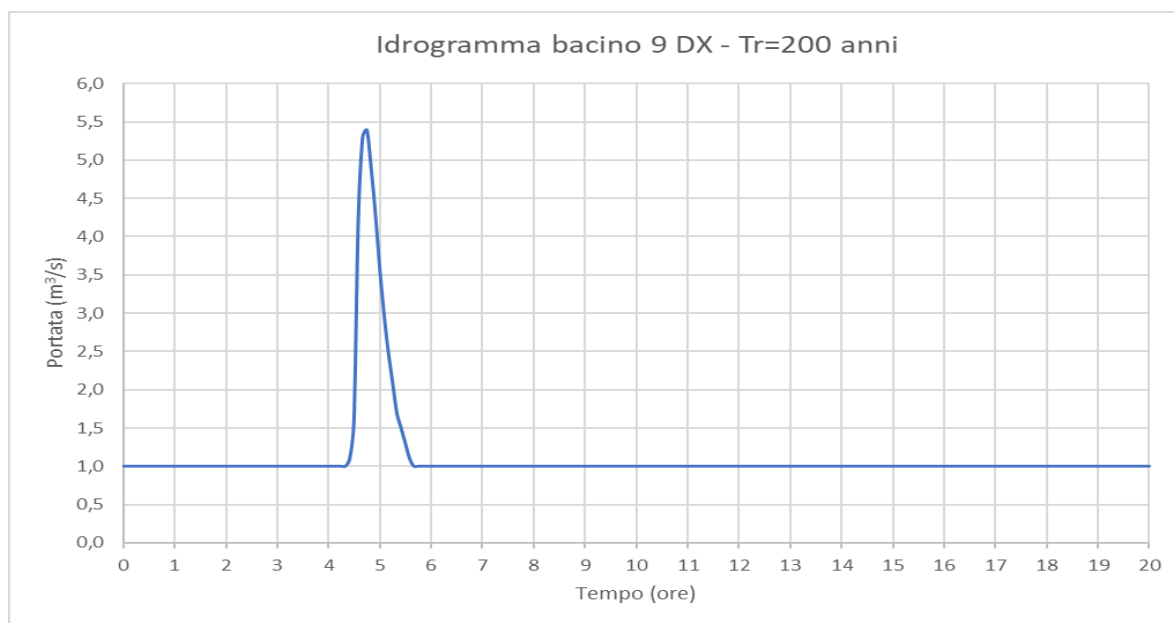


**Bacino DX 8\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni**

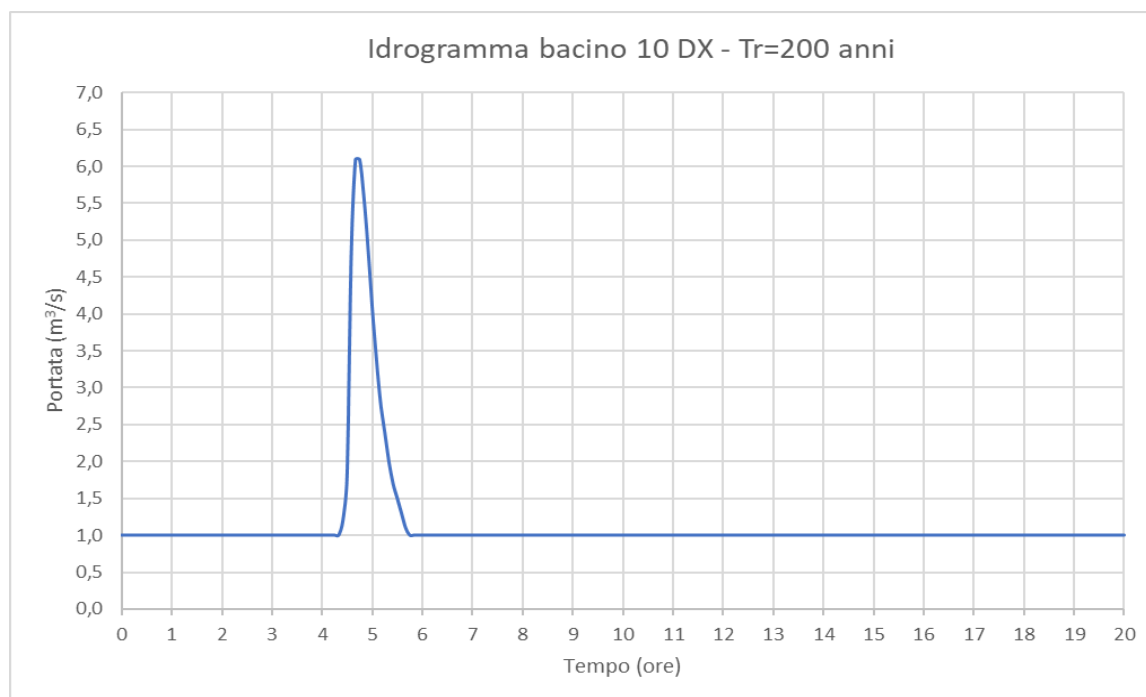




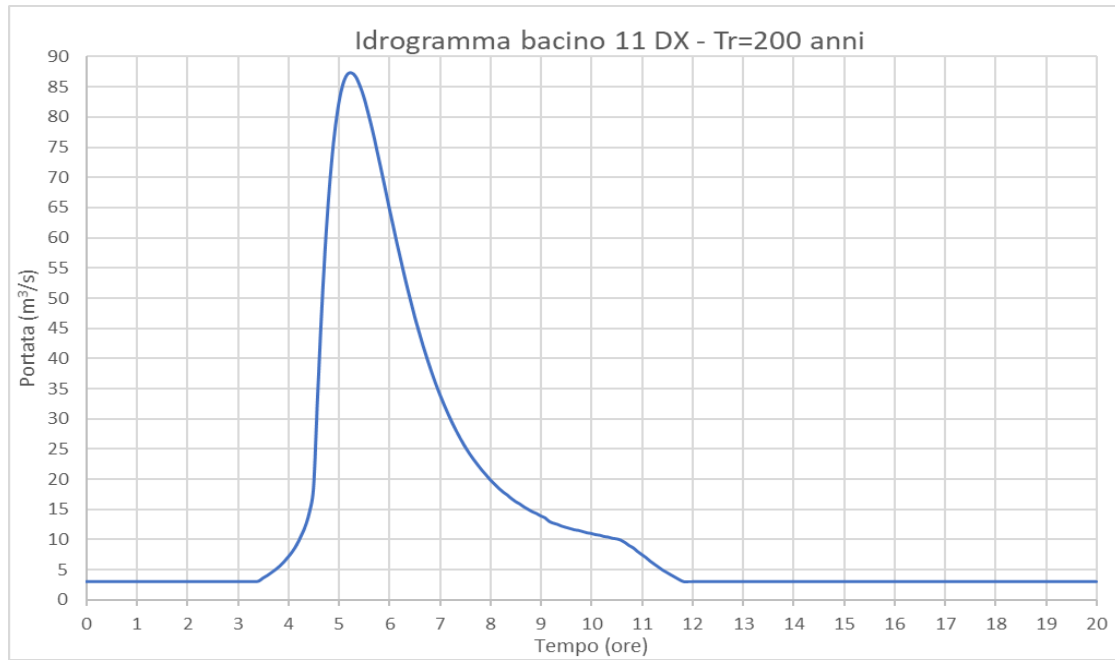
### Bacino DX 9\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni



