

## S.G.C. E78 GROSSETO - FANO

Tratto Selci Lama (E45) - S. Stefano di Gaifa.  
Adeguamento a 2 corsie del tratto della Variante di Urbania

### PROGETTO DEFINITIVO

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A25111</p> <p><i>Ing. Moreno Panfilì</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. Claudio Müller</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15754</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)</p> <p><b>GPI INGEGNERIA</b> GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p>(Mandante)</p> <p><b>cooprogetti</b> <b>cocoprogetti</b></p> <p>(Mandante)</p> <p><b>engeko</b></p> <p>(Mandante)</p> <p><b>AIM</b> Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p>
<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i></p> <p>Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p>	<p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 2):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> ORDINE INGEGNERI ROMA N° 14035</p>
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Vincenzo Catone</i></p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>		

### STUDI ED INDAGINI

Idrologia e idraulica

Relazione idrologica

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T00ID00IDRRE01_B		
<b>DPAN247</b>	<b>D</b>	<b>22</b>	CODICE ELAB. <b>T00ID00IDRRE01</b>	<b>B</b>	-
D					
C					
B	Rev. Ist.U.0039705 24/01/22 e Ist.U.0057794 01/02/22	Feb. '22	Capponi	Panfilì	Guiducci
A	Emissione	Ottobre '21	Capponi	Panfilì	Guiducci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

<b>1. <u>PREMESSA</u></b> .....	<b>2</b>
<b>2. <u>INQUADRAMENTO IDROGRAFICO</u></b> .....	<b>2</b>
2.1. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO IN RELAZIONE ALL'IDROGRAFIA SUPERFICIALE .....	2
2.2. BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME METAURO.....	2
<b>3. <u>DEFINIZIONE DEGLI AFFLUSSI METEORICI</u></b> .....	<b>3</b>
3.1. REGIONALIZZAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE (CIMA, 2016).....	3
3.2. PROCEDURA VAPI .....	4
3.2.1. <i>Piogge giornaliere</i> .....	6
3.2.2. <i>Precipitazione indice</i> .....	7
3.1. SCELTA DELLE CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICHE DI PROGETTO.....	8
3.2. DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA PER EVENTI DI DURATA INFERIORE ALL'ORA.....	8
3.3. ALTEZZA DI PIOGGIA E COEFFICIENTE DI RIDUZIONE AREALE .....	9
<b>4. <u>INDIVIDUAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI</u></b> .....	<b>9</b>
<b>5. <u>DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO</u></b> .....	<b>10</b>
5.1. FIUME METAURO .....	10
5.2. BACINI IDROGRAFICI MINORI INTERFERENTI CON LE OPERE DI PROGETTO.....	12
5.2.1. <i>Tempo di corrivazione</i> .....	13
5.2.2. <i>Coefficiente di deflusso</i> .....	15
5.2.3. <i>Ietogramma di progetto</i> .....	18
5.2.4. <i>Trasformazione della pioggia efficace in deflusso</i> .....	19
5.2.5. <i>Metodo razionale</i> .....	20
<b>6. <u>RISULTATI DELL'ANALISI IDROLOGICA</u></b> .....	<b>21</b>
6.1. BACINI DEI CORSI D'ACQUA MINORI APPARTENENTI AL RETICOLO IDROGRAFICO REGIONALE... 21	
6.1.1. <i>Bacini A_S1 ("Metauro_3727") e A_S2 ("Metauro_3729")</i> .....	21
6.1.2. <i>Bacini B_S1 ("Fiume Bottrina") e B_S2 ("Metauro_3704")</i> .....	23
6.1.3. <i>Bacino C_S1 ("Metauro_3599")</i> .....	25
6.1.4. <i>Bacini D_S1, D_S2, D_S3, D_I1DX, D_I1SX ("Fosso Isola")</i> .....	27
6.1.5. <i>Bacino F_S1 ("Metauro_3512")</i> .....	29
6.1.6. <i>Bacino G_S1 ("Metauro_3511")</i> .....	31
6.1.7. <i>Bacino H_S1 ("Metauro_3507")</i> .....	33
6.1.1. <i>Bacini afferenti ai fossi di guardia e al sistema di drenaggio della piattaforma stradale</i> .....	34
<b>7. <u>ALLEGATI – SOFTWARE HEC-HMS</u></b> .....	<b>35</b>

## **1. PREMESSA**

La presente relazione idrologica è stata redatta a supporto del contratto applicativo stipulato con Anas S.p.A. per la Progettazione Definitiva dell'intervento "E 78 Grosseto – Fano, Tratto Selci - Lama (E 45) - S. Stefano di Gaifa, Adeguamento a 2 corsie del tratto della variante di Urbania". Pertanto la c.d. Variante di Urbania si inquadra lungo la direttrice della Strada di Grande Comunicazione (S.G.C.) E78 Grosseto-Fano, Tronco Selci Lama - S. Stefano di Gaifa - Lotto 7.

Lo studio è mirato a fornire:

l'inquadramento idrologico del territorio interessato dall'opera e le caratteristiche del reticolo idrografico da questa interferito;

la definizione delle curve di possibilità pluviometrica mediante i più recenti studi di regionalizzazione effettuati dalla fondazione CIMA;

la stima delle portate al colmo di eventi di piena per diversi tempi di ritorno, in corrispondenza delle sezioni di attraversamento ed in generale, di interferenza con il reticolo idrografico necessarie al dimensionamento corretto delle opere di risoluzione idraulica (ponti e tombini);

la definizione delle portate di progetto per il corretto dimensionamento e verifica degli elementi idraulici appartenenti alla rete di drenaggio stradale, interna ed esterna.

## **2. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO**

### **2.1. DESCRIZIONE DEL TRACCIATO IN RELAZIONE ALL'IDROGRAFIA SUPERFICIALE**

Il principale bacino idrografico interessato dall'infrastruttura in studio è quello del Fiume Metauro che il tracciato in studio attraversa prima collegarsi alla S.P. Metaurese n.4 mediante un viadotto su quattro campate di lunghezza complessiva pari a 245 m.

### **2.2. BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME METAURO**

Il Metauro è il principale fiume della regione Marche per lunghezza con 121 km totali di corso ed un'estensione di bacino idrografico pari a 1'325 km<sup>2</sup>.

Origina da un ampio ventaglio di sorgenti e corsi d'acqua (molti caratterizzati da discreti deflussi idrici anche in estate) a Badia Tedalda, fra l'Alpe della Luna, il monte Nerone (1'526 m s.l.m.) e il monte Catria (1'702 m s.l.m.).

Il suo nome (in latino Metaurus o Mataurus) deriva dalla semplice fusione per concatenamento dei nomi dei due rami sorgentizi principali che lo originano: i torrenti Meta (che scende dal valico appenninico di Bocca Trabaria, 1'044 m s.l.m.) e Auro (che scende invece dal Monte Maggiore, 1'384 m s.l.m.).

Il Metauro, lungo il suo articolato tratto medio-alto, bagna svariati centri tra i quali Sant'Angelo in Vado, Urbania, Fermignano e Fossombrone dove, presso la selvaggia Forra di San Lazzaro, riceve da sinistra il Candigliano, suo principale tributario, che drena oltre metà dell'intero bacino dello stesso Metauro, fornendogli ben 13,6 m<sup>3</sup>/s di apporto medio, ovvero oltre 2/3 della sua portata media annua. Il Metauro ha un regime marcatamente torrentizio di tipo appenninico, ma con portate minime estive che tuttavia nel medio corso non scendono quasi mai sotto i 2 m<sup>3</sup>/s, grazie ad una certa permeabilità del suo alto bacino.

I massimi valori di portata si registrano in autunno e in primavera con piene che, nel caso di precipitazioni eccezionali, possono sfiorare nel tratto basso valori di 2 200 m<sup>3</sup>/s, causando anche danni notevoli.

PROGETTAZIONE ATI:

A valle di Urbania, alcuni impianti idroelettrici sfruttano le sue acque per la produzione di energia elettrica.

### 3. DEFINIZIONE DEGLI AFFLUSSI METEORICI

La valutazione delle intensità di precipitazione viene svolta con diversi metodi, in funzione dei dati disponibili. In mancanza di serie di dati di pioggia o di portata registrati, in molti casi è possibile utilizzare i cosiddetti “metodi di regionalizzazione”, attraverso i quali è possibile valutare le portate di piena in riferimento a parametri idrologici caratteristici dei bacini in esame.

#### 3.1. REGIONALIZZAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE (CIMA, 2016)

La caratterizzazione pluviometrica di una data zona consiste nella definizione, attraverso analisi statistica, delle cosiddette curve di caso critico o curve di possibilità pluviometrica, le quali forniscono, per un assegnato valore del tempo di ritorno, la relazione tra la durata della pioggia e la relativa altezza di precipitazione (o la relativa intensità di precipitazione). Queste relazioni manifestano un andamento caratteristico, con l'altezza di pioggia che cresce meno che proporzionalmente con l'intervallo di riferimento e con l'intensità che tende a un valore finito elevato quando l'intervallo tende a zero e ad un valore piccolo, ma non nullo, quando l'intervallo diventa molto lungo. Questo andamento può essere rappresentato attraverso varie relazioni, tra cui la più utilizzata è la seguente:

$$h = a \cdot d^n$$

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica (CCP) o linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) associate ai diversi tempi di ritorno, nel presente studio è stato fatto riferimento alla “REGIONALIZZAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE” redatta nel 2016 dalla Fondazione CIMA nell'ambito dello studio “LA MODELLAZIONE E DEFINIZIONE DELLE GRANDEZZE IDROLOGICHE UTILI ALLA PROGETTAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA STRUTTURALE E NON STRUTTURALE DEL RETICOLO IDROGRAFICO PRINCIPALE DELLA REGIONE MARCHE”.

Nello studio è descritta la definizione della regionalizzazione delle precipitazioni intense di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore con diversi tempi di ritorno per il territorio marchigiano condotta a partire dall'analisi statistica delle precipitazioni massime annuali.

L'espressione finale della LSPP, in funzione del tempo di ritorno T [anni] e della durata d [ore], è:

$$H(d,T) = 0.5711 \cdot \left[ 5.0286 \left( -\ln \left( \frac{T-1}{T} \right) \right)^{-0.0524} - 4.1950 \right] \cdot ad^n$$

Con riferimento alla figura seguente, lo studio di regionalizzazione consente di valutare le LSPP per qualsiasi punto di coordinate assegnate della regione Marche. È possibile caricare le mappe di Pioggia indice,  $n$  e  $a$  (allo studio è allegato il file “Mappe\_Pindice\_LSPP.zip” contenente le mappe in formato ESRI grid, lat-lon WGS84-EPGS 4326 per i parametri  $a$ ,  $n$  e *pioggia indice*) in un qualunque software GIS. Dopo aver caricato in ambiente GIS le mappe è sufficiente interrogarle per ricavare i parametri  $a$  e  $n$  della linea segnalatrice di possibilità pluviometrica nel punto di interesse; successivamente, utilizzando tali valori e la formula sopra riportata, è possibile ricavare l'altezza di precipitazione per assegnato tempo di ritorno e assegnata durata.

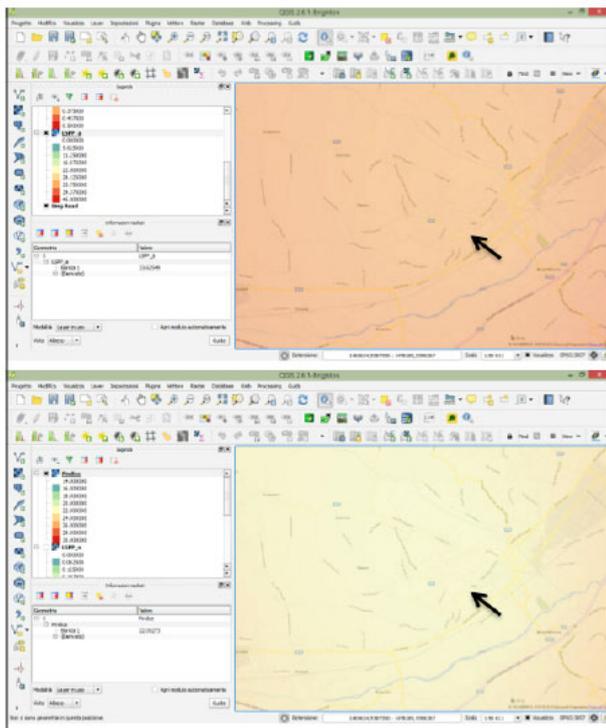
Nel caso in esame,  **$a = 36.296$  e  $n = 0.33286$** .

Se ne ricavano le seguenti altezze di pioggia orarie per alcuni tempi di ritorno significativi:

**TR = 25 anni:  $h = 36.3$  mm;**

**TR = 50 anni:  $h = 40.9$  mm;**

**TR = 200 anni:  $h = 50.6$  mm.**



$$a = 33.6 [-]$$

$$n = 0.32 [-]$$

$$P_{indice} = 22 [mm]$$

$$h(d,T) = 0.5711 \cdot \left[ 5.0286 \left( -\ln \left( \frac{T-1}{T} \right) \right)^{-0.0524} - 4.1950 \right] \cdot a \cdot d^n$$

$$h(3,20) = 0.5711 \cdot \left[ 5.0286 \left( -\ln \left( \frac{20-1}{20} \right) \right)^{-0.0524} - 4.1950 \right] \cdot 33.6 \cdot 3^{0.32} = 46 [mm]$$

Esempio di applicazione della procedura per la definizione delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSP) in un sito non strumentato qualsiasi della regione Marche

### 3.2. PROCEDURA VAPI

Per la stima delle altezze massime di precipitazione di durata  $d$  per un fissato tempo di ritorno  $T$  è stato fatto riferimento ai risultati del Progetto VAPI, uno studio di regionalizzazione delle portate di piena per i corsi d'acqua italiani, basato su tecniche di analisi statistica su base regionale dell'informazione idropluviometrica raccolta dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN). La metodologia adottata nel Progetto VAPI fa riferimento ad un approccio di tipo probabilistico per la valutazione dei massimi annuali della grandezza idrologica di interesse (altezze di pioggia di durata  $d$ ,  $h(d)$ ) e, in particolare, indicando con  $X$  il massimo annuale di tale grandezza e con  $X_T$  il valore massimo di  $X$  corrispondente ad un prefissato tempo di ritorno  $T$  in anni, si pone:

$$X_T = K_T m(X) \quad (1)$$

dove:

$K_T$  fattore probabilistico di crescita del modello probabilistico;  
 $m(X)$  media della distribuzione dei massimi annuali della variabile  $X$ .

All'interno del Progetto VAPI, per le zone di interesse, è stato considerato il modello probabilistico a doppia componente Two Component Extreme Value (TCEV) (Rossi et al., 1984) che interpreta gli eventi massimi annuali come combinazione di due popolazioni distinte: la prima che corrisponde agli eventi massimi ordinari (più frequenti ma meno intensi) e la seconda agli eventi massimi straordinari (meno frequenti ma più intensi). Formalmente si traduce in una funzione di probabilità data dal prodotto di due funzioni di probabilità distinte di tipo Gumbel: la prima denominata "componente base" e la seconda "componente straordinaria".

