

## S.S.80 – "Raccordo di Teramo"

Tratta stradale Teramo mare  
Variante alla S.S. 80 dalla A14 (Mosciano S. Angelo) alla  
S.S. 16 (Giulianova) – LOTTO IV

### PROGETTO DEFINITIVO

COD. AQ-16

#### PROGETTAZIONE:



#### PROGETTISTI:

*Prof. Ing. Andrea Del Grosso – Ordine Ingg. Genova n. 3611*  
*Ing. Tommaso Di Bari – Ordine Ingg. Taranto n. 1083*  
*Ing. Vito Capotorto – Ordine Ingg. Taranto n. 1080*  
*Arch. Andreas Kipar – Ordine Arch. Milano n.13359 – Progettista e Direttore Tecnico LAND Italia Srl*  
*Ing. Primo Stasi – Ordine Ingg. Lecce n. 842*

#### GEOLOGO:

*Geol. Roberto Pedone*  
*Ordine Geol. Liguria n. 183*

#### RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE DISCIPLINE SPECIALISTICHE:

*Ing. Alessandro Aliotta*  
*Ordine Ingg. Genova n.7995A*

#### COORDINATORE DELLA SICUREZZA:

*Arch. Giorgio Villa*  
*Ordine Arch. Pavia n.645*

#### VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

*Ing. CLAUDIO BUCCI*

## IDROLOGIA E IDRAULICA

### Studio di compatibilità idraulica

### Relazione Idrologica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	ANNO	T00ID01IDRRE01_A		
DPAQ0016	D	22	CODICE ELAB.	T00ID01IDRRE01	A
C					
B					
A	EMISSIONE		Aprile 2022	C.STANO	P.STASI
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

---

## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO.....</b>	<b>4</b>
2.1	IDROGRAFIA.....	4
2.2	GEOLOGIA .....	5
<b>3</b>	<b>STUDI PREGRESSI .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA .....</b>	<b>7</b>
4.1	ACQUISIZIONE DATI CARTOGRAFICI .....	7
4.2	STIMA CPP E IETOGRAMMI DI PROGETTO.....	8
4.3	TEST STATISTICI DI BUON ADATTAMENTO.....	16
4.4	STIMA DELLE PERDITE E DELLA PIOGGIA EFFETTIVA .....	19
4.5	SCHEMATIZZAZIONE DELLA RISPOSTA DEL BACINO ALLE SOLLECITAZIONI METEORICHE.....	22
4.5.1	<i>Determinazione idrogrammi di piena .....</i>	<i>24</i>
<b>5</b>	<b>BACINI SECONDARI .....</b>	<b>27</b>