### Bacino DX 10\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni



**Bacino DX 11\_ Idrogramma di progetto TR 200 anni**



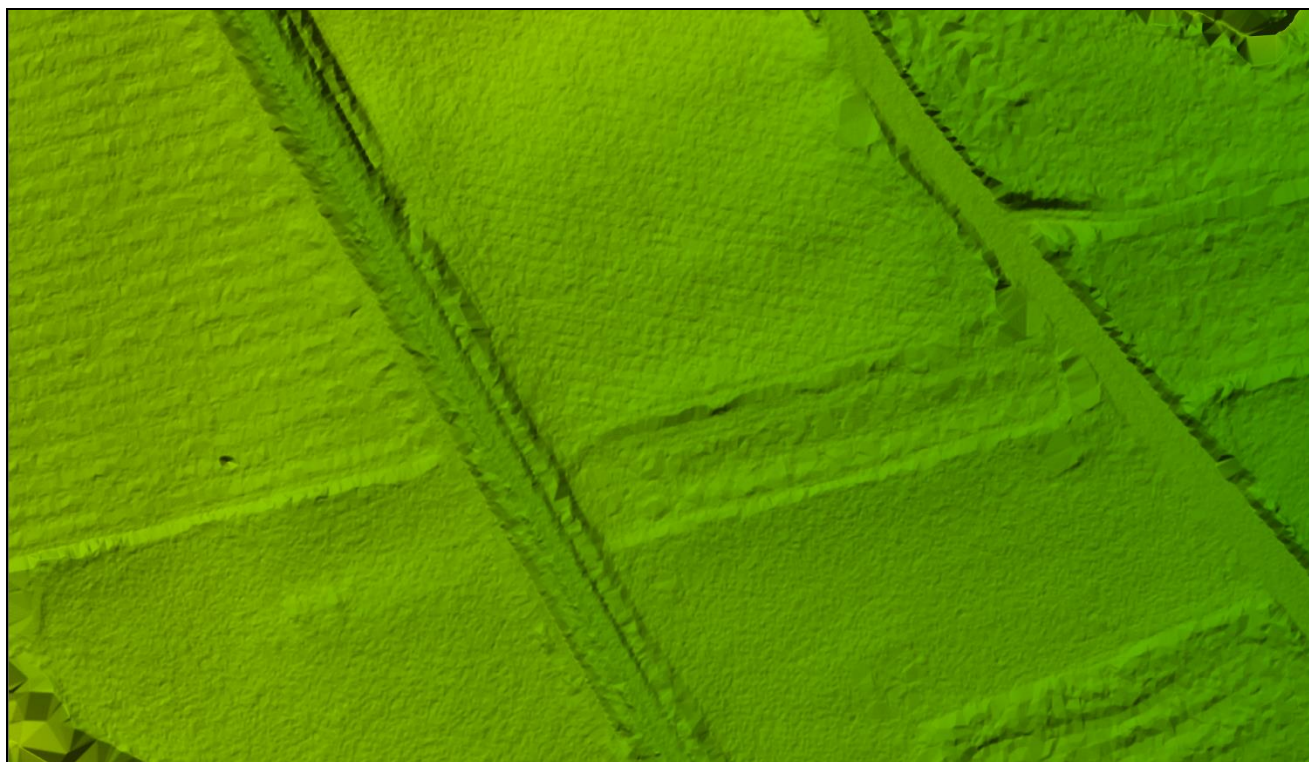
## 14. RISULTATI DELLA MODELLAZIONE

### 14.1 Simulazione bidimensionale Fiume Torto Ante Operam - Post Operam

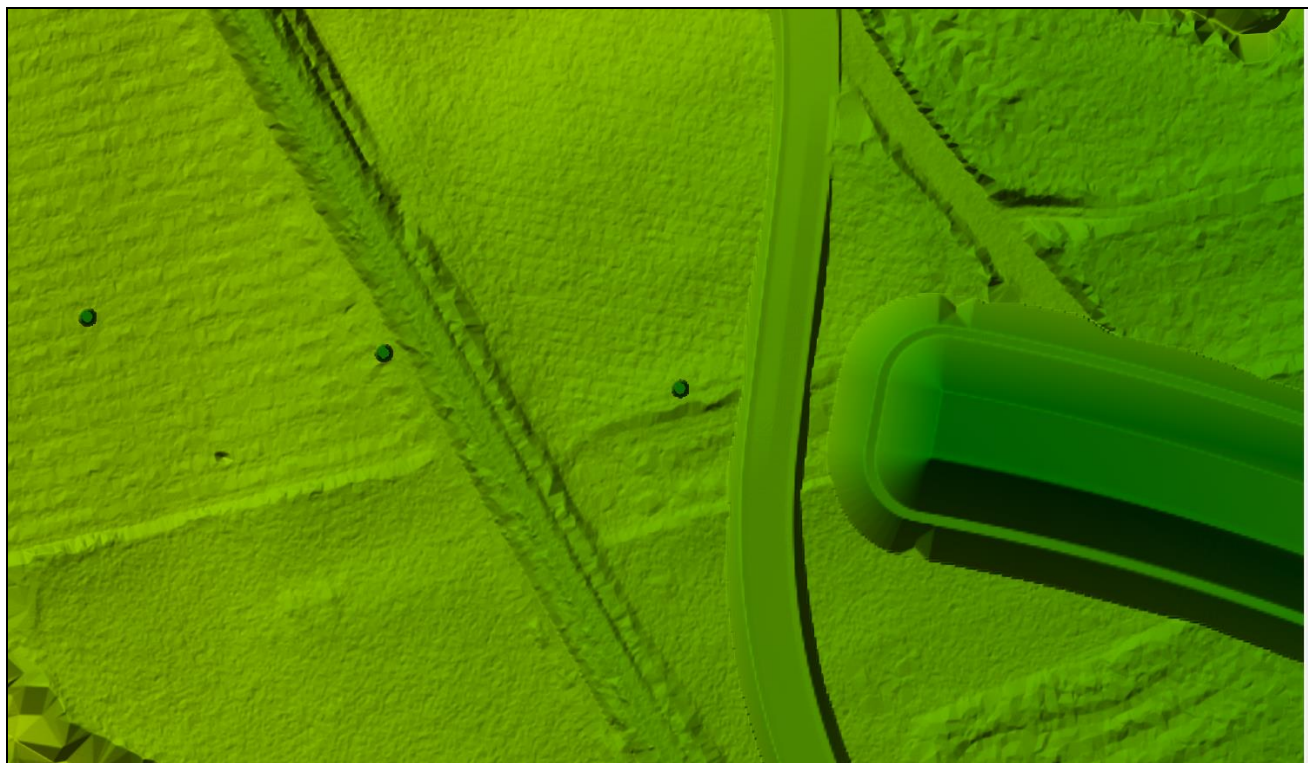
La simulazione bidimensionale dei deflussi dell'area interessata dal Fiume Torto e i suoi affluenti permette di stimare le aree soggette ad allagamento. In particolare oltre a definire l'estensione degli zone inondabili è possibile conoscere i tiranti idraulici e i valori della velocità di deflusso all'interno del dominio di calcolo del modello.

Si sviluppa il modello in condizioni Ante Operam sullo stato di fatto del territorio; di seguito si modifica il modello del terreno aggiungendo il nastro stradale riportando sul DEM il rilevato o la trincea a servizio della strada. Nei tratti in viadotto si inseriscono le spalle con i relativi coni del rilevato che si addossa loro e nell'alveo si inseriscono le pile.

Si riportano di seguito due stralci del modello del terreno in condizioni Ante Operam e Post Operam.