La distribuzione di probabilità può essere espressa nella forma:

$$P(K_T) = \exp \left[ -\Lambda_1 \exp(-K_T \beta) - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} \exp \left( -\frac{K_T}{\Theta_*} \beta \right) \right] \quad (1)$$

dove  $\lambda_1$ ,  $\lambda^*$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta^*$  e  $\beta$  sono parametri della distribuzione e  $K_T$  rappresenta il coefficiente di crescita, dato da:

$$K_T = \frac{h_d}{m_{hd}} \quad (2)$$

con:

- $h_d$  massima altezza di pioggia giornaliera;
- $m_{hd}$  valore medio delle massime altezze di pioggia giornaliera.

L'equazione (1) non è esplicitabile in forma esatta, ma può essere invertita in forma approssimata, per cui, fissato un valore del periodo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita,  $K_T$ .

Per la stima dei parametri del modello probabilistico è stata applicata una procedura di regionalizzazione gerarchica, in cui i diversi parametri vengono valutati a scale regionali differenti, in funzione dell'ordine statistico del parametro stesso.

La tecnica di regionalizzazione si basa quindi sull'individuazione di zone geografiche, a diversa scala, all'interno delle quali si possano ritenere costanti determinati parametri statistici della distribuzione.

Per quanto riguarda le precipitazioni, usualmente si cerca di identificare delle aree pluviometricamente omogenee, in ognuna delle quali valga un'unica legge di probabilità pluviometrica di variazione del massimo annuale di precipitazione con la durata e con altri parametri del bacino (ad es. la quota, la distanza dal mare, ...).

Per il modello TCEV sono stati adottati tre differenti livelli di regionalizzazione:

- al primo livello si individuano le zone che possono essere assunte omogenee rispetto al coefficiente d'asimmetria della distribuzione di probabilità a partire dalle serie storiche disponibili in regioni geografiche anche molto vaste: in questo modo vengono fissati i parametri  $\theta^*$  e  $\lambda^*$ .
- al secondo livello di regionalizzazione si assume che la regione precedentemente considerata omogenea possa essere suddivisa in sotto-zone, per ciascuna delle quali il coefficiente di variazione della distribuzione di probabilità è costante: in questo modo viene fissato il parametro  $\lambda_1$  e quindi  $\beta$  che è funzione dei primi tre parametri.
- il terzo livello di regionalizzazione consente infine di stimare il valore medio dei massimi annuali di pioggia (pioggia indice) per singole località od aree di piccola estensione.

La formulazione delle procedure per il calcolo delle precipitazioni massime è stata effettuata all'interno del Progetto VAPI previa la suddivisione del territorio italiano in compartimenti.

L'area di interesse (Figura 3-1) ricade interamente nel compartimento Bologna – Pisa - Roma, comprendente l'intera regione Emilia-Romagna e l'intera regione Marche (SIMN Bologna e alcuni bacini idrografici di competenza dell'Ufficio Idrografico del Po di Parma), gran parte della regione Toscana (SIMN Pisa), l'intera regione Umbria e parte della regione Lazio (SIMN Roma). La procedura sviluppata per il compartimento Bologna – Pisa - Roma è riportata nella "Sintesi del rapporto regionale per i compartimenti di Bologna, Pisa Roma e zona emiliana del bacino del Po" (CNR-GNDCI, 2000a).

La modellazione statistica dei dati pluviometrici relativi agli eventi massimi annuali osservati nel territorio del compartimento BO – PI – RO è stata condotta da Brath et al. (1998). Risultati ulteriormente affinati sono raccolti in Brath et al (1999 a) e Brath e Franchini (1999).

La rete pluviometrica di riferimento, su cui sono sviluppate tutte le analisi statistiche, risulta composta da 1556 stazioni di misura con numerosità variabile da 1 a 72 anni, per 540 delle quali sono disponibili anche le osservazioni relative ai massimi annuali delle altezze di pioggia di durata inferiore al giorno, con numerosità variabile da 1 a 62 anni. L'analisi statistica è stata condotta sulle stazioni con almeno 30 anni di osservazione, individuando così 792 stazioni di misura della precipitazione giornaliera (numerosità media campionaria 48 anni) e 240 delle piogge di durata 1-24 ore (numerosità media campionaria di 43 anni); sono state quindi condotte due differenti analisi: una per le piogge giornaliere e una per le piogge brevi (1-24 ore).

PROGETTAZIONE ATI:

### 3.2.1. PIOGGE GIORNALIERE

L'analisi individua sette zone omogenee nei confronti delle precipitazioni intense (Figura 3-1). Per ogni zona sono stati individuati i parametri relativi ai primi due livelli di regionalizzazione (Tabella 1) da cui deriva la legge di variazione del coefficiente probabilistico di crescita,  $K_T$ , con il tempo di ritorno (

Tabella 2).

L'area di interesse ricade all'interno della sottozona C.

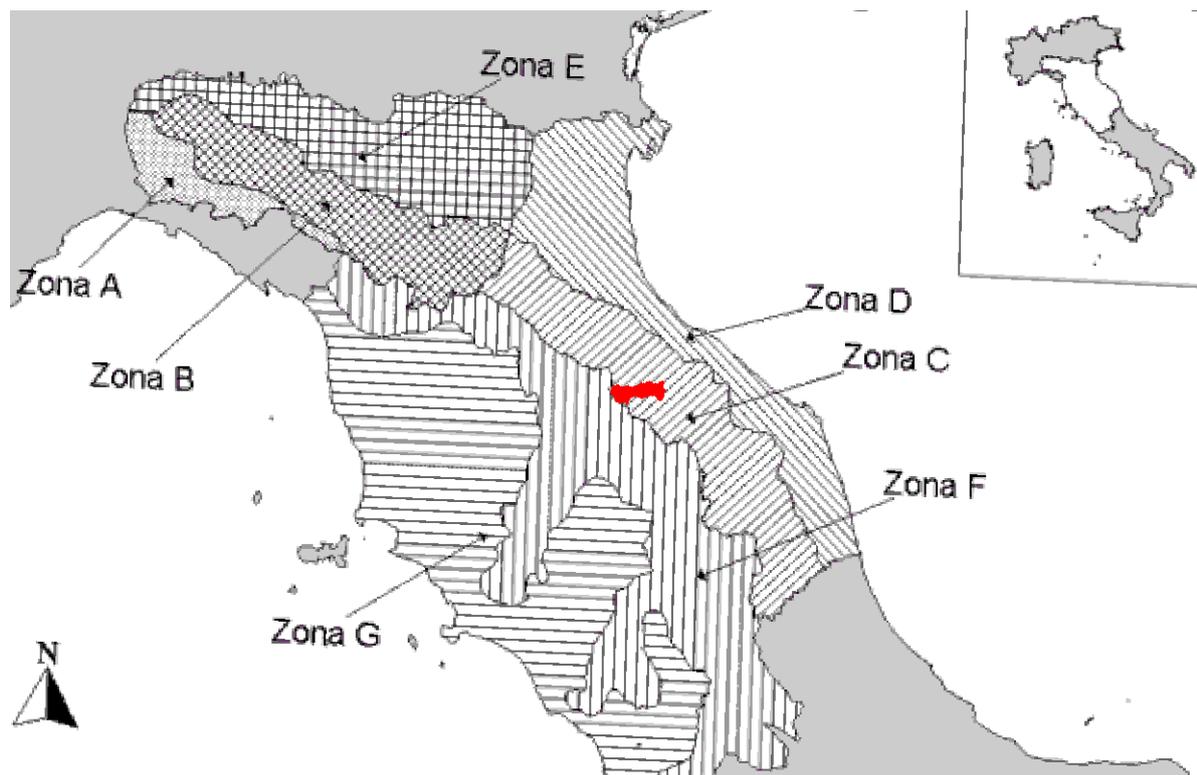


Figura 3-1: Suddivisione del Compartimento Bologna-Pisa-Roma in sottozone omogenee con indicazione dell'area di interesse.

Tabella 1: Parametri della distrib. di prob. dei massimi annuali delle piogge giornaliere nelle sette sottozone omogenee.

	$\Lambda^*$	$\Theta^*$	$\Lambda_1$	$\square$
A	0,109	2,361	24,70	4,001
B	1,528	1,558	39,20	5,335
C	1,520	1,558	25,70	4,913
D	0,361	2,363	29,00	4,634
E	0,044	3,607	30,45	4,135
F	0,144	2,402	33,03	4,321
G	0,221	3,322	30,78	4,628

PROGETTAZIONE ATI:

Tabella 2: Valori del coefficiente probabilistico di crescita,  $K_T$ , per le piogge giornaliere nelle sette sottozone omogenee.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
SZO A	0,93	1,24	1,46	1,70	1,78	1,95	2,04	2,34	2,68	3,18	3,57
SZO B	1,01	1,30	1,51	1,71	1,77	1,90	1,97	2,17	2,37	2,63	2,83
SZO C	1,01	1,33	1,55	1,77	1,84	1,98	2,05	2,27	2,48	2,77	2,99
SZO D	0,87	1,19	1,44	1,72	1,82	2,02	2,13	2,45	2,79	3,23	3,57
SZO E	0,93	1,22	1,43	1,64	1,72	1,89	1,98	2,32	2,78	3,53	4,13
SZO F	0,93	1,23	1,43	1,65	1,72	1,87	1,95	2,20	2,47	2,86	3,17
SZO G	0,88	1,22	1,50	1,87	2,01	2,32	2,47	2,96	3,46	4,12	4,61

Nelle pratiche approssimazioni, è possibile anche fare riferimento ad una espressione semplificata del tipo:

$$K_T = \left( \frac{\theta \cdot \text{Ln} \Lambda^*}{\mu} + \frac{\text{Ln} \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta_s}{\eta} \text{Ln} T \quad (4)$$

che, sostituendo gli opportuni valori dei parametri, conduce alle seguenti espressioni approssimanti, il cui uso comporta comunque per periodi di ritorno superiori a 50 anni errori sempre inferiori al 10%:

- SZO A:  $K_T = -0.5064 + 0.590 \text{ Ln } T$   
 SZO B:  $K_T = 0.8115 + 0.292 \text{ Ln } T$   
 SZO C:  $K_T = 0.7952 + 0.317 \text{ Ln } T$  ← formula approssimante per la sottozona di riferimento  
 SZO D:  $K_T = 0.2071 + 0.510 \text{ Ln } T$   
 SZO E:  $K_T = -1.8986 + 0.872 \text{ Ln } T$   
 SZO F:  $K_T = -0.1064 + 0.473 \text{ Ln } T$   
 SZO G:  $K_T = 0.3431 + 0.718 \text{ Ln } T$

### 3.2.2. PRECIPITAZIONE INDICE

La grandezza indice è stata valutata come il valore medio,  $m_d$ , delle altezze puntuali di precipitazione massime annue di durata  $d$  attraverso una formulazione analoga alla curva di possibilità climatica:

$$m_d = m_1 \cdot d^n \quad (5a)$$

$$n = \frac{\text{ln } m_g - \text{ln } m_1 - \text{ln } r}{\text{ln } 24} \quad (5b)$$

dove:

- $m_1$  media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione in 1 ora;  
 $m_g$  media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera;  
 $r = \frac{m_g}{m_{24}}$  parametro valutato pari a 0,89. (6)

In definitiva la stima di  $m_d$  nel generico punto di interesse si riconduce a quella di  $m_g$  e  $m_1$ , che può essere effettuata sulla base delle carte ad isolinee in formato vettoriale, rappresentate in Figura 3-2. La stima dell'altezza di precipitazione puntuale di durata  $d$  e tempo di ritorno  $T$  si ottiene moltiplicando il fattore di crescita opportuno, per la precipitazione indice deducibile tramite la (5a).

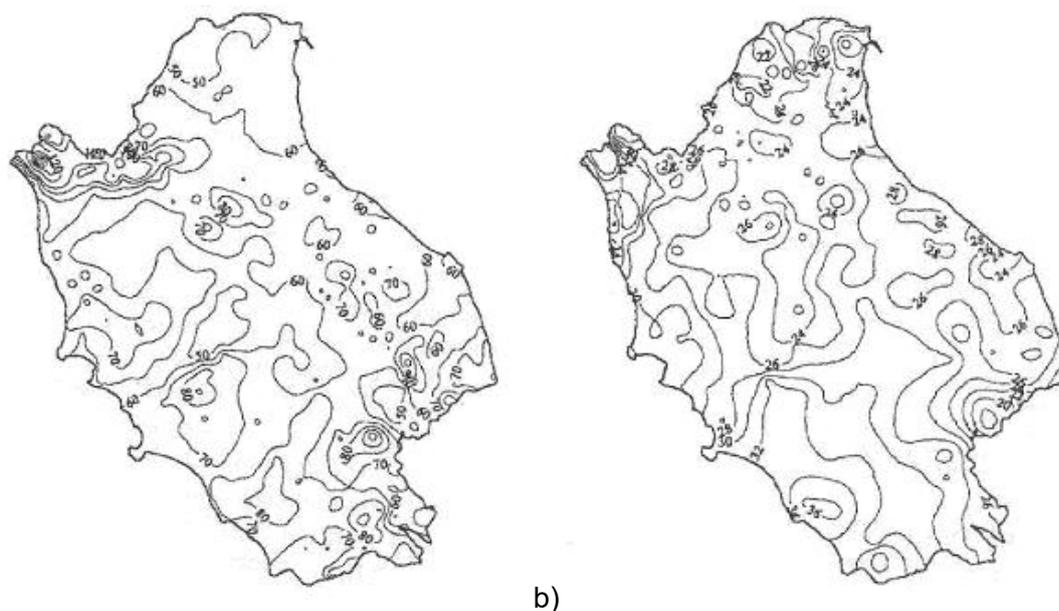


Figura 3-2: Mappa delle isolinee relative al parametro  $m_g$  (a) e al parametro  $m_1$  (b).

Nel caso in esame,  $m_1 = 26.567$  e  $m_g = 60.843$ .

Se ne ricavano le seguenti altezze di pioggia orarie per alcuni tempi di ritorno significativi:

TR = 25 anni:  $h = 48.2$  mm;  
TR = 50 anni:  $h = 54.1$  mm;  
TR = 200 anni:  $h = 65.7$  mm.

### 3.1. SCELTA DELLE CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICHE DI PROGETTO

Le curve di possibilità pluviometrica scelte sono quelle determinate nello studio CIMA (2016) in quanto più recenti e relative ad un contesto territoriale più circoscritto rispetto a quello del VAPI (2000).

### 3.2. DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA PER EVENTI DI DURATA INFERIORE ALL'ORA

In bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di concentrazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni che interessano sono le piogge intense di durata breve con tempi inferiori all'ora. Tale aspetto assume una notevole importanza nel dimensionamento del drenaggio di piattaforma. L'utilizzo della legge valida per durate maggiori dell'ora risulta spesso troppo cautelativa e poco rappresentativa.