## Indice delle Tabelle e delle Figure

<b>SOMMARIO</b> .....	1
FIGURA 2-1: BACINO FIUME TORDINO .....	4
FIGURA 2-2: CARTA GEOLOGICA BACINO FIUME TORDINO .....	5
FIGURA 3-1: PORTATE DI PICCO ALLE VARIE SEZIONI DI CHIUSURA DEI BACINI ABRUZZESI .....	6
FIGURA 3-2: IDROGRAMMA DI PIENA ALLA SEZIONE TRO3 DEL FIUME TORDINO PER DIVERSI TEMPI DI RITORNO.....	6
FIGURA 4-1: BACINO DEL FIUME TORDINO SU ORTOFOTO (FONTE BING MAPS) CON CURVE DI LIVELLO.....	7
FIGURA 4-2: SCHEMA POLIGONI DI THIESSEN BACINO DEL FIUME TORDINO .....	8
TABELLA 4-1.....	9
TABELLA 4-2: VALORI PER CIASCUNA DURATA T, DELLA MEDIA M(HT), DELLO SCARTO QUADRATICO MEDIO S(HT) E DEI DUE PARAMETRI AT E UT DELLA LEGGE DI GUMBEL (PRIMA LEGGE DEL VALORE ESTREMO "EV1") - TOPOIETI .....	13
TABELLA 4-3: ALTEZZE MASSIME DI PIOGGIA REGOLARIZZATE [MM] TOPOIETI .....	13
TABELLA 4-4: VALORI PER CIASCUNA DURATA T, DELLA MEDIA M(HT), DELLO SCARTO QUADRATICO MEDIO S(HT) E DEI DUE PARAMETRI AT E UT DELLA LEGGE DI GUMBEL (PRIMA LEGGE DEL VALORE ESTREMO "EV1") - TERAMO .....	14
TABELLA 4-5: ALTEZZE MASSIME DI PIOGGIA REGOLARIZZATE [MM] TERAMO .....	14
FIGURA 4-3: INFLUENZA DEL PARAMETRO CN NELLA STIMA DEL VOLUME DI PIOGGIA NETTA.....	19
FIGURA 4-4: CLASSIFICAZIONE DEI TIPI IDROLOGICI DI SUOLO SECONDO IL METODO SCS-CN .....	20
TABELLA 4-6.....	20
TABELLA 4-7.....	21
FIGURA 4-5: USO DEL SUOLO BACINO DEL FIUME TORDINO – FONTE: GEOPORTALE REGIONE ABRUZZO.....	21
FIGURA 4-6: TIPOLOGIA GEOLOGICA DEI SUOLI DEL BACINO FIUME TORDINO – FONTE: GEOPORTALE REGIONE ABRUZZO .....	22
TABELLA 4-8.....	22
FIGURA 5-1: FOSSO CAVONE .....	27
FIGURA 5-2: FOSSO CORNO .....	27
FIGURA 5-3: FOSSO MAISE .....	27
FIGURA 5-4: FOSSO MUSTACCIO ED ULTIMO CANALE .....	27
TABELLA 5-1.....	28
TABELLA 5-2.....	29

## 1 PREMESSA

La presente relazione tecnica descrive lo studio idrologico eseguito nell'ambito della progettazione definitiva per la realizzazione del IV Lotto della S.S.80 Teramo-Mare, Variante alla S.S.80 dalla A14 (Mosciano S. Angelo) alla S.S.16 (Giulianova), per la valutazione delle interferenze del tracciato con il reticolo idrografico superficiale.

In particolare, il tracciato stradale risulta interferente con n.1 corso d'acqua significativo di primo ordine e n.4 corsi d'acqua secondari affluenti:

- Fiume Tordino;
- Fosso Cavone;
- Fosso Corno;
- Fosso Maise;
- Fosso Mustaccio

La zona in esame si caratterizza, inoltre, dalla presenza di estese aree soggette ad inondazione a vario livello di pericolosità con le quali la nuova infrastruttura interferisce in maniera diretta. lo studio idrologico, pertanto, ha permesso di stimare per ciascun corso d'acqua interessato la portata di punta di riferimento da utilizzare nelle verifiche idrauliche delle opere di attraversamento, unitamente agli idrogrammi di piena implementati nell'analisi idraulica di tipo 2D-bidimensionale.

Lo studio è stato sviluppato in quattro fasi distinte:

1. Acquisizione dati
  - Cartografia IGM scala 1:25.000
  - Ortofoto acquisite dal portale Opendata della Regione Abruzzo;
  - Carta tecnica regionale;
  - Dati DTM acquisiti dal portale Opendata della Regione Abruzzo;
  - Dati Lidar reperiti sul Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente;
  - Dati pluviometrici
2. analisi geomorfologica
  - delimitazione dei bacini imbriferi
  - rilievo e determinazione delle caratteristiche morfometriche e fisiografiche
3. analisi geologica geotecnica ed idrogeologica
  - stima delle caratteristiche di permeabilità dei terreni
  - analisi dell'uso del suolo
  - definizione del parametro Curve Number (CN) rappresentativo dei bacini idrografici
4. analisi idrologica
  - implementazione di un modello idrologico mediante impiego del software di calcolo Hec-HMS al fine della determinazione degli idrogrammi di piena e del valore di picco presi a riferimento per le verifiche idrauliche di tipo 1D-monidimensionale e 2D-bidimensionale.