*DEM del terreno in condizoini Ante Operam*

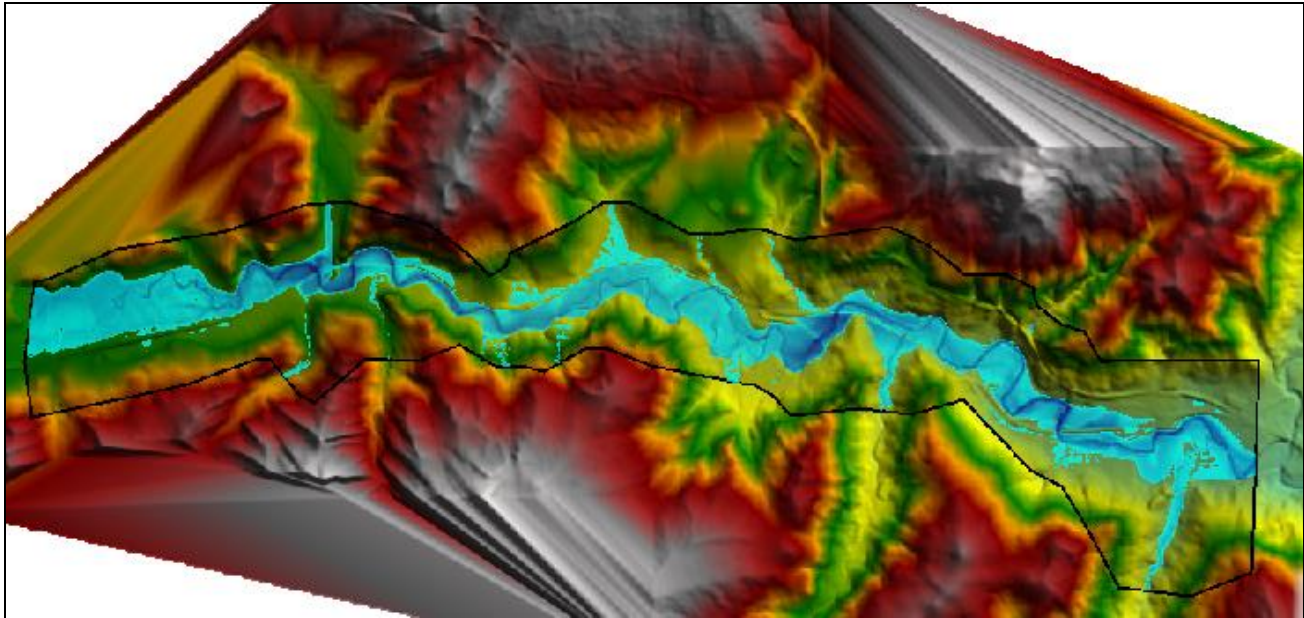


*DEM del terreno in condizoini Post Operam*

L'analisi dei risultati delle modellazione ha premesso di valutare in termini di definizione dell'estensione delle aree inondabili nonché dell'entità dei tiranti idrici, nella condizione Ante Operam ed in quella Post Operam, l'interferenza dell'inserimento del nastro stradale di progetto con il naturale deflusso dell'onda di piena duecentennale.

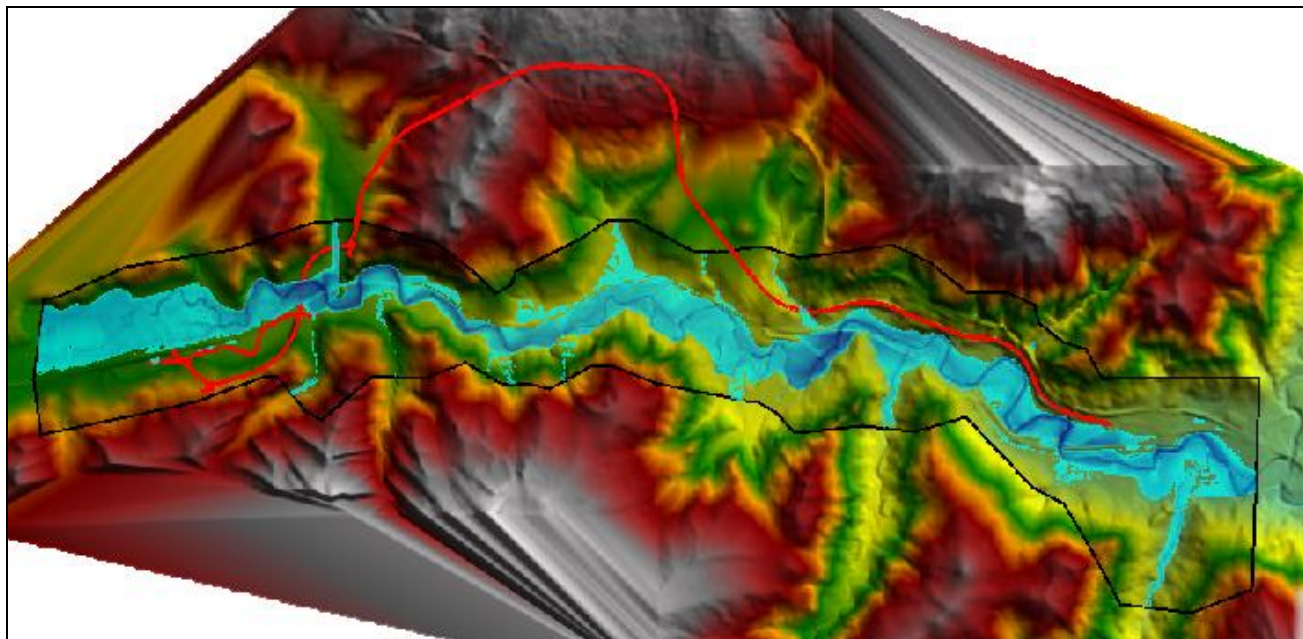
Si riportano di seguito gli stralci planimetrici di tutta l'area interessata dal modello sviluppato; nella prima figura si rappresenta la situazione Ante Operam indicando con le vaie tonalità di celeste le aree inondate e i tiranti idraulici proporzionalmente con lo scurirsi del colore.

L'area perimetrata indica il dominio del modello in cui si sviluppa la simulazione bidimensionale



*Aree inondabili Tr=200 anni - Ante Operam*

Di seguito si riporta lo stesso stralcio planimetrico nel quale in rosso si indicano le strade di progetto che vanno a modificare il terreno; nei tratti in cui gli assi attraversano le aree di deflusso si prevede un viadotto.



*Aree inondabili Tr=200 anni - Post Operam*

Per quello che concerne l'estensione delle aree allagate e dei corrispondenti livelli idrici si è posta attenzione alle zone in cui l'infrastruttura di progetto si sviluppa in affiancamento al Fiume Torto. In particolare sono state esaminate le WBS NV20 e NV21.

L'area di esondazione è vicina alla WBS NV20 Torto nel tratto che va dal km 0+000 al km 2+100 circa mentre per la WBS NV21 il tratto interessato va da km 0+000 a km 0+580 circa.

- WBS NV20

Le tavole RS3Z00D26P7NV0003001A, RS3Z00D26P7NV0003002A e RS3Z00D26P7NV0003003A rappresentano gli stralci planimetrici con i tiranti idraulici, espressi in m, delle aree di esondazione in situazione AO, similmente le tavole RS3Z00D26P7NV0003005A, RS3Z00D26P7NV0003006A e RS3Z00D26P7NV0003007A in condizioni PO.

In maniera analoga le tavole RS3Z00D26P7NV0003009A, RS3Z00D26P7NV0003010A e RS3Z00D26P7NV0003011A rappresentano gli stralci planimetrici con i valori delle velocità, espressi in m/s, delle aree di esondazione in situazione AO, allo stesso modo le tavole RS3Z00D26P7NV0003013A, RS3Z00D26P7NV0003014A e RS3Z00D26P7NV0003015A in condizioni PO.