In assenza di dati sistematici relativi ai massimi annuali di durata inferiore all'ora, quindi nell'impossibilità di procedere agli stessi metodi di regionalizzazione sopra descritti, si è scelto di ricavare le massime altezze di pioggia di durata inferiore all'ora a partire dal dato disponibile delle altezze massime di durata oraria prendendo a riferimento studi effettuati in altre località italiane. È noto infatti da letteratura [Bell, 1969] che i rapporti  $r_\delta$  tra le altezze di durata  $\delta$  molto breve e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località. A partire dalla massima pioggia di durata oraria, si ricavano le corrispondenti altezze di pioggia di durata pari a frazioni di ora mediante l'utilizzo di un opportuno coefficiente correttivo, denominato nel seguito  $r_\delta$ . Tale coefficiente può essere assunto sulla base delle indicazioni disponibili in letteratura tecnica e supportate da ricerche svolte su alcune stazioni di misura italiane appartenenti ad aree pluviometriche con diverse caratteristiche,

PROGETTAZIONE ATI:

in particolare i pluviografi di Milano Monviso e Roma Macao (vedi “Sistemi di fognatura Manuale di progettazione” del Centro Studi Deflussi Urbani).

**Tabella 3: Coefficienti riduttivi pluviografo di Roma Macao (Calenda et al., 1993)**

Durata (min)	5	10	15	20	25	30
rδ	0.278	0.435	0.537	0.632	0.709	0.758

**Tabella 4: Coefficienti riduttivi pluviografo di Milano Monviso (Piga et al., 1990)**

Durata (min)	5	10	15	30
rδ	0.322	0.489	0.601	0.811

Nel caso oggetto della presente relazione per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica, per tempi inferiori ad un’ora, è stata utilizzata la formula di Bell (Generalized Rainfall Duration Frequency Relationship” – Journal of the Hydraulics Division – Proceedings of American Society of Civil Engineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969).

Bell ha osservato che i rapporti rδ tra le altezze di durata τ molto breve ed inferiori alle due ore e l’altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano. In relazione alla modesta variazione dei rapporti di intensità durata correlata al tempo di ritorno, ha proposto la seguente relazione che ben si adatta ai dati osservati dove il rapporto tra l’altezza di pioggia h, con t minore di 60 minuti, e l’altezza di pioggia h di durata 60 minuti, a parità di tempo di ritorno T, è dipendente solo dalla durata t espressa in minuti:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = f(t)$$

Avendo indicato con f un simbolo funzionale.

Studi successivi hanno dimostrato che il legame funzionale può essere espresso nella semplice forma:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = 0.54 \cdot t^{0.25} - 0.50$$

In cui t è la durata dell’evento meteorico di durata inferiore all’ora, espressa in minuti.

### 3.3. ALTEZZA DI PIOGGIA E COEFFICIENTE DI RIDUZIONE AREALE

È comune esperienza che le piogge di elevata intensità si concentrino in aree piccole, e che, a parità di durata e a parità di tempo di ritorno, l’altezza di precipitazione decresca al crescere dell’area. Tuttavia, stanti le modeste estensioni areali dei bacini in esame (ad eccezione del bacino idrografico del F. Metauro), cautelativamente, non è stato applicato alcun coefficiente di riduzione areale.

## 4. INDIVIDUAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI

Per la determinazione delle portate di progetto sono stati inizialmente individuati i bacini afferenti alla nuova infrastruttura di progetto in corrispondenza dei punti di intersezione tra quest’ultima ed i corsi d’acqua ad essa interferenti (si vedano elaborati T00.ID.00.IDR.CO.01 “Corografia dei bacini maggiori” e T00.ID.00.IDR.CO.02 “Corografia dei bacini minori – sottobacini e interbacini”).

I dati utilizzati per la definizione dei sottobacini e delle loro caratteristiche vengono di seguito elencati:

modello digitale del terreno disponibile nel Sistema Informativo territoriale Regionale della Regione Marche;

carta Tecnica Regionale in scala 1:10000;

tematismo del Curve Number (CN) in formato numerico fornito dalla Regione Marche e predisposto nel 2015 dalla Fondazione CIMA nell'ambito della "definizione, raccolta e sistematizzazione delle informazioni e dei dati necessari per la definizione delle grandezze idrologiche e la modellazione oggetto delle successive attività" di cui alla convenzione "LA MODELLAZIONE E DEFINIZIONE DELLE GRANDEZZE IDROLOGICHE UTILI ALLA PROGETTAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA STRUTTURALE E NON STRUTTURALE DEL RETICOLO IDROGRAFICO PRINCIPALE DELLA REGIONE MARCHE".

Per tutti i bacini oggetto del presente studio sono state determinate, attraverso l'uso di un software Gis Open Source (QGIS), in grado di processare dati territoriali ed eseguirne analisi di tipo spaziale, le distribuzioni rispetto alle superfici dei bacini stessi delle principali caratteristiche morfologiche, fisiche ed idrologiche utili o necessarie allo studio idrologico oggetto del presente elaborato, riportate nei seguenti paragrafi.

## **5. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO**

### **5.1. FIUME METAURO**

La portata di progetto duecentennale relativa al bacino idrografico del F. Metauro con sezione di chiusura posta circa 500 m a valle del viadotto "Metauro 3" di progetto (vedi Figura 5-1 ed elaborato T00.ID.00.IDR.CO.01 "Corografia dei bacini maggiori") è stata desunta dallo studio "Regionalizzazione delle portate massime annuali al colmo di piena per la stima dei tempi di ritorno delle grandezze idrologiche. Revisione 1.1" predisposto nel 2016 dalla Fondazione CIMA nell'ambito della convenzione "LA MODELLAZIONE E DEFINIZIONE DELLE GRANDEZZE IDROLOGICHE UTILI ALLA PROGETTAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA STRUTTURALE E NON STRUTTURALE DEL RETICOLO IDROGRAFICO PRINCIPALE DELLA REGIONE MARCHE", a cui si rimanda per i dettagli relativi alle procedure adottate.

Lo studio, che descrive le diverse modalità di stima delle portate al colmo duecentennali per bacini di estensione maggiore o minore di 50 km<sup>2</sup>, è corredato da due tematismi in formato raster contenenti rispettivamente:

la mappa della portata al colmo di piena per tempo di ritorno 200 anni;

la mappa delle aree drenate.

La Figura 5-2 mostra un esempio di applicazione del metodo in ambiente GIS con visualizzate la mappa della portata al colmo di piena per tempo di ritorno 200 anni (a) e la mappa delle aree drenate (b) con lo sfondo "Bing Road" (caricabile dal menu di QGIS: Web-> OpenLayers Plugin-> Bing Road). Nel caso del bacino del F. Metauro in esame, avente superficie superiore a 50 km<sup>2</sup>, i tematismi allegati allo studio CIMA forniscono direttamente i risultati necessari.

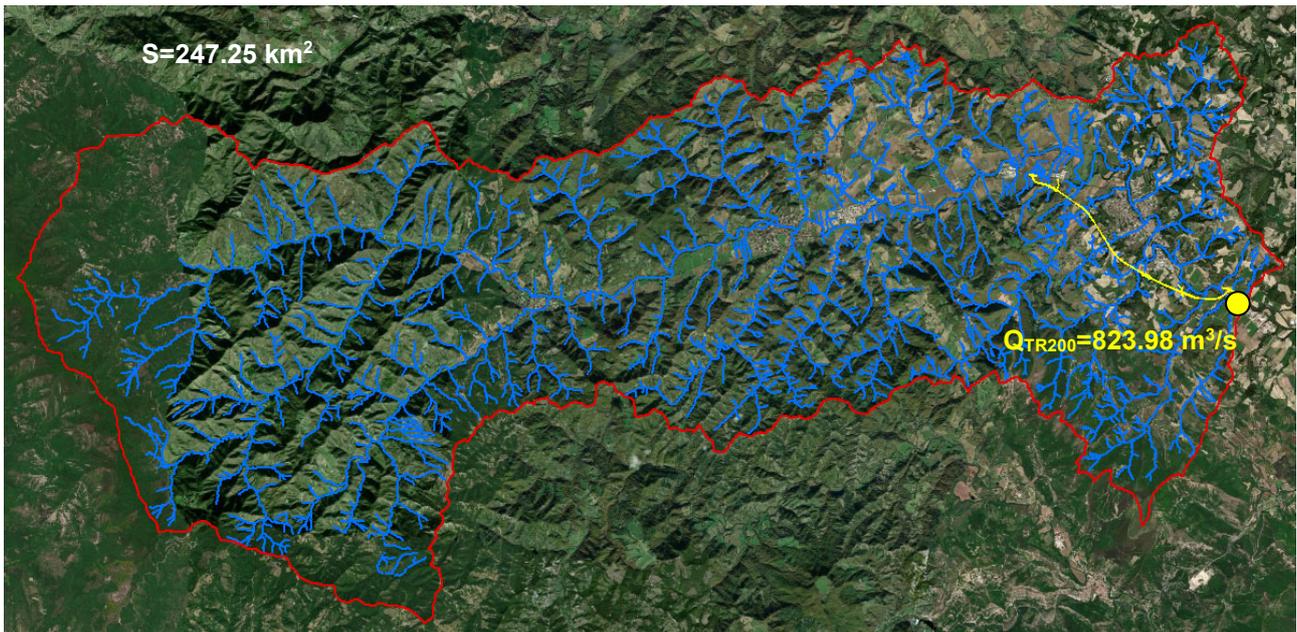


Figura 5-1: Mappa del bacino del Fiume Metauro con sezione di chiusura presso il viadotto di progetto con indicazione, in giallo, del tracciato stradale di progetto e dei valori di superficie e portata duecentennale desunti dallo studio “Regionalizzazione delle portate massime annuali al colmo di piena per la stima dei tempi di ritorno delle grandezze idrologiche.” Rev. 1.1, CIMA Research Foundation, 2016).

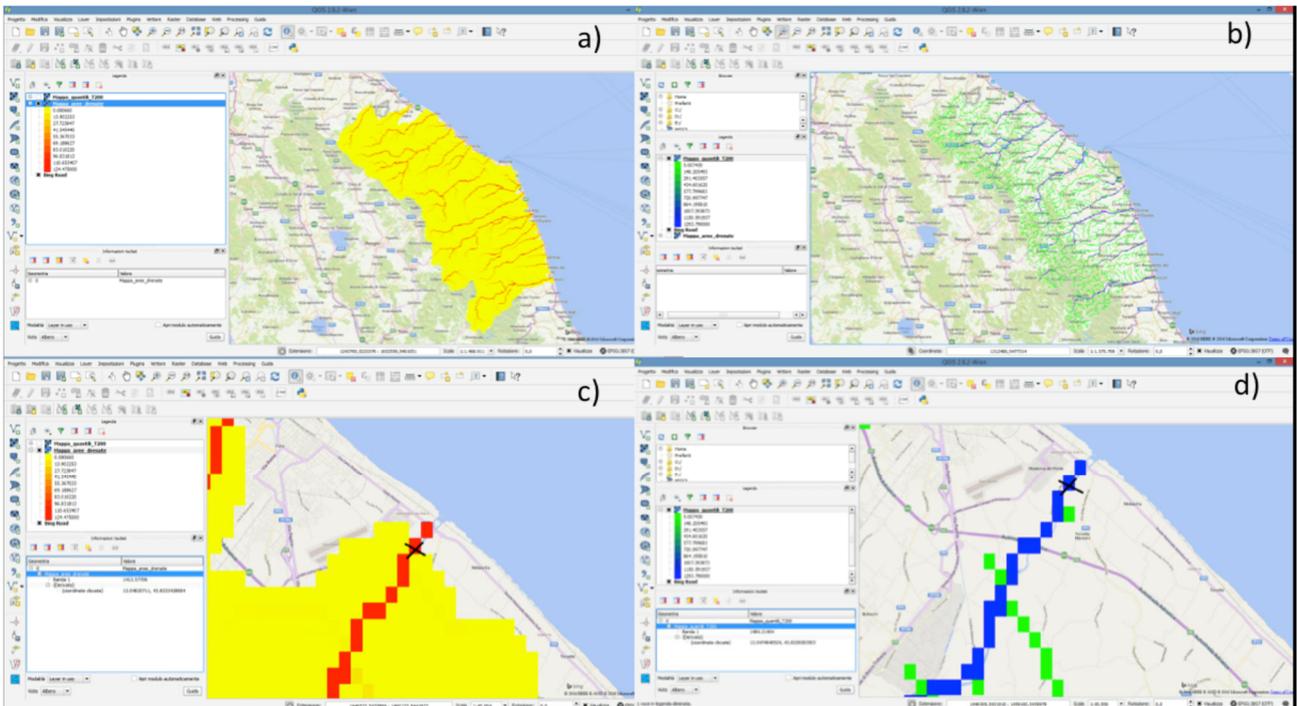


Figura 5-2: esempio di estrazione dei dati dai tematismi dello studio “Regionalizzazione delle portate massime annuali al colmo di piena per la stima dei tempi di ritorno delle grandezze idrologiche.” Rev. 1.1, CIMA Research Foundation, 2016).

PROGETTAZIONE ATI:

## 5.2. BACINI IDROGRAFICI MINORI INTERFERENTI CON LE OPERE DI PROGETTO

La determinazione delle portate di progetto relative ai bacini minori interferenti con il tracciato di progetto 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 (coefficiente di deflusso) 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.

Attualmente esiste un numero elevato di modelli concettuali in grado di simulare il comportamento idrologico del suolo. La pioggia efficace viene determinata attraverso la valutazione del coefficiente di deflusso che può essere ipotizzato costante nel tempo, nei modelli più semplificati come nel metodo razionale, o variabile con il procedere dell'evento meteorico.

Molto utilizzati sono i modelli basati sulla ricostruzione dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH) caratteristico che rappresenta la risposta del bacino ad impulso di precipitazione efficace perfettamente distribuita sull'intera superficie del bacino e avente volume unitario. Una volta definito l'IUH la ricostruzione dell'idrogramma reale avviene discretizzando lo idrogramma in ingresso in impulsi elementari e sommando le risposte ottenute da ciascuno di essi (integrale di convoluzione). Una volta definito il valore dei parametri richiesti dal modello la sua attendibilità viene verificata, quando possibile, attraverso la procedura di taratura.

Nel caso in esame l'impossibilità di procedere con questa procedura, a causa dell'assenza di misurazioni contemporanee pluvioidrometriche che non ha permesso la ricostruzione di eventi di piena reali, ha consigliato di escludere l'utilizzo di quei modelli basati su grandezze non misurabili direttamente o indirettamente e la cui determinazione può avvenire esclusivamente dal confronto delle simulazioni con l'andamento degli eventi reali. Pertanto, si è data preferenza ai modelli cosiddetti "fisicamente basati" che consentono di sfruttare le caratteristiche morfometriche, litologiche e pedologiche del bacino per la determinazione delle grandezze fisiche significative.