In questo documento viene illustrata nel dettaglio l'analisi idrologica per la definizione delle curve di possibilità pluviometrica e la modellazione matematica svolta per la determinazione delle portate di piena.

## 2 INQUADRAMENTO

L'area oggetto di studio ricade nel bacino idrografico del Fiume Tordino in Provincia di Teramo, nella sezione definita del basso corso, tra i comuni di Notaresco e Giulianova, in prossimità dello sfocio nel Mar Adriatico.

### 2.1 IDROGRAFIA

Il fiume Tordino nasce a 2000 m s.l.m.m. tra i monti Gorzano (2458 m s.l.m.m.) e Pelone (2259 m s.l.m.m.), situati nella catena dei monti della Laga. Scorre interamente nel territorio della provincia di Teramo e confina a destra con il bacino del fiume Vomano e a sinistra con quello del Tronto e del Salinello. Nella prima parte del suo percorso, il Tordino, caratterizzato da un regime di tipo torrentizio, è orientato O-E, poi cambia direzione nei pressi dell'abitato di Padula, dove curva verso NE fino a raggiungere il piccolo nucleo di Fiume. Fino a Teramo descrive un ampio arco con apertura a Nord e infine, orientato SONE, si dirige verso il mare Adriatico, dove sfocia fra Giulianova e Cologna Spiaggia.

Come molti fiumi che sfociano nel medio e basso versante Adriatico, il suo percorso è perpendicolare alla catena montuosa d'origine. Il regime idrologico del fiume è molto variabile e risulta strettamente dipendente dalle precipitazioni. Il Tordino riceve anche numerosi contributi dagli affluenti e dai "fossi" maggiori.

A destra, dopo circa 5 km, il primo apporto idrico si deve al fosso Molve, più a valle riceve il fosso di Elce e infine, a 21,5 km dalla sua sorgente il Fiumicello, che origina a sua volta da numerosi fossati e sorgenti che scendono dalle pendici del monte Bilanciere.

A sinistra il numero di affluenti è maggiore: il fosso della Cavata, il Rivettino (a 7 km), il Castiglione (a 10,5 km), il Rivoletto (a 11,6 km); contributi minori vengono dal Rio Verde, dal fosso dell'Inferno, dal torrente Fiumicino e dal torrente Vezzola. Dal punto di vista morfologico la valle fluviale presenta caratteristiche così diverse che permettono di individuare 3 distinti settori: il settore più alto, con valli ripide e pareti boscate che conferiscono al paesaggio un tipico aspetto montano; il settore centrale, che giunge fino sotto a Castellalto, dove la valle si allarga e le morfologie diventano collinari, il settore terminale, costituito dall'ampia pianura alluvionale circondata da basse colline. Tale fondovalle presenta una sezione asimmetrica con sviluppo della piana sulla sinistra idrografica del corso d'acqua.