Per una visione più dettagliata si rimanda alle tavole sopra elencate, di seguito si evidenziano le zone con stretta o diretta vicinanza della strada alle aree bagnate.

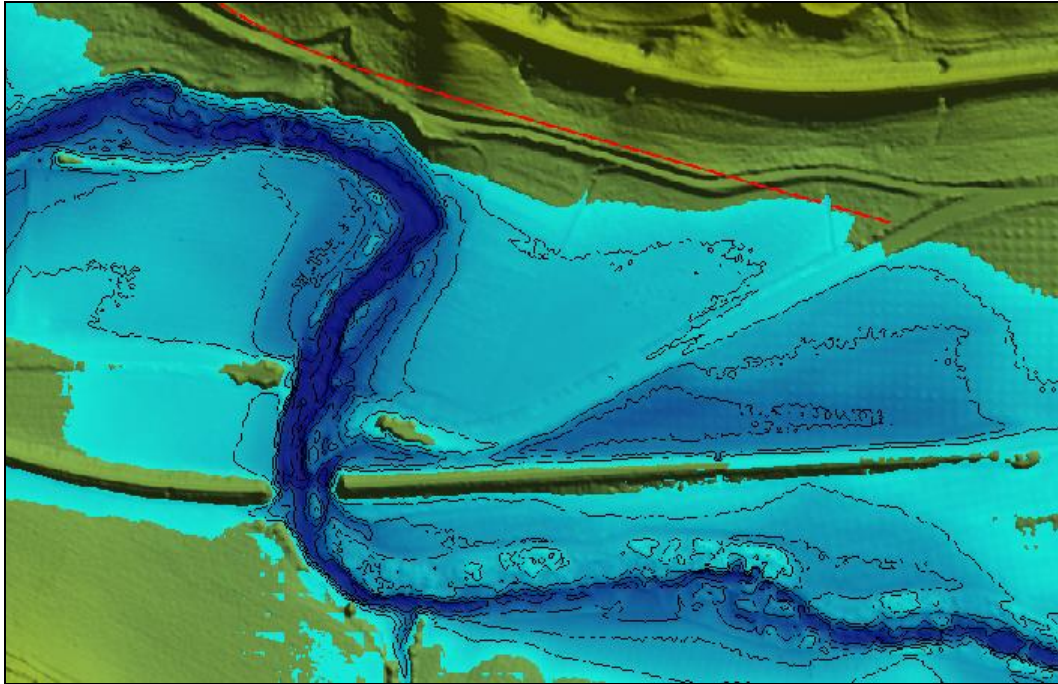
La situazione tra l'Ante Operam e il Post Operam è praticamente invariata dato che gli ingombri delle aree inondabili sono praticamente inalterati.

Soltanto in corrispondenza della rotatoria di inizio intervento in cui ci si riallaccia alla viabilità esistente l'ingombro del tracciato esistente è lambito dall'acqua.

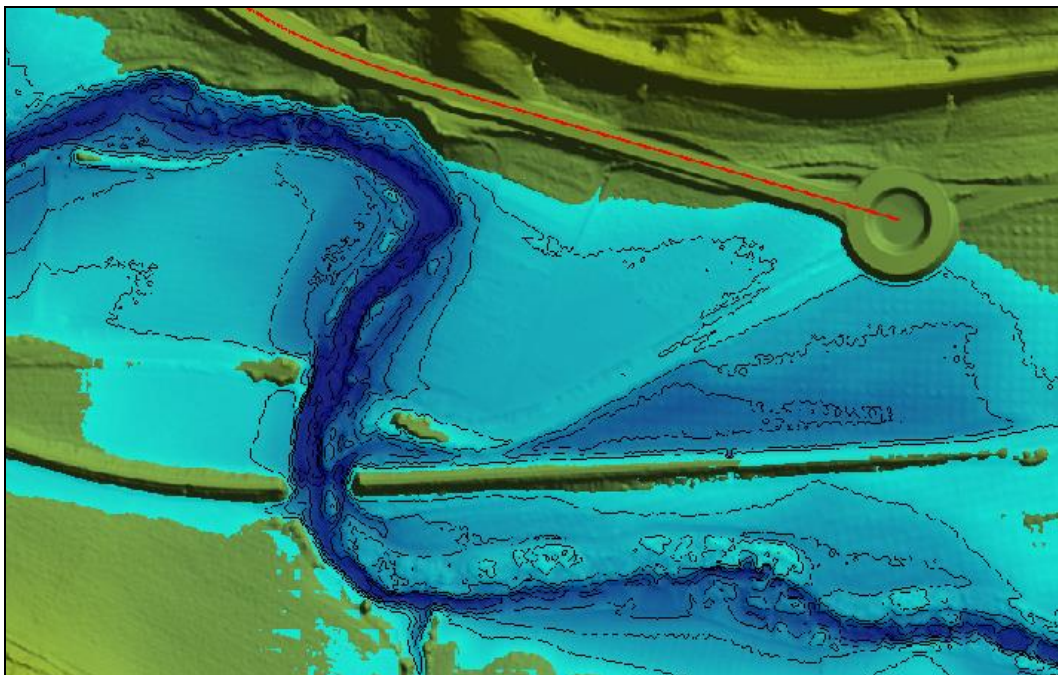
Tuttavia trattandosi di una zona di perimetro dell'allagamento i livelli idraulici e le velocità in gioco sono tali da non generare ripercussioni rilevabili né a monte né a valle della zona interessata.

In ogni caso si provvederà a proteggere il piede del rilevato con opere di difesa di tipo flessibile (materassi tipo Reno).