Nel presente studio per quanto riguarda la determinazione della pioggia efficace ci si è avvalsi della metodologia proposta dal Soil Conservation Service nota come il metodo del Curve Number.

Per la stima delle portate di progetto nell'ambito del presente studio si è così proceduto:

per i bacini minori ma ricompresi nel reticolo idrografico regionale (scaricabile in formato shapefile dal portale cartografico della Regione Marche al link: <https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica-Genio-Civile/Cartografia-e-informazioni-territoriali/OpenData>), bacini rappresentati in Figura 5-3 e nell'elaborato T00.ID.00.IDR.CO.02 "Corografia dei bacini minori – sottobacini e interbacini", è stato implementato il modello matematico HEC-HMS nella versione 4.2.1 (si veda Allegato 1), 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;

per le aree afferenti ai fossi di guardia dell'infrastruttura in progetto e per quelle relative alla piattaforma stradale si è adottato il metodo razionale.

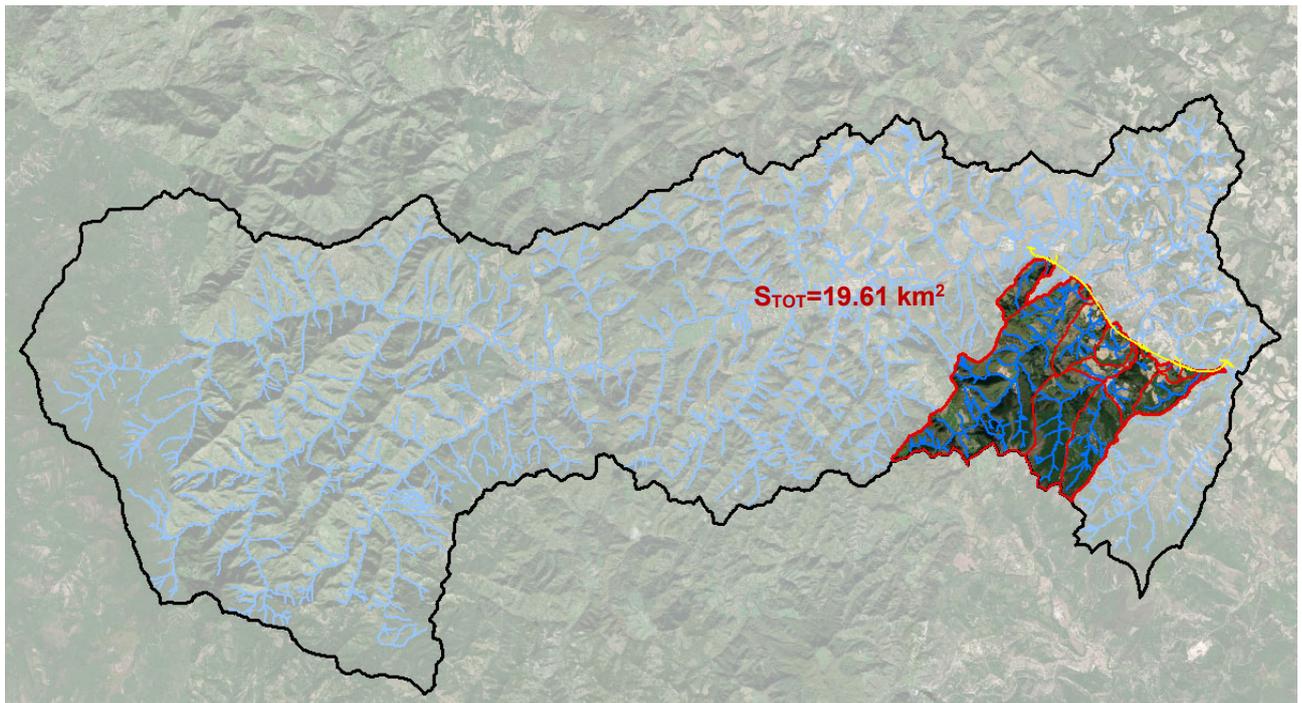


Figura 5-3: Mappa dei sottobacini e interbacini appartenenti al macro-bacino del Fiume Metauro dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico regionale ed interferenti direttamente con l'infrastruttura stradale in progetto

### 5.2.1. TEMPO DI CORRIVAZIONE

Trattandosi di bacini non strumentati, il tempo di corrvazione per ciascun bacino è stato calcolato come valore medio tra quelli ottenuti attraverso l'applicazione delle varie formulazioni disponibili, in base al rispettivo campo di applicabilità dipendente dalle caratteristiche fisiografiche del singolo bacino. Nel presente studio, sono state utilizzate le formulazioni di Kirpich, Viparelli, Pezzoli, Watt & Chow, Chow, NCRS-Lag method, di seguito illustrate:

**Kirpich**, analizzando sei piccoli bacini americani di area compresa tra 0.0051 e 0.433 Km<sup>2</sup>, ha ricavato la seguente relazione, successivamente corretta da Rowe e Thomas:

$$t_c = 0.000325 \left( \frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.77}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale, a partire dallo spartiacque, espressa in metri e  $i_a$  è la sua pendenza.

**Viparelli** calcola il tempo di corrvazione  $t_c$  come il rapporto tra la lunghezza del percorso idraulicamente più lungo che deve seguire la particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura e stabilire una velocità media di trasferimento  $V$  della particella nel suddetto percorso:

$$t_c = \frac{L}{V}$$

PROGETTAZIONE ATI:

e suggerisce di utilizzare valori della velocità  $V$  caratteristica per correnti di piena variabili tra 1 e 1.3 m/s, specie per corsi d'acqua pedemontani.

**Pezzoli** propone invece la seguente espressione del tempo di corrivazione, dedotta da misure su piccoli bacini piemontesi:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_a}}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale espressa in Km e  $i_a$  è la pendenza media (m/m) dell'asta principale.

Una formula analoga è quella di **Watt e Chow**, ottenuta utilizzando dati relativi a 44 bacini canadesi di area compresa tra 0.01 e 5840 Km<sup>2</sup> e caratterizzati da valori della pendenza  $i_a$  variabili tra 0.00121 e 0.0978:

$$t_L = a \left( \frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^b$$

in cui  $t_L$  è espresso in ore,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale espressa in m, e le costanti  $a$  e  $b$  assumono rispettivamente il valore 0.000326 e 0.79.

**Chow** ha proposto anche la stessa formula con i coefficienti  $a=0.00116$  e  $b=0.64$ , studiando venti piccoli bacini americani di superficie variabile tra 0.0012 e 18.5 Km<sup>2</sup>.

la formula del **NCRS – Lag method** propone, per bacini con superficie compresa tra 0.004 e 8.1 km<sup>2</sup>:

$$t_c = \frac{l^{0.8} (S+1)^{0.7}}{0.6 \cdot 1900 \sqrt{i_v}}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $l$  è la lunghezza idraulica del bacino in piedi,  $S$  è la ritenzione potenziale espressa in pollici e  $i_v$  è la pendenza media dei versanti espressa in percentuale.

Infine, la formula di **Puglisi e Zanframundo** modificata da **Fattorelli e Marchi** per bacini con superficie compresa tra 7 e 200 km<sup>2</sup>, propone:

$$t_c = C_p \frac{L^{2/3}}{d^{1/3}}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $d$  è il dislivello dell'asta principale valutato come differenza tra l'altitudine massima del bacino e la quota della sezione di chiusura, espresso in m,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale espressa in km, mentre  $C_p$  è una costante numerica pari a 5.13.

### 5.2.2. COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Il coefficiente di deflusso relativo a ciascun bacino idrografico di interesse è stimato mediante il metodo del Curve Number, proposto dal Soil Conservation Service (1972), il quale 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. Le perdite iniziali  $I_a$  vengono di norma assunte pari ad una frazione di  $S$  come riportato nella seguente formulazione classica:

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

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.

tipo idrologico di suolo (S.C.S/C.N.)	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità d'infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili contenenti considerevoli quantità d'argilla e collioli, anche se meno del gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità d'infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso medio-alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

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.

PROGETTAZIONE ATI:

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

**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)**

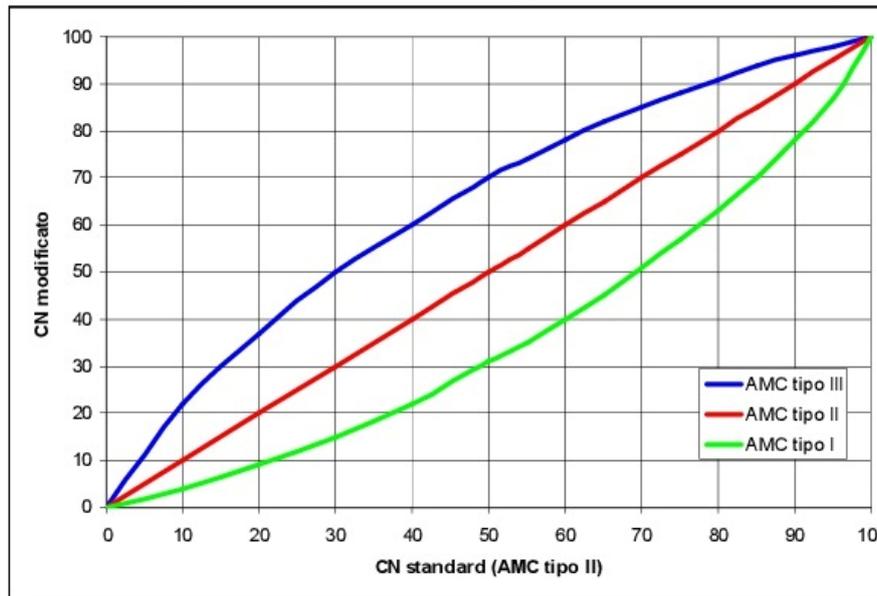
I valori del CN riportati nella tabella precedente si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, precisamente quella intermedia indicata come AMC II (Antecedent Moisture Condition II).

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

**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.



**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:

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

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

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, la stima del parametro CN per le varie porzioni dei bacini in studio si è basata sul tematismo del Curve Number (CN) in formato numerico fornito dalla Regione Marche e predisposto nel 2015 dalla Fondazione CIMA nell'ambito della "definizione, raccolta e sistematizzazione delle informazioni e dei dati necessari per la definizione delle grandezze idrologiche e la modellazione oggetto delle successive attività" di cui alla convenzione "LA MODELLAZIONE E DEFINIZIONE DELLE GRANDEZZE IDROLOGICHE UTILI ALLA PROGETTAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA STRUTTURALE E NON STRUTTURALE DEL RETICOLO IDROGRAFICO PRINCIPALE DELLA REGIONE MARCHE".

PROGETTAZIONE ATI:

Per quello che concerne la stima del rapporto tra le perdite iniziali ed il volume specifico di saturazione  $I_a/S$  (Initial Abstraction ratio), si è utilizzato il classico valore pari a 0.2.

Per tutti i bacini in studio si è supposta, in favore di sicurezza, una condizione iniziale di imbibimento corrispondente a valori di CN (III).

### 5.2.3. IETOGRAMMA DI PROGETTO

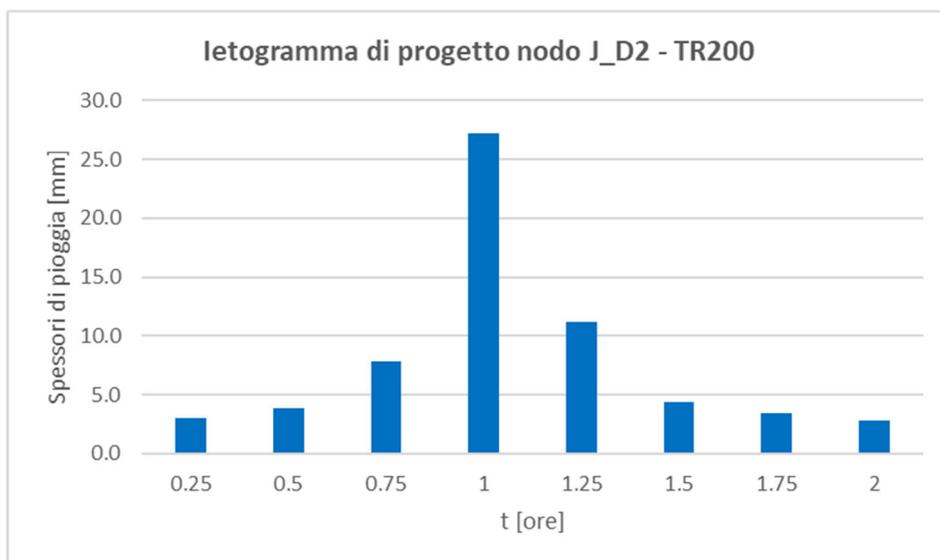
La determinazione dello ietogramma di progetto per un prefissato tempo di ritorno richiede l'individuazione della durata dello ietogramma nonché della distribuzione temporale delle altezze di pioggia stimati dalla corrispondente linea segnalatrice di possibilità pluviometrica.

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. In particolare, per ciascun corso d'acqua interferente con l'infrastruttura di progetto, sono stati adottati i seguenti passaggi in successione:

durata critica del corso d'acqua, in corrispondenza della sezione di chiusura posta immediatamente a monte dell'opera interferita, determinata, mediante simulazioni idrologiche implementate in ambiente HEC-HMS con ietogrammi in ingresso ad intensità costante e di durata variabile, come quella tale da massimizzare il valore della portata al colmo;

individuata la durata critica del corso d'acqua, calcolo della risposta idrologica del bacino in esame, quindi della portata di progetto duecentennale, sollecitato da una forzante meteorica schematizzata con ietogramma a blocchi alternati di durata pari alla durata critica.

Lo ietogramma di progetto è quindi del tipo a blocchi alternati (pluviogramma Chicago discretizzato) con picco centrale (vedi esempio nella figura seguente relativo al nodo J\_D2).



Ietogramma Chicago a blocchi alternati

PROGETTAZIONE ATI:

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 ed un  $\Delta t = 15$  minuti.

Dalla curva di possibilità pluviometrica si ricavano le altezze di pioggia  $h_{t,Tr}$  per ciascuna durata  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t \dots n\Delta t$  (altezze cumulate) ottenute a partire dalle LSPP.