NV20 – tratto da km 0+000 a km 0+375

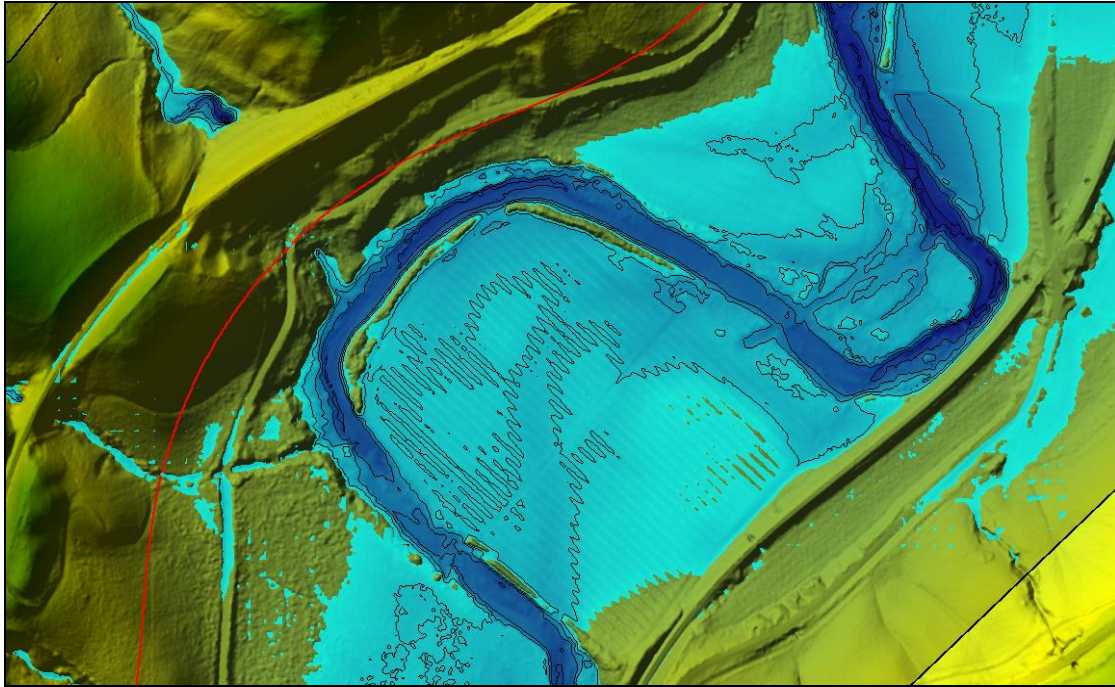


*Aree inondabili Tr=200 anni - Ante Operam*

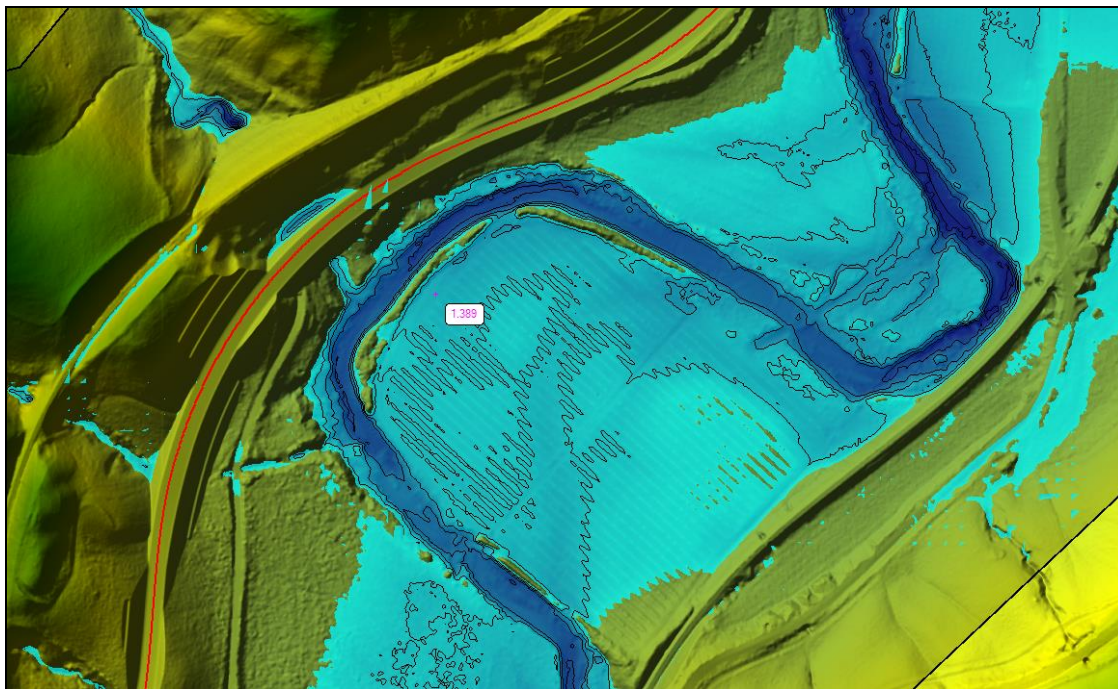


*Aree inondabili Tr=200 anni - Post Operam*

NV20 – tratto da km 0+500 a km 0+900



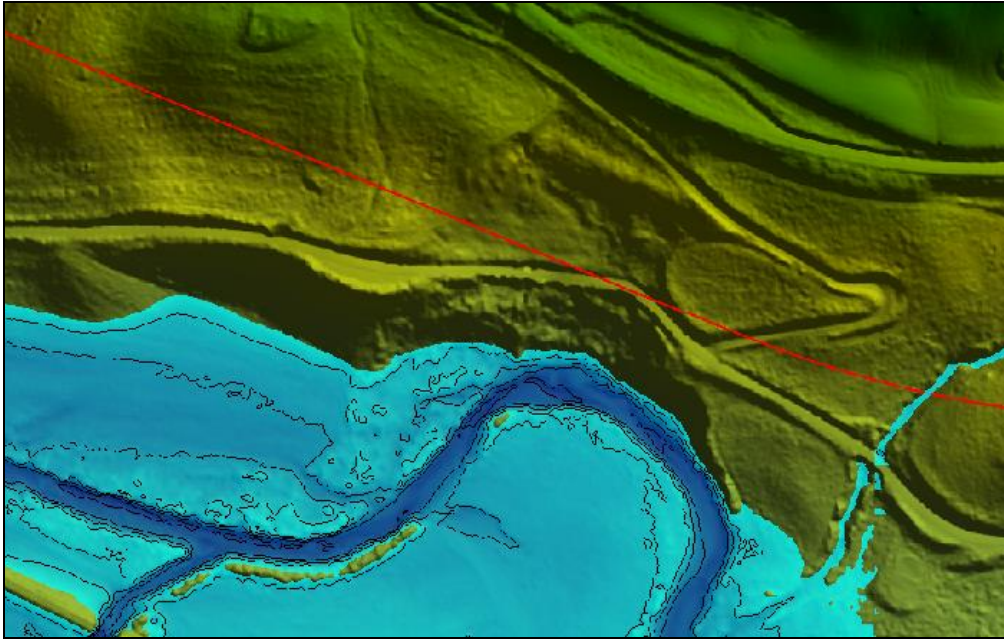
*Aree inondabili Tr=200 anni - Ante Operam*



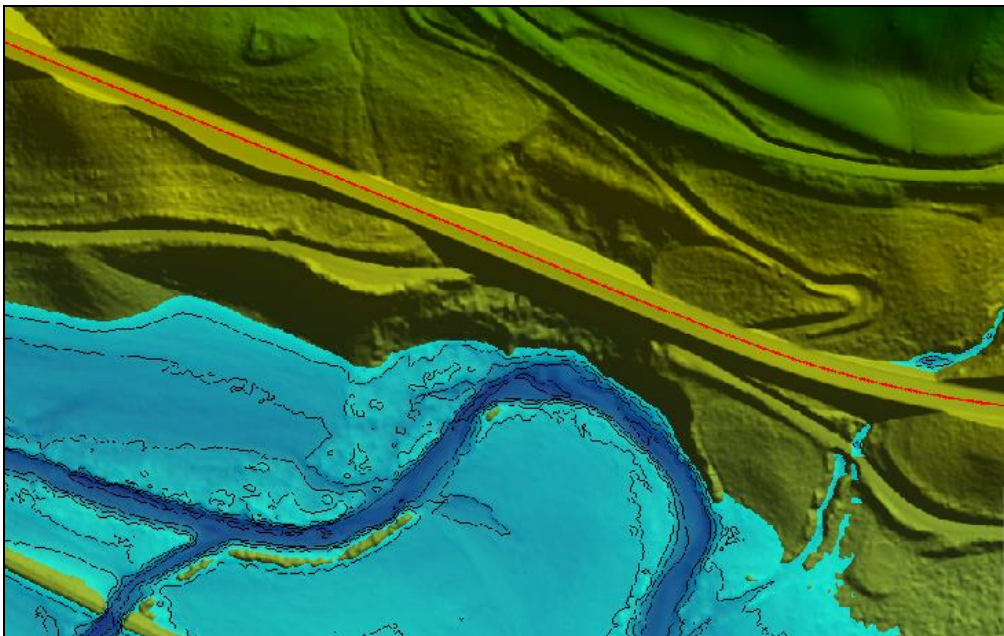
*Aree inondabili Tr=200 anni – Post Operam*



NV20 – tratto da km 1+100 a km 1+300

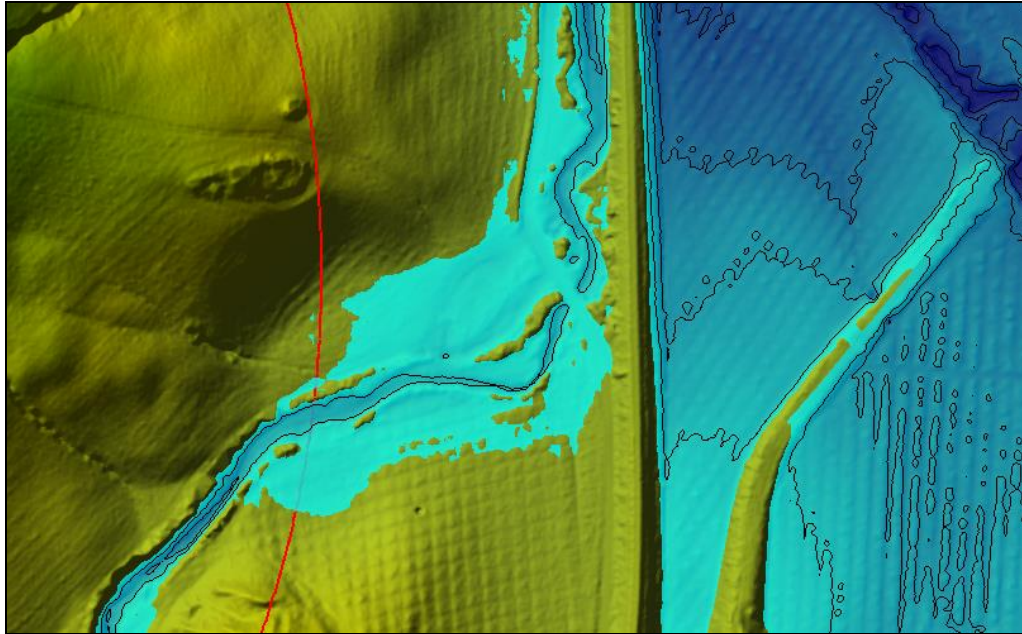


*Aree inondabili Tr=200 anni – Ante Operam*

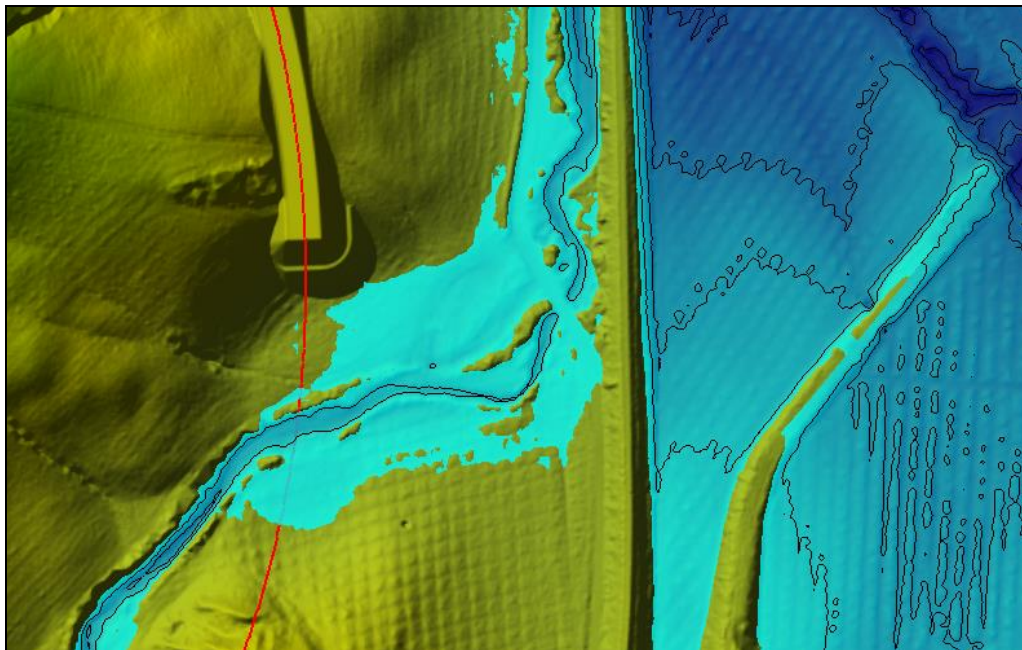


*Aree inondabili Tr=200 anni – Post Operam*

NV20 – tratto da km 1+900 a km 2+100



*Aree inondabili Tr=200 anni – Ante Operam*



*Aree inondabili Tr=200 anni – Post Operam*

- WBS NV21

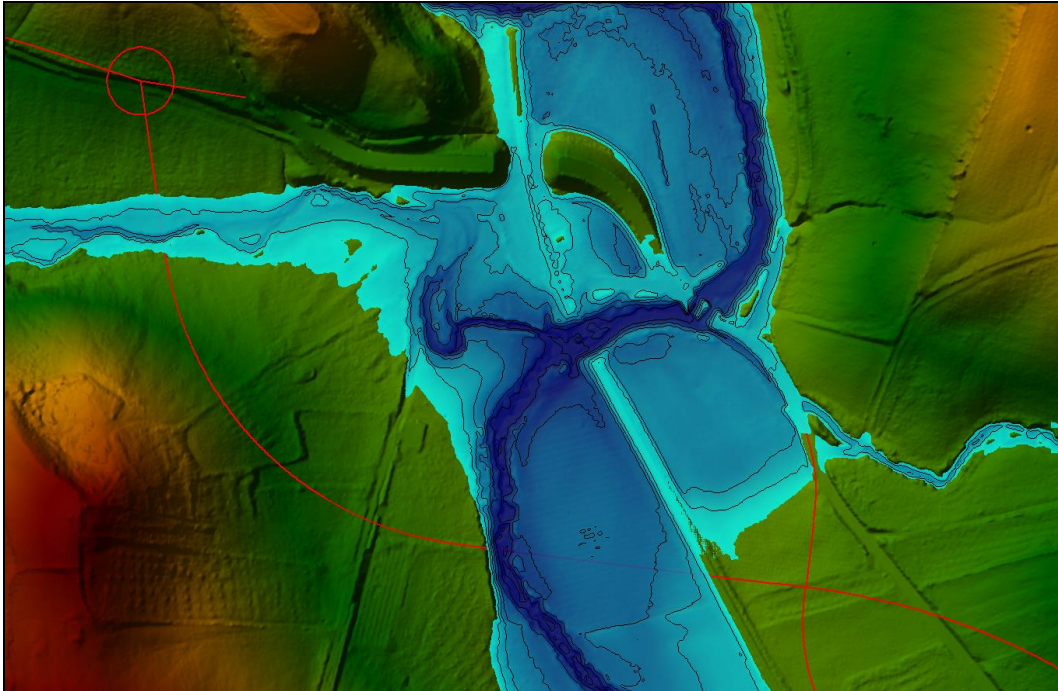
La tavola RS3Z00D26P7NV0003004A rappresenta lo stralci planimetrico con i tiranti idraulici, espressi in m, delle aree di esondazione in situazione AO, similmente la tavole RS3Z00D26P7NV0003008A in condizioni PO. In maniera analoga la tavole RS3Z00D26P7NV000300912A rappresenta lo stralcio planimetrico con i valori delle velocità, espressi in m/s, delle aree di esondazione in situazione AO, allo stesso modo la tavola RS3Z00D26P7NV0003016A in condizioni PO.

Per una visione più dettagliata si rimanda alle tavole sopra elencate, di seguito si evidenziano le zone con stretta o diretta vicinanza della strada alle aree bagnate.