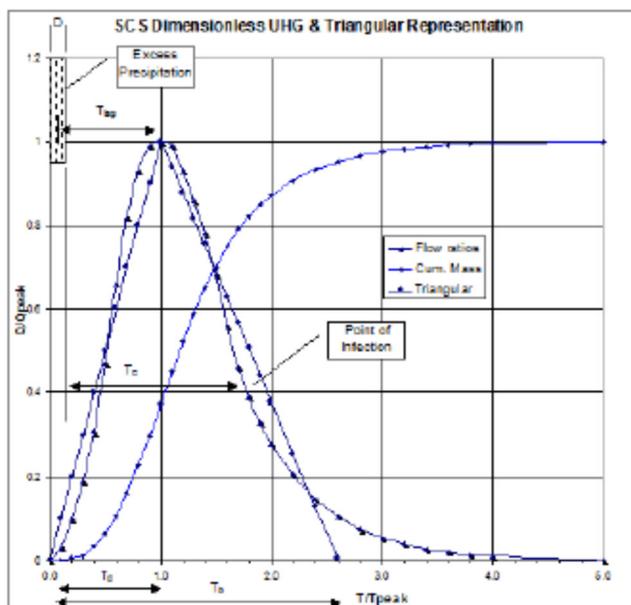
Facendo la differenza tra le altezze di pioggia corrispondenti a due durate successive si ottiene la pioggia incrementale relativa a ciascun intervallo considerato (blocchi). I blocchi così ottenuti vengono poi riordinati in una sequenza temporale con la massima intensità in corrispondenza dell'intervallo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

#### 5.2.4. 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 idrogramma 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 del bacino idrografico 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**

PROGETTAZIONE ATI:

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:

$$U_P = C \frac{A}{t_P}$$

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:

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

In cui

$\Delta t$  = durata della precipitazione efficace

$t_L$  = time lag

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

### 5.2.5. METODO RAZIONALE

Alla base della procedura vi sono le seguenti assunzioni:

la massima piena avviene per precipitazioni meteoriche con durata pari al tempo di corrivazione del bacino;

il picco di piena ha il medesimo tempo di ritorno della precipitazione che lo ha generato;

la formazione delle piene ed il suo trasferimento lungo il reticolo idrografico avviene senza la formazione di invasi significativi; nel caso si formino invasi significativi il colmo di piena calcolato con questa metodologia sarà sovrastimato.

La portata al colmo di piena è espressa dalla formula:

$$Q = \frac{chS}{3,6t_c} (m^3/s)$$

dove:

- c = coefficiente di deflusso del bacino;
- h = altezza massima di pioggia per una durata pari al tempo di corrivazione (mm);
- S = superficie del bacino (km<sup>2</sup>);
- $t_c$  = tempo di corrivazione del bacino (ore).

La procedura si articola nei seguenti passi:

delimitazione del bacino idrografico di interesse su una base cartografica in opportuna scala;

definizione dei parametri morfologici e fisiografici del bacino;

definizione dei tempi di corrivazione in base a diverse formule teorico-sperimentali e attribuzione dei valori di riferimento;

analisi dei dati di copertura per la valutazione del coefficiente di deflusso;

calcolo della portata di massima piena per il tempo di ritorno di progetto in funzione della tipologia dell'opera (tombini, sistema di drenaggio acque meteoriche piattaforma stradale, ecc.)

Nello specifico, come anticipato, il metodo idrologico concettuale implementato con HEC-HMS è stato adottato per la stima delle portate di progetto dei bacini dei corpi idrici minori ricompresi nel reticolo idrografico regionale ed interferenti con l'infrastruttura in progetto, finalizzata al dimensionamento dei relativi tombini.

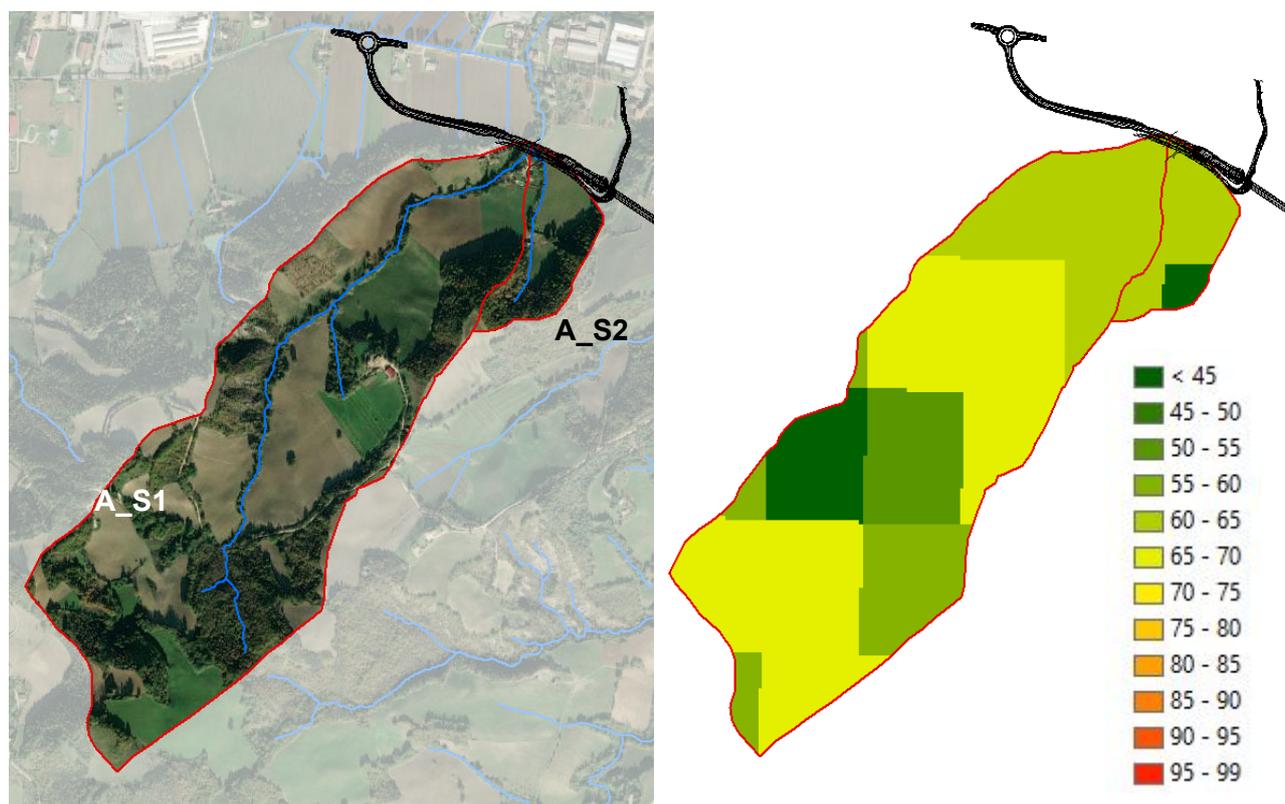
Diversamente, il metodo razionale è stato impiegato per il dimensionamento delle reti di drenaggio delle acque meteoriche della piattaforma stradale, dei fossi di guardia e dei relativi tombini di attraversamento. Si rimanda alle relazioni specifiche per ulteriori dettagli.

## 6. RISULTATI DELL'ANALISI IDROLOGICA

### 6.1. BACINI DEI CORSI D'ACQUA MINORI APPARTENENTI AL RETICOLO IDROGRAFICO REGIONALE

Di seguito si riportano i parametri idrologici e le portate di progetto dei bacini dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico regionale, dei quali si riporta il codice identificativo.

#### 6.1.1. BACINI A\_S1 ("METAURO\_3727") E A\_S2 ("METAURO\_3729")



A sinistra: vista planimetrica dei bacini in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto. A destra: andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse

Parametri caratteristici dei bacini necessari al calcolo del tempo di corrivazione

PROGETTAZIONE ATI:

Bacino	S [Km <sup>2</sup> ]	L [Km]	L <sub>b</sub> [Km]	i <sub>v</sub> [%]	i [%]
<b>A_S1</b>	0.78	1.70	2.13	0.306	0.072
<b>A_S2</b>	0.07	0.42	0.55	0.296	0.155

Valori del tempo di corrivazione per ciascun bacino determinati con vari metodi

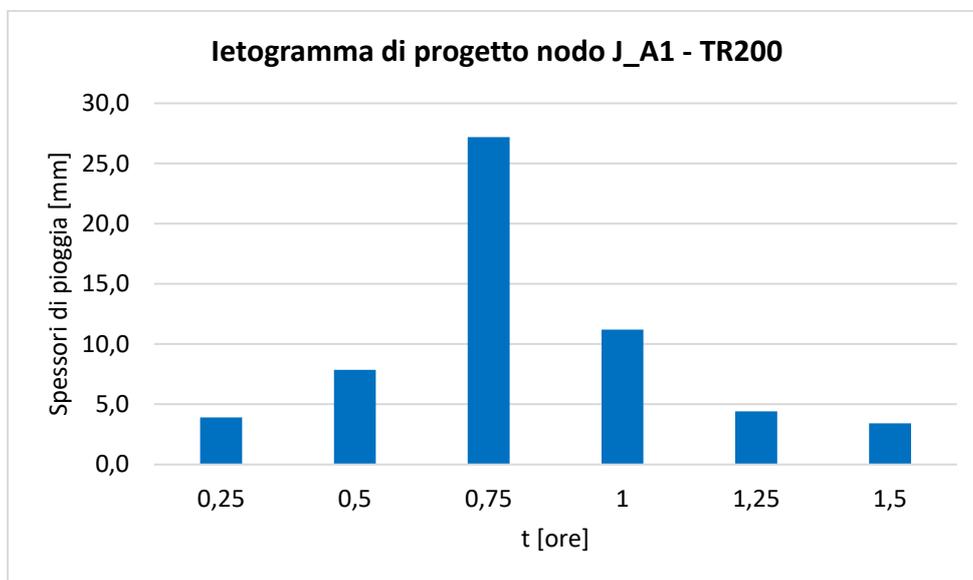
Bacino	Tempo di corrivazione [ore]					Lag=0.6*Tc [min]
	T <sub>c,Kirpich</sub>	T <sub>c,Viparelli</sub>	T <sub>c,Watt&amp;Chow</sub>	T <sub>c,Chow</sub>	T <sub>c,Medio</sub>	
<b>A_S1</b>	-	0.59	0.55	0.52	<b>0.55</b>	20
<b>A_S2</b>	0.09	0.15	0.13	0.17	<b>0.14</b>	5

Valori dei parametri CN-II e CN-III relativi ai bacini in esame

Bacino	CN II	CN III
<b>A_S1</b>	64.04	<b>80.4</b>
<b>A_S2</b>	61.83	<b>78.8</b>

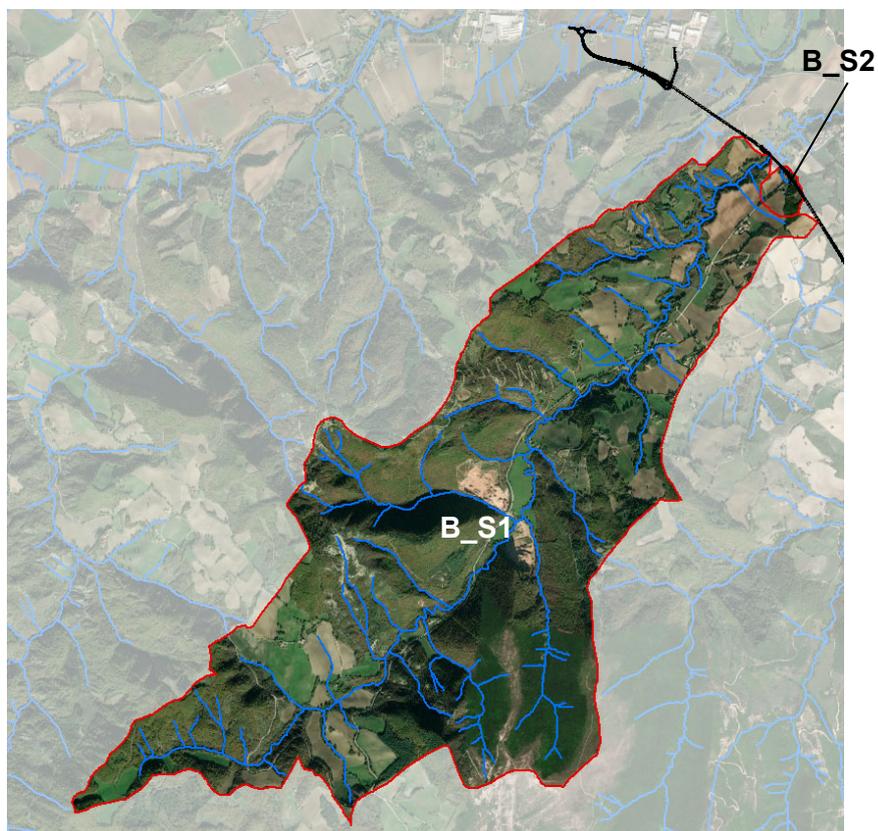
Durate di pioggia critiche per i bacini in esame e relativi valori di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni

Nodo	Durata critica	Q <sub>Picco, TR200</sub> [m <sup>3</sup> /s]
<b>A_S1</b>	1h	5.35
<b>A_S2</b>	45min	0.72
<b>J_A1</b>	1.5h	<b>6.07</b>

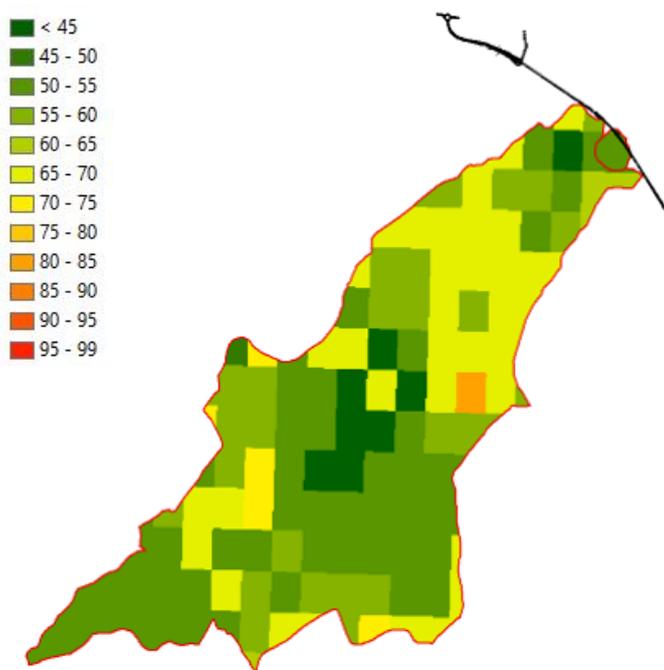


PROGETTAZIONE ATI:

6.1.2. BACINI B\_S1 (“FIUME BOTTRINA”) E B\_S2 (“METAURO\_3704”)



Vista planimetrica dei bacini in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto



Andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse

PROGETTAZIONE ATI:

Parametri caratteristici dei bacini necessari al calcolo del tempo di corrivazione

Bacino	S [Km <sup>2</sup> ]	L [Km]	L <sub>b</sub> [Km]	i <sub>v</sub> [%]	i [%]
<b>B_S1</b>	8.61	7.94	8.43	0.385	0.029
<b>B_S2</b>	0.07	0.20	0.39	0.241	0.111