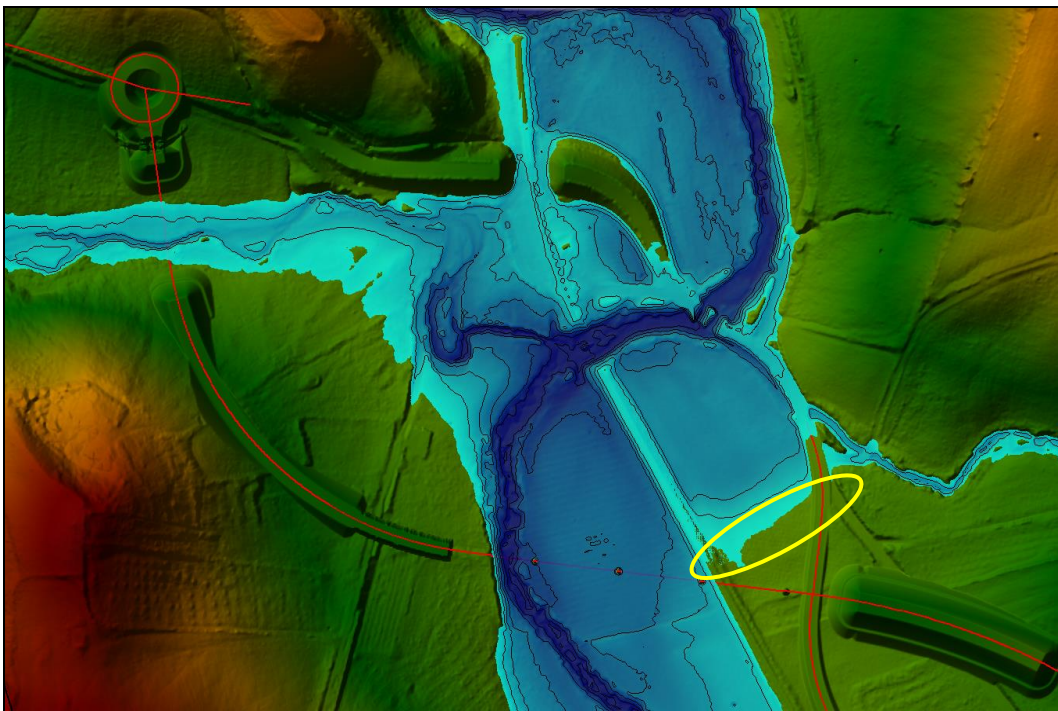
Nella situazione esistente si riconoscono facilmente le rampe del viadotto esistente che scavalca la linea ferroviaria storica; al fine di valutare l'eventuale demolizione della rampa est si è proceduto con una simulazione in cui il DEM del terreno prevede lo spianamento della zone interessata dal rilevato.

La situazione tra l'Ante Operam e il Post Operam anche in questo caso è praticamente invariata dato che gli ingombri delle aree inondabili sono praticamente inalterati.

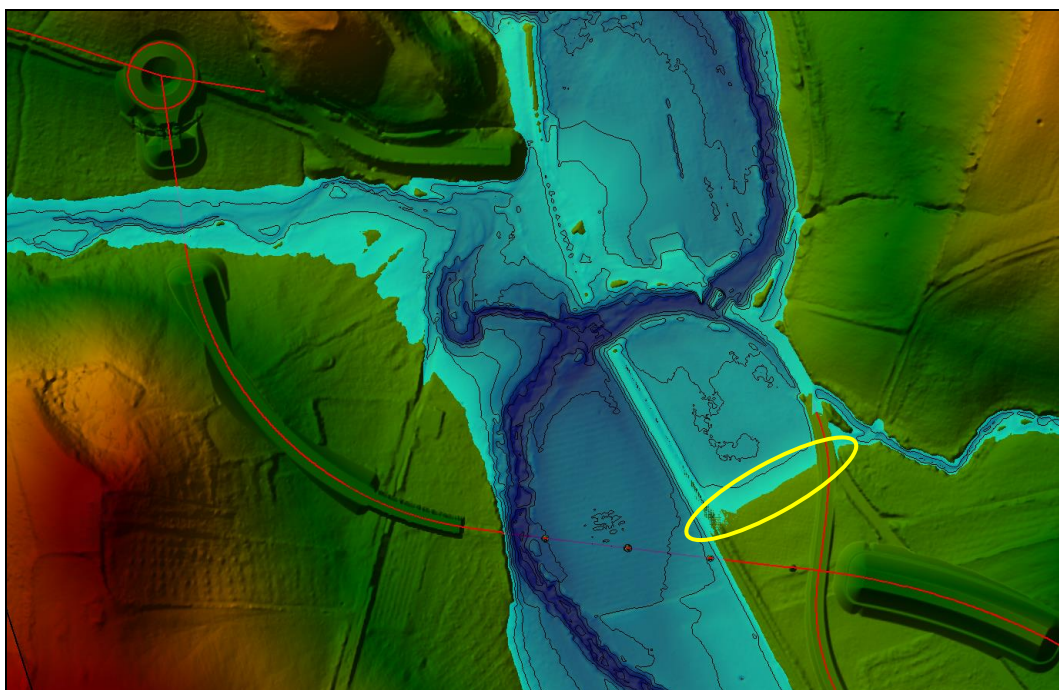
NV21 – tratto da km 0+000 a km 0+600



*Aree inondabili Tr=200 anni – Ante Operam*



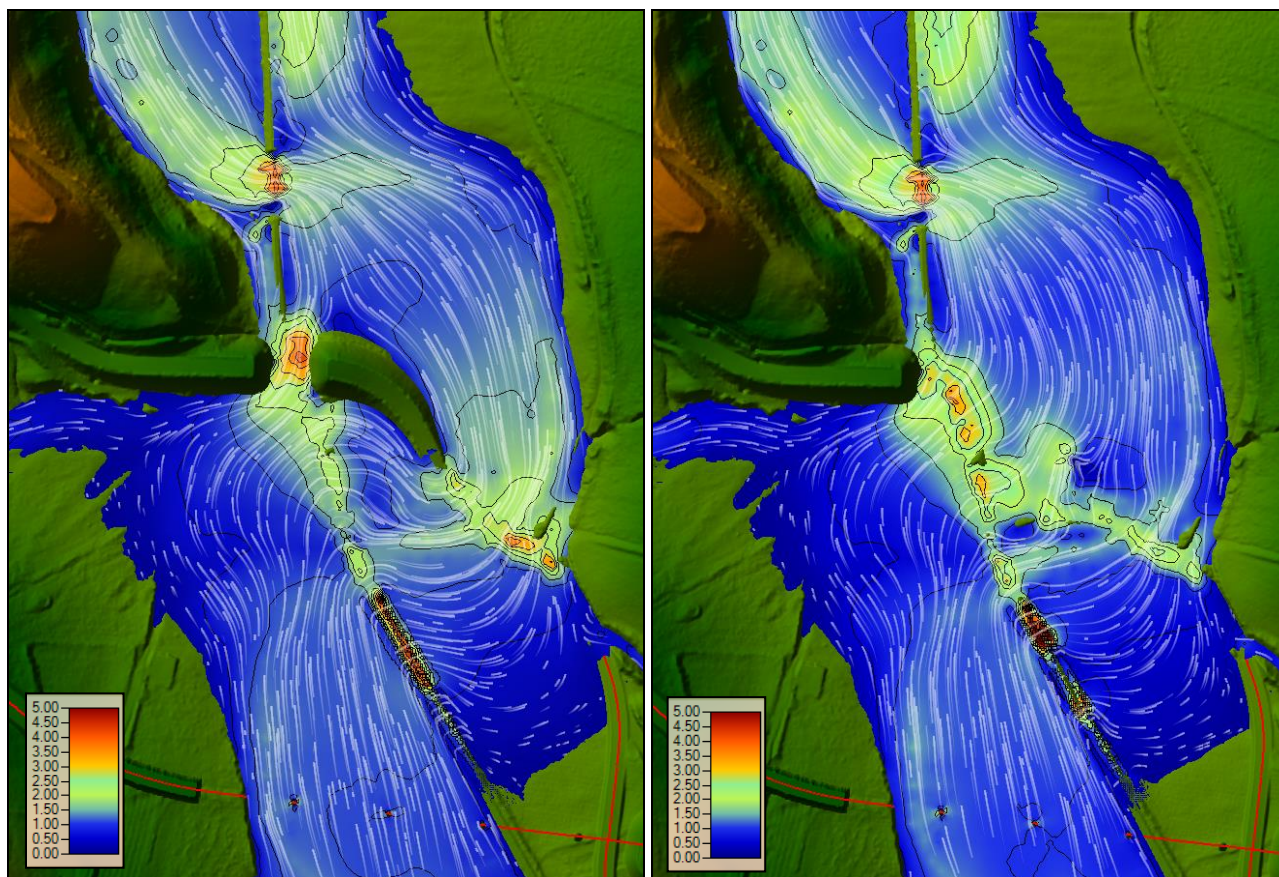
*Aree inondabili Tr=200 anni – Post Operam*