Valori del tempo di corrivazione per ciascun bacino determinati con vari metodi

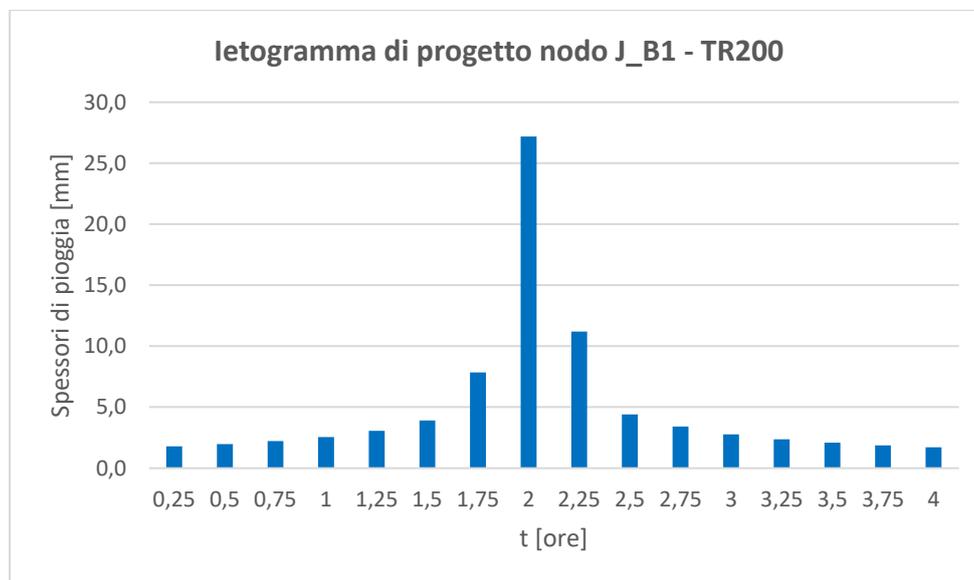
Bacino	Tempo di corrivazione [ore]							Lag=0.6*Tc [min]
	T <sub>c,Kirpich</sub>	T <sub>c,Viparelli</sub>	T <sub>c,Pezzoli</sub>	T <sub>c,Watt&amp;Chow</sub>	T <sub>c,Chow</sub>	T <sub>c,Puglisi mod.</sub>	T <sub>c,Medio</sub>	
<b>B_S1</b>	-	2.34	2.56	2.65	1.88	2.61	<b>2.61</b>	87
<b>B_S2</b>	0.07	0.11	-	0.09	0.12	-	<b>0.10</b>	3

Valori dei parametri CN-II e CN-III per i sottobacini in esame

Bacino	CN II	CN III
<b>B_S1</b>	60.16	<b>77.6</b>
<b>B_S2</b>	55.04	<b>73.8</b>

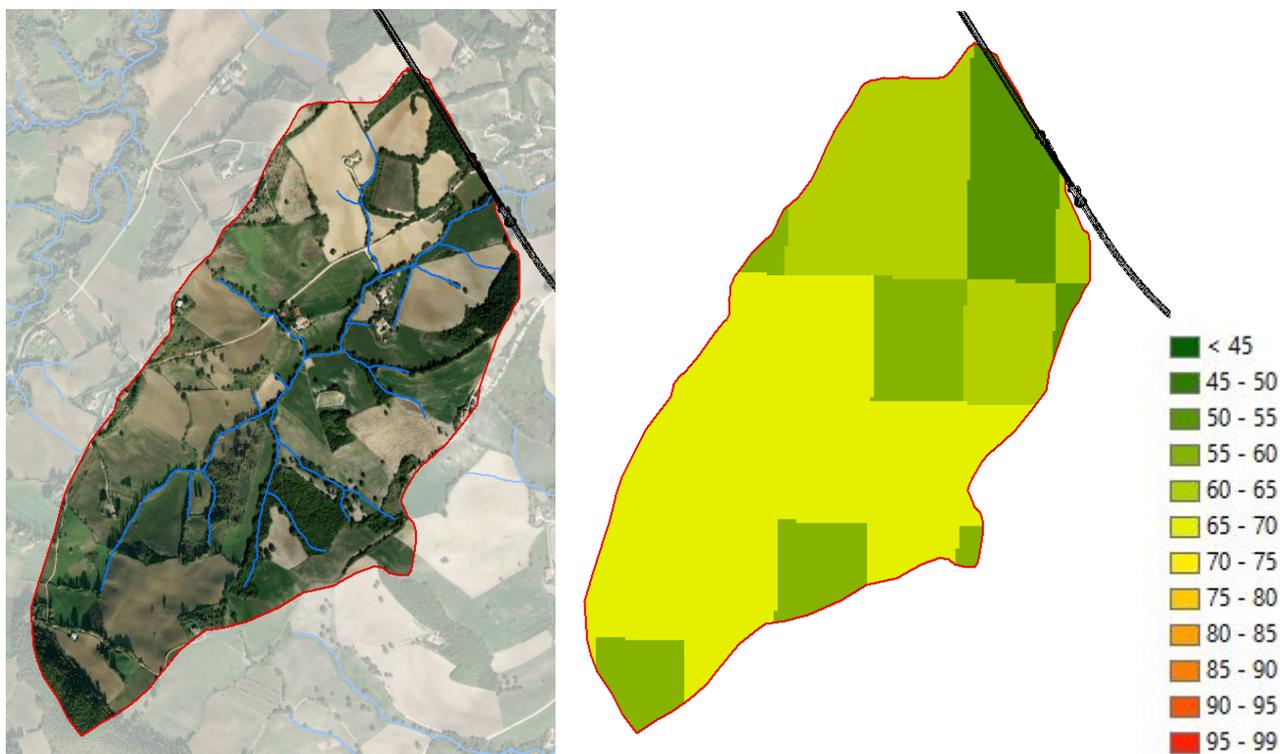
Durate di pioggia critiche per i bacini in esame e relativi valori di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni

Nodo	Durata critica	Q Picco, TR200 [m <sup>3</sup> /s]
<b>B_S1</b>	4h	29.00
<b>B_S2</b>	45min	0.83
<b>J_B1</b>	4h	<b>29.83</b>



PROGETTAZIONE ATI:

**6.1.3. BACINO C\_S1 (“METAURO\_3599”)**



A sinistra: vista planimetrica del bacino in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto. A destra: andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse

**Parametri caratteristici del bacino necessari al calcolo del tempo di corrivazione**

Bacino	S [Km <sup>2</sup> ]	L [Km]	L <sub>b</sub> [Km]	i <sub>v</sub> [%]	i [%]
<b>C_S1</b>	1.33	1.70	2.11	0.247	0.038

**Valori del tempo di corrivazione determinati con vari metodi**

Bacino	Tempo di corrivazione [ore]					Lag=0.6*Tc
	T <sub>c,Viparelli</sub>	T <sub>c,Watt&amp;Chow</sub>	T <sub>c,Chow</sub>	T <sub>c,NCRS</sub>	T <sub>c,Medio</sub>	[min]
<b>C_S1</b>	0.59	0.70	0.64	0.75	0.67	24

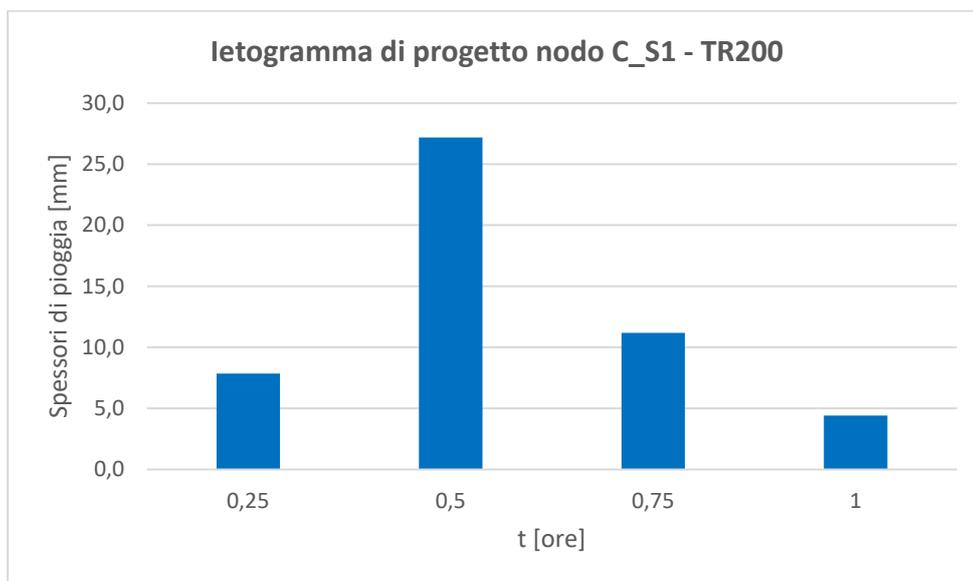
**Valori dei parametri CN-II e CN-III relativi al bacino in esame**

Bacino	CN II	CN III
<b>C_S1</b>	65.80	<b>81.6</b>

**Durate di pioggia critica per il bacino in esame e relativo valore di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni**

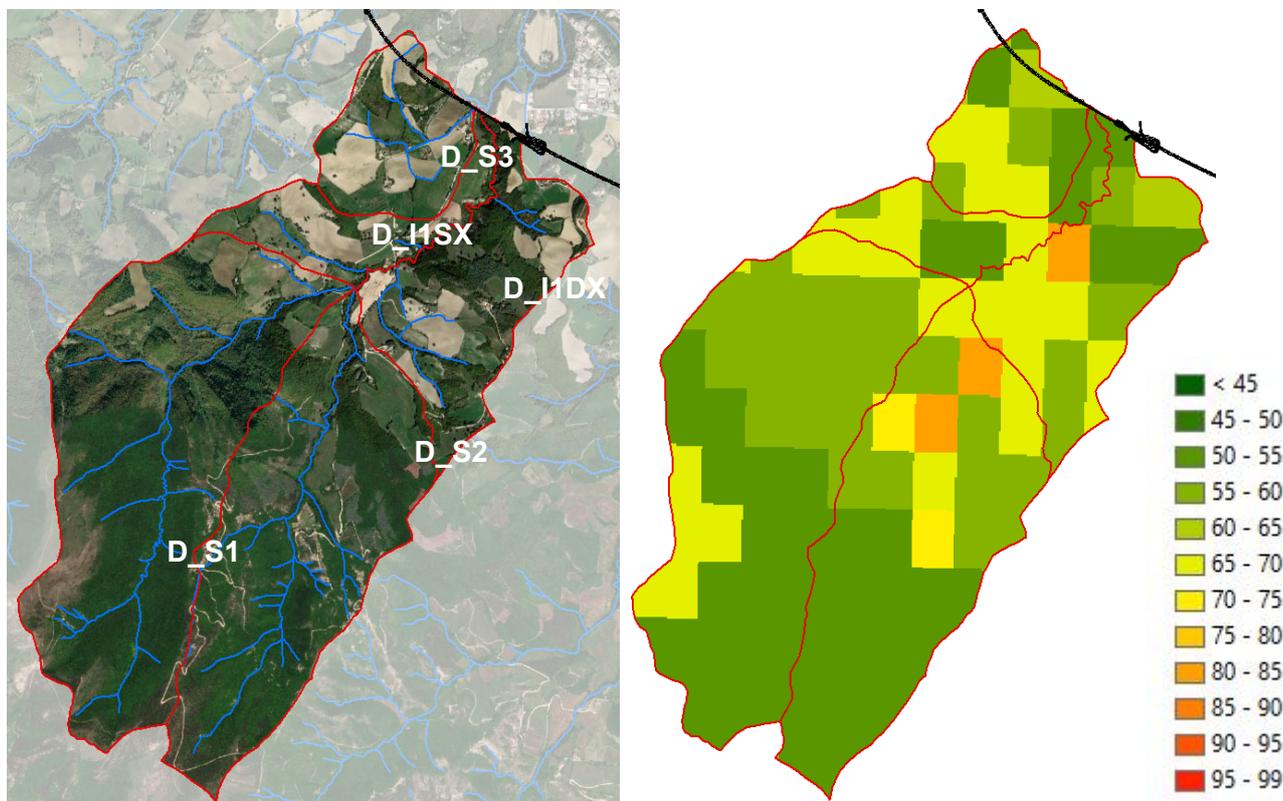
Nodo	Durata critica	Q Picco, TR200 [m <sup>3</sup> /s]
<b>C_S1</b>	1h	<b>7.88</b>

PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

6.1.4. BACINI D\_S1, D\_S2, D\_S3, D\_I1DX, D\_I1SX (“FOSSO ISOLA”)



A sinistra: vista planimetrica dei bacini in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto. A destra: andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse

Parametri caratteristici dei bacini necessari al calcolo del tempo di corrivazione (bacini D\_S1, D\_S2, D\_S3)

Bacino	S [Km <sup>2</sup> ]	L [Km]	L <sub>b</sub> [Km]	i <sub>v</sub> [%]	i [%]
D_S1	2.86	3.74	3.87	0.454	0.076
D_S2	2.23	3.18	3.37	0.413	0.087
D_S3	0.67	0.86	1.06	0.200	0.072

Grandezze per la caratterizzazione del modello Kinematic Wave (interbacini D\_I1DX e D\_I1SX)

Bacino	Superficie				Channel				
	L [m]	i [m/m]	R m <sup>-1/3</sup> s	A [Km <sup>2</sup> ]	l [m]	i <sub>c</sub> [-]	n m <sup>-1/3</sup> s	b [m]	i <sub>s</sub> [m/m]
D_I1DX	300	0.30	0.10	1.12	1938.51	0.0378	0.04	5.00	0.9
D_I1SX	395	0.21	0.10	0.52	1938.51	0.0378	0.04	5.00	0.9

Valori del tempo di corrivazione per ciascun bacino determinati con vari metodi (bacini D\_S1, D\_S2, D\_S3)

Bacino	Tempo di corrivazione [ore]					Lag=0.6*Tc [min]
	T <sub>c,Viparelli</sub>	T <sub>c,Watt&amp;Chow</sub>	T <sub>c,Chow</sub>	T <sub>c,NCRS</sub>	T <sub>c,Medio</sub>	
D_S1	1.07	1.00	-	1.05	<b>1.04</b>	38
D_S2	0.94	0.83	0.74	0.94	<b>0.86</b>	31
D_S3	0.30	0.32	0.34	-	<b>0.32</b>	11

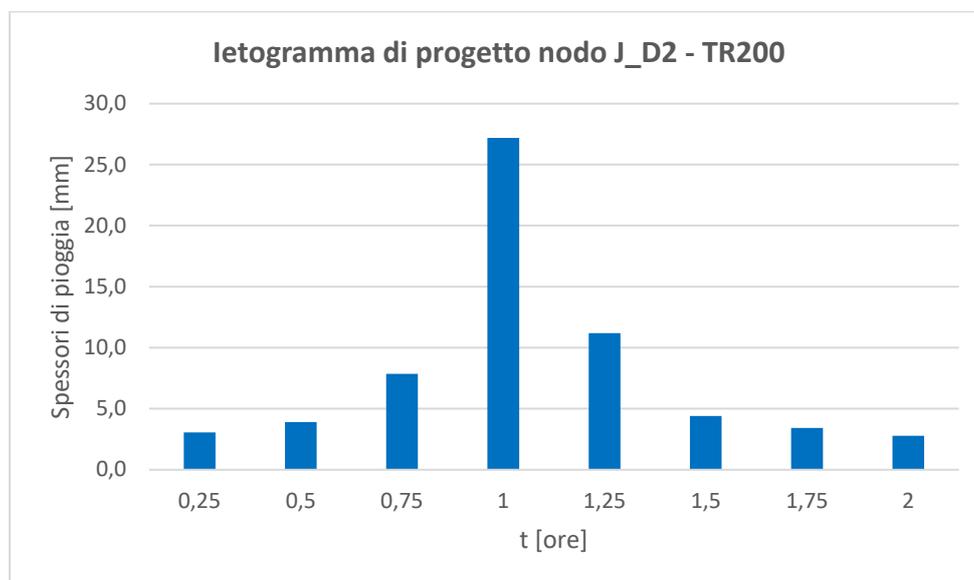
PROGETTAZIONE ATI:

Valori dei parametri CN-II e CN-III relativi ai bacini in esame

Bacino	CN II	CN III
<b>D_S1</b>	59.41	<b>77.1</b>
<b>D_S2</b>	61.54	<b>78.6</b>
<b>D_S3</b>	63.43	<b>80.0</b>
<b>D_I1DX</b>	64.51	<b>80.7</b>
<b>D_I1SX</b>	62.09	<b>79.02</b>

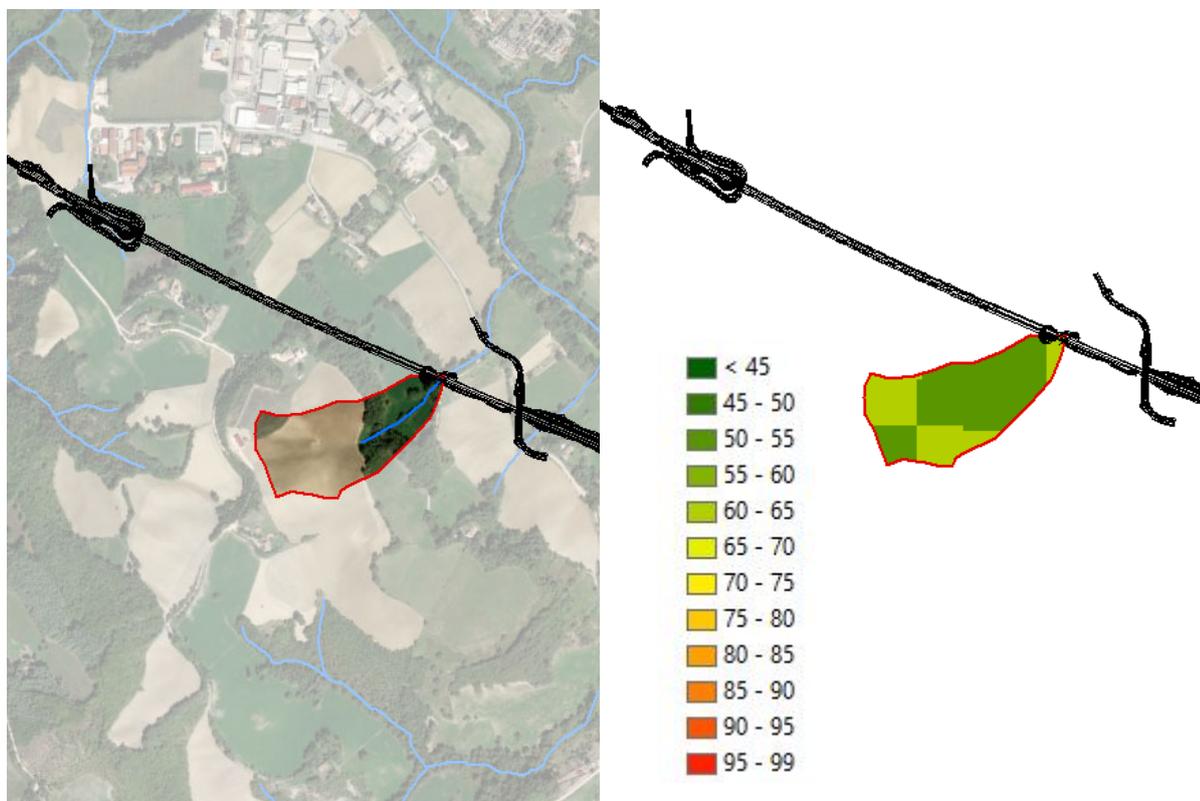
Durate di pioggia critiche per i bacini in esame e relativi valori di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni

Nodo	Durata critica	Q Picco, TR200 [m <sup>3</sup> /s]
<b>D_S1</b>	2h	12.43
<b>D_S2</b>	1.5h	12.08
<b>J_D1</b>	2h	24.03
<b>D_S3</b>	45min	6.30
<b>D_I1DX</b>	45min	10.79
<b>D_I1SX</b>	1h	3.87
<b>J_D2</b>	2h	38.69



PROGETTAZIONE ATI:

### 6.1.5. BACINO F\_S1 (“METAURO\_3512”)



A sinistra: vista planimetrica del bacino in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto. A destra: andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse.

Parametri caratteristici dei bacini necessari al calcolo del tempo di corrivazione

Bacino	S [Km <sup>2</sup> ]	L [Km]	L <sub>b</sub> [Km]	i <sub>v</sub> [%]	i [%]
<b>F_S1</b>	0.06	0.22	0.43	0.274	0.264

Valori del tempo di corrivazione per ciascun bacino determinati con vari metodi

Bacino	Tempo di corrivazione [ore]				Lag=0.6*T <sub>c</sub>
	T <sub>c,Kirpich</sub>	T <sub>c,Watt&amp;Chow</sub>	T <sub>c,Chow</sub>	T <sub>c,Medio</sub>	[min]
<b>F_S1</b>	0.06	0.07	0.09	<b>0.07</b>	3

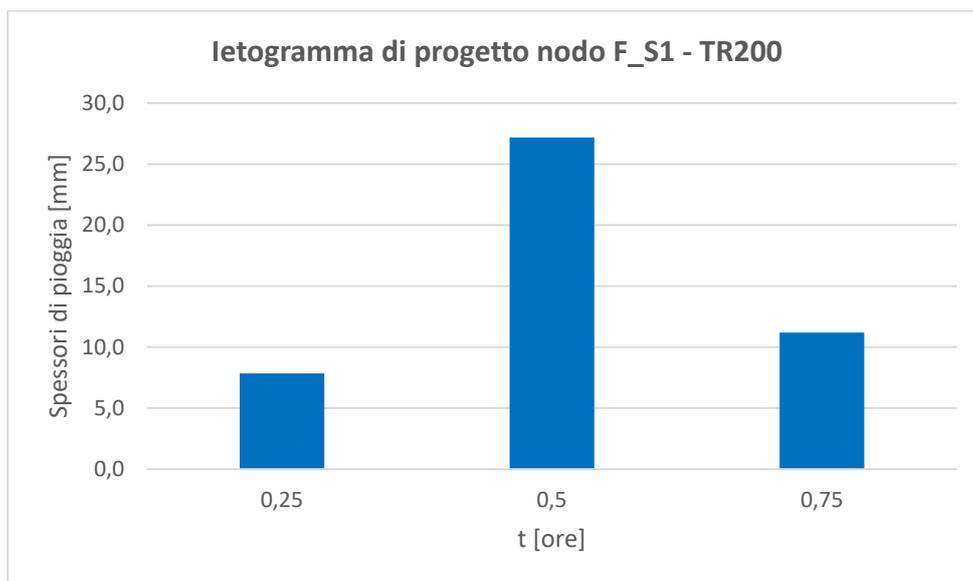
Valori dei parametri CN-II e CN-III relativi al bacino in esame

Bacino	CN II	CN III
<b>F_S1</b>	58.50	<b>76.4</b>

Durata di pioggia critica per il bacino in esame e relativo valore di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni

Nodo	Durata critica	Q Picco, TR200 [m <sup>3</sup> /s]
<b>F_S1</b>	45 min	0.48

PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

### 6.1.6. BACINO G\_S1 (“METAURO\_3511”)



A sinistra: vista planimetrica del bacino in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto. A destra: andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse

Parametri caratteristici dei bacini necessari al calcolo del tempo di corrivazione

Bacino	S [Km <sup>2</sup> ]	L [Km]	L <sub>b</sub> [Km]	i <sub>v</sub> [%]	i [%]
<b>G_S1</b>	0.15	0.19	0.50	0.225	0.197

Valori del tempo di corrivazione per ciascun bacino determinati con vari metodi

Bacino	Tempo di corrivazione [ore]				Lag=0.6*T <sub>c</sub>
	T <sub>c,Kirpich</sub>	T <sub>c,Watt&amp;Chow</sub>	T <sub>c,Chow</sub>	T <sub>c,Medio</sub>	[min]
<b>G_S1</b>	0.07	0.06	0.09	<b>0.08</b>	3

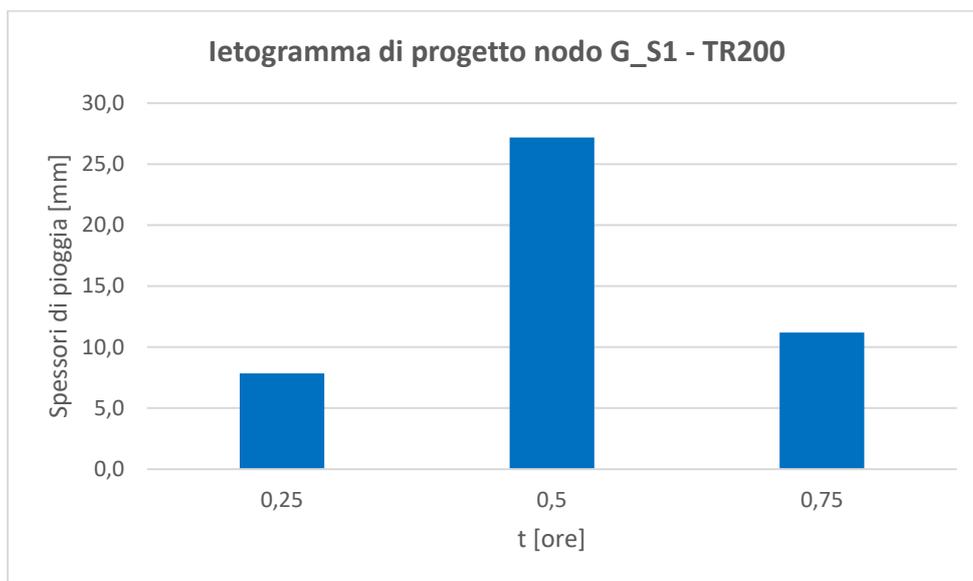
Valori dei parametri CN-II e CN-III relativi al bacino in esame

Bacino	CN II	CN III
<b>G_S1</b>	55.21	<b>73.9</b>

Durata di pioggia critica per il bacino in esame e relativo valore di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni

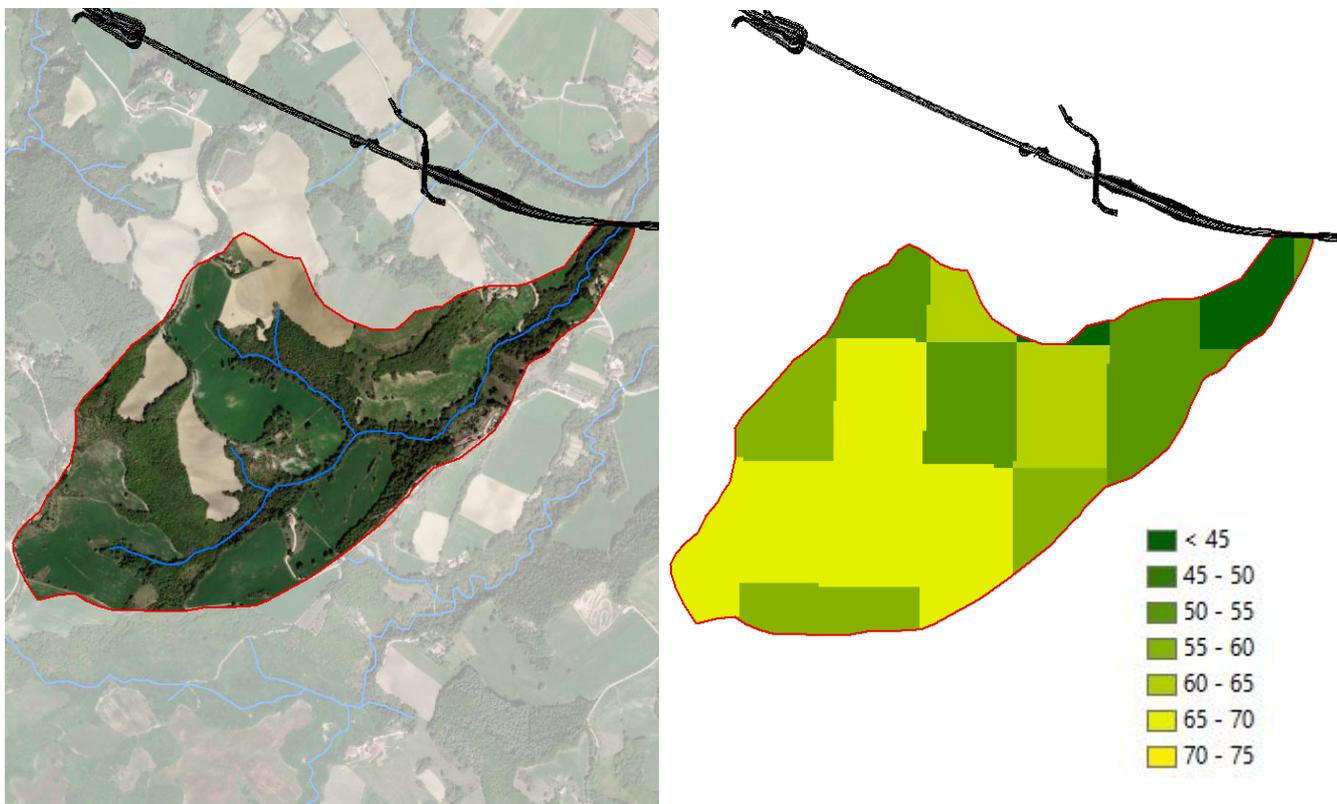
Nodo	Durata critica	Q Picco, TR200 [m <sup>3</sup> /s]
<b>G_S1</b>	45 min	0.97

PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:

6.1.7. BACINO H\_S1 (“METAURO\_3507”)



A sinistra: vista planimetrica del bacino in esame, con indicazione del tracciato stradale di progetto. A destra: andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse.