*Aree inondabili Tr=200 anni – Post Operam con demolizione rampa est viadotto esistente*

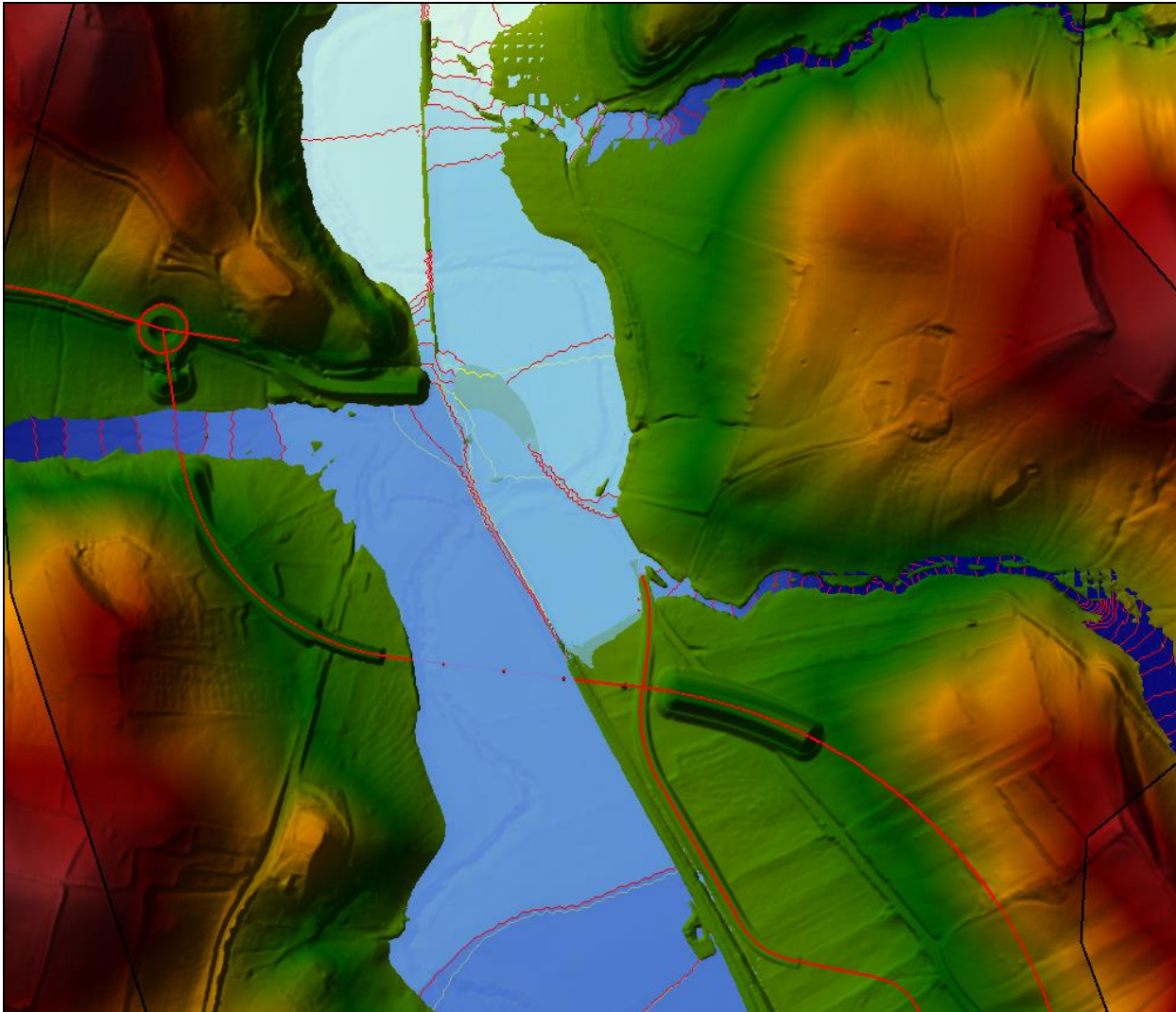
L'analisi visiva delle due simulazioni post operam mostra come la presenza della rampa est del viadotto esistente praticamente non influisca sugli ingombri delle aree allagabili. Si evidenzia in giallo l'unico punto in cui si apprezza una riduzione di superficie inondabile che tuttavia rimane circoscritta localmente su un terreno agricolo.

Nelle immagini seguenti si mettono a confronto gli andamenti delle velocità e le loro direzioni nelle 2 configurazioni ipotizzate nel Post Operam.



*Andamento delle velocità  $Tr=200$  anni – Post Operam con e senza demolizione rampa est viadotto esistente*

Le direzioni dei deflussi evidenziano come la presenza della rampa costringa l'acqua a girare attorno al rilevato costringendola ad avere una permanenza maggiore sulle aree a monte del cavalcaferrovia esistente. Tale fenomeno non è presente nella configurazione con la demolizione; tale differenza è apprezzabile confrontando i livelli assoluti di piena.



*Tr=200 anni – Post Operam – confronto livello assoluto di piena con o senza rampa est*

Nell'immagine precedente sono messi a confronto i per liberi dei livelli piena misurati rispetto al livello del mare.

Le linee rosse indicano le isoipse del livello dell'acqua per la simulazione Post Operam senza demolizione della rampa est; le linee gialle indicano le isoipse del livello dell'acqua per la simulazione Post Operam con la demolizione della rampa est. Si nota come l'andamento dei livelli nell'affluente di destra e di sinistra rimanga inalterato; si valutano discostamenti in corrispondenza dell'area occupata dalla rampa est.

A valle della rampa livelli idraulici si sovrappongono perfettamente per cui l'eliminazione del rilevato esistente non genera ripercussioni a nord dell'attraversamento.

A monte si rileva un leggero scostamento della stessa isoipsa verso monte nel caso della modellazione senza rampa est; il fenomeno è dovuto alla maggior capacità di deflusso nella zona interessata dallo spianamento.

L'eliminazione della rampa ha ridotto il rigurgito verso monte del deflusso dell'acqua, tuttavia tale riduzione è di scarso rilievo in quanto si attesta sui 2 cm.

A seguito di quanto osservato nelle due possibili configurazioni, analizzate gli effetti prodotti sull'evento di piena di progetto è optabile non demolire la rampa est del cavalcaferrovia esistente in quanto si ritiene scarsamente influente al possibile miglioramento del deflusso.