Parametri caratteristici dei bacini necessari al calcolo del tempo di corrivazione

Bacino	S [Km <sup>2</sup> ]	L [Km]	L <sub>b</sub> [Km]	i <sub>v</sub> [%]	i [%]
<b>H_S1</b>	0.95	1.92	2.18	0.291	0.073

Valori del tempo di corrivazione per il bacino determinati con vari metodi

Bacino	Tempo di corrivazione [ore]					Lag=0.6*Tc [min]
	T <sub>c,Viparelli</sub>	T <sub>c,Watt&amp;Chow</sub>	T <sub>c,Chow</sub>	T <sub>c,NCRS</sub>	T <sub>c,Medio</sub>	
<b>H_S1</b>	0.60	0.60	0.56	0.77	<b>0.63</b>	23

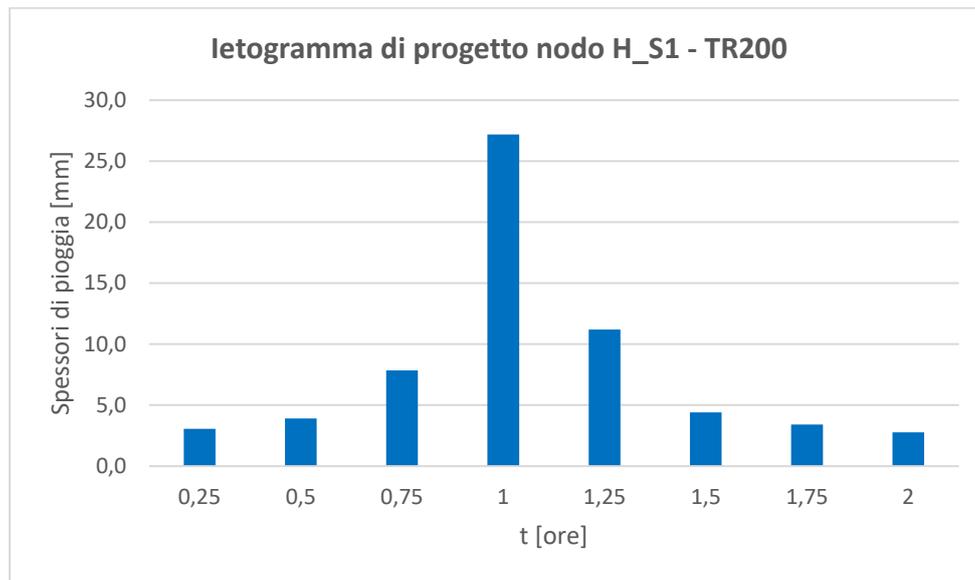
Valori dei parametri CN-II e CN-III relativi al bacino in esame

Bacino	CN II	CN III
<b>H_S1</b>	62.54	<b>79.3</b>

Durata di pioggia critica per il bacino in esame e relativo valore di portata di picco per un tempo di ritorno pari a 200 anni

Nodo	Durata critica	Q Picco, TR200 [m <sup>3</sup> /s]
<b>H_S1</b>	1.5h	5.68

PROGETTAZIONE ATI:



#### 6.1.1. BACINI AFFERENTI AI FOSSI DI GUARDIA E AL SISTEMA DI DRENAGGIO DELLA PIATTAFORMA STRADALE

Per la consultazione delle portate di progetto calcolate con il metodo razionale si rimanda agli elaborati T00.ID.00.IDR.RE.02 “*Relazione idraulica smaltimento acque di piattaforma e di versante*” e T00.ID.00.IDR.RE.03 “*Relazione idraulica attraversamenti minori (tombini)*”.

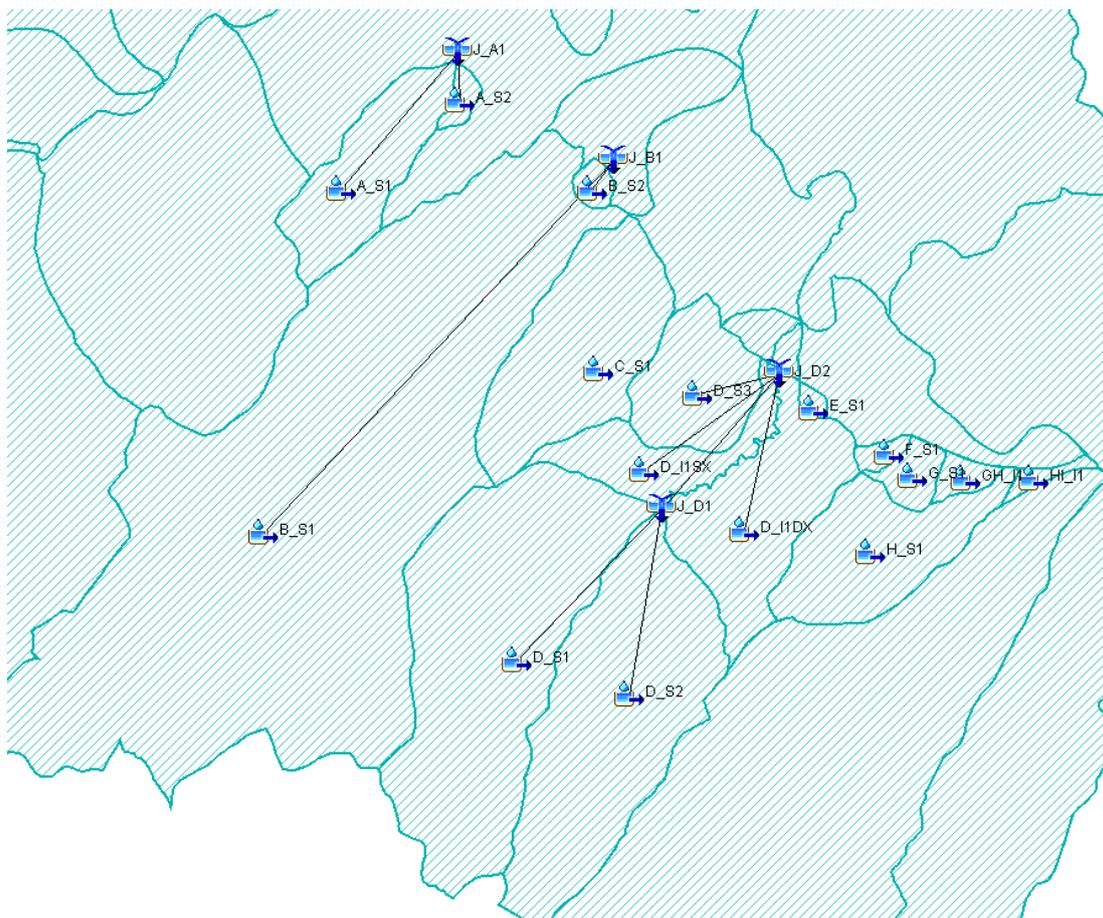
PROGETTAZIONE ATI:

## 7. ALLEGATI – SOFTWARE HEC-HMS

Il software HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) sviluppato dall'US Army Corps of Engineers (USACE) permette di simulare la risposta di un bacino idrografico investito da un evento meteorico di caratteristiche note, è applicabile ad una vasta gamma di problemi idrologici; il software, infatti, consente la modellazione idrologica di un bacino, mediante la definizione degli elementi concettuali che lo rappresentano e dei processi fisici che avvengono in essi.

HEC – HMS è stato creato per essere applicabile in un ampio campo di problemi idrologici, quali: Studio dei deflussi in grandi bacini idrografici, Analisi dei deflussi di piena, Analisi di deflussi provenienti da piccoli bacini urbani o rurali, Disponibilità idriche di regioni geografiche, Studio dei sistemi di drenaggio urbani, Previsione dei deflussi ecc.

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. 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 all'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.

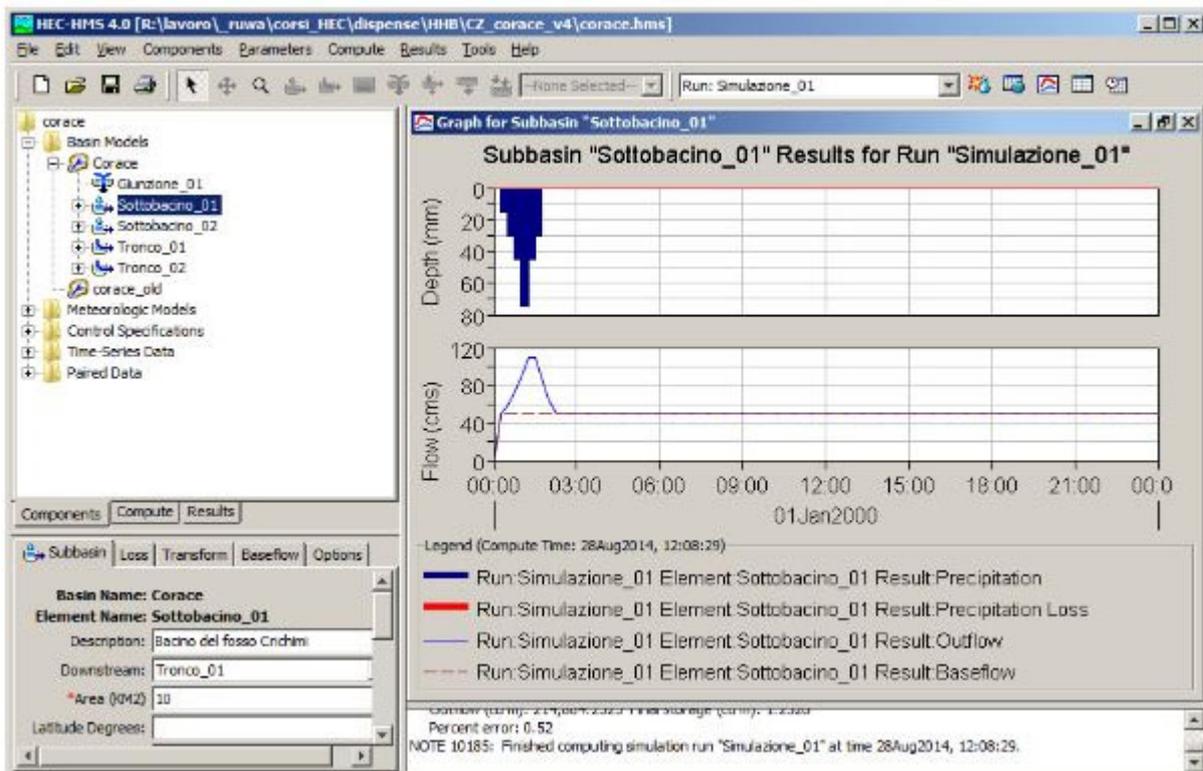


Schematizzazione sottobacini ed elementi di collegamento

PROGETTAZIONE ATI:

Per la trasformazione afflussi pluviometrici – deflussi superficiali il programma dispone di:

- un'interfaccia di specificazione delle precipitazioni che permette di descrivere un evento storico osservato oppure una precipitazione sintetica basata su una indagine di tipo statistico, o il limite superiore di precipitazione possibile per una certa località. All'interno del programma è presente una componente che permette di inserire, ed eventualmente analizzare, serie di dati pluviometrici in modo da ottenere le caratteristiche pluviometriche dell'evento di progetto, in pratica lo ietogramma di progetto, da inserire come dato di ingresso della modellazione numerica. All'interno di questa componente è possibile utilizzare diversi metodi per l'analisi dei dati storici di precipitazione oppure utilizzare risultati derivanti da precedenti elaborazioni di serie statistiche di dati pluviometrici. E' possibile inoltre selezionare diverse modalità per distribuire spazialmente la pioggia incluso il metodo dei poligoni di Thiessen (topoiet).
- Modelli di stima delle perdite, attraverso i quali si può stimare il volume dello scorrimento superficiale noti la precipitazione e le proprietà del bacino imbrifero come per esempio la perdita iniziale e costante, il metodo Curve Number del Soil Conservation Service ed il metodo di Green e Ampt;
- Modelli di formazione di volumi di piena, che possono essere usati per valutare lo scorrimento superficiale, l'immagazzinamento e l'energia persa nel fenomeno in cui l'acqua si muove dal bacino imbrifero verso un canale di scorrimento tra i quali l'idrogramma unitario di Clark, Snyder o del Soil Conservation Service, il metodo di Clark modificato in caso di schematizzazioni a parametri distribuiti;
- Modelli di propagazione di onde di piena che descrivono il processo che ne regola il deflusso e il trasporto nella rete idrografica del bacino si va infatti dal semplice trasferimento a metodi più complessi come quello di Muskingum-Cunge sia per canali di forma semplice che per canali di forma complessa;



Visualizzazione grafica risultati

- Moduli per elementi di collegamento utili per la descrizione geometrica della rete idrografica come confluenze, biforcazioni e altre singolarità;

PROGETTAZIONE ATI:

- Moduli per le strutture di controllo includenti diversivi e casse di espansione;
- Modello di pioggia distribuito, che può essere utilizzato con dati di precipitazione distribuiti, come ad esempio quelli ottenuti tramite un radar meteorologico;
- Modello in continuo per tenere conto dell'umidità del suolo che può essere visualizzato per simulare la risposta a lungo termine di un bacino imbrifero a variazioni meteorologiche stagionali o annuali.

### Metodologia

Le diverse fasi di implementazione del modello idrologico sono eseguite mediante i seguenti passaggi procedurali:

- Definizione delle componenti del sistema idrografico;
- Individuazione della metodologia di stima delle perdite di bacino,
- Impostazione della trasformazione afflussi deflussi,
- Definizione dei parametri di propagazione dei deflussi,
- Analisi meteorologica,
- Trasformazione afflussi - deflussi - Calibrazione parametri idrologici

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

- Basin Model in questa fase si esegue una rappresentazione fisica delle caratteristiche del bacino idrografico. Tale componente permette di specificare elementi idrologici, metodi di calcolo delle perdite di bacino, metodi di calcolo della trasformazione afflussi-deflussi, ed ulteriori elementi che compongono il dominio di interesse. Nella schematizzazione si definisce il bacino oggetto di studio, dove per prima cosa si imposta il sistema di misura, ad esempio metrico. Successivamente si definiscono tutte le componenti di bacino, quali sottobacini (Subbasin) per determinare l'onda di piena, tratti di alveo (Reach) per la propagazione dell'onda, ed elementi di unione tra più sottobacini o tronchi di alveo (Junction)
- Meteorologic Model si esegue l'analisi pluviometrica. Al suo interno si possono definire sia i dati di pioggia di riferimento che quelli relativi ad ulteriori processi, quali evapotraspirazione e scioglimento di neve. Nel primo caso è possibile inserire sia eventi registrati che ietogrammi sintetici, tra cui quelli definiti direttamente dall'utente o estrapolati dalle serie riferite a diversi pluviografi ed assegnando opportuni coefficienti di peso tramite ad esempio il metodo dei poligoni di Thiessen
- Control Specifications si definisce l'intervallo temporale di simulazione, specificando il giorno di inizio e fine evento (in termini di data), scegliendo il più opportuno intervallo temporale per la rappresentazione dei dati (giornaliero, orario o sub orario)