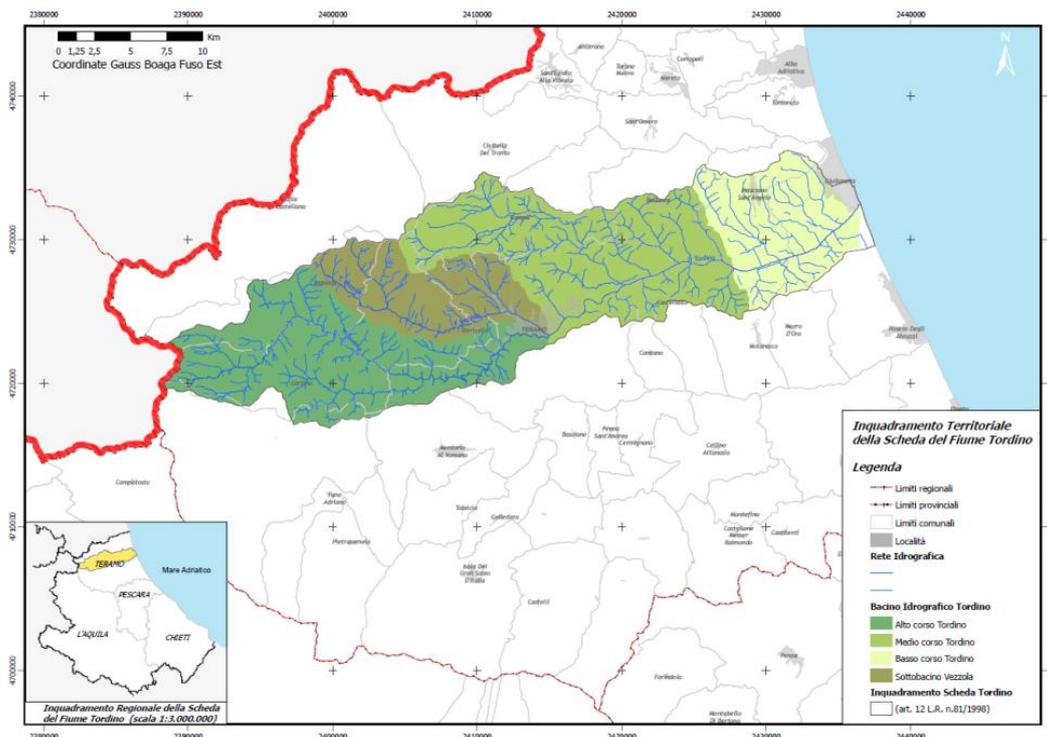


Figura 2-1: Bacino Fiume Tordino

## 2.2 GEOLOGIA

L'assetto geologico-strutturale del bacino del fiume Tordino mette in risalto la prevalenza dei depositi torbiditici della Formazione della Laga, in particolare delle facies pelitico-arenacee, che affiorano in tutto il settore centro-occidentale del bacino. Solo una parte del bacino idrografico riguardante la porzione sommitale del bacino idrografico del torrente Fiumicino, affluente in sinistra idrografica del fiume Tordino, precisamente ricadente nei bacini del fosso Bianco e del fosso Grande, interessa le formazioni carbonatiche della Montagna di Campi.

Procedendo da ovest verso est, si ha l'accavallamento della struttura di M. Gorzano, con strati subverticali e rovesciati, al disopra del fianco occidentale dell'anticlinale della Montagna dei Fiori la quale presenta sempre il fianco orientale raddrizzato e sovrascorso verso est sui membri più recenti della Formazione della Laga, a loro volta parzialmente sovrascorsi sulle Marne del Vomano.

Nella zona occidentale del bacino, in trasgressione sui depositi sopra descritti, affiorano i sedimenti del ciclo marino plio-pleistocenico, con prevalenza dei litotipi argillosi con intercalazioni sabbiose. I depositi di tetto, costituiti da conglomerati e sabbie gialle, del pleistocene inferiore, si ritrovano infatti solo alla sommità del rilievo di Bellante.

Tra i depositi continentali sono particolarmente diffusi quelli alluvionali, soprattutto nel tratto terminale del fiume, in sinistra idrografica nel comune di Giulianova; nelle zone montuose più interne (M. Gorzano e Montagna di Campi) sono diffusi i detriti di versante.

I depositi alluvionali recenti e antichi nella media e bassa valle del fiume risultano terrazzati secondo vari ordini. Le scarpate di terrazzo alluvionale in alcuni casi si presentano ancora ben conservate.

## Schema Geologico

(tratto dal Serv. Geol. D'Italia, 1963 a.b, 1969 semplificato da Centamore ed altri 1992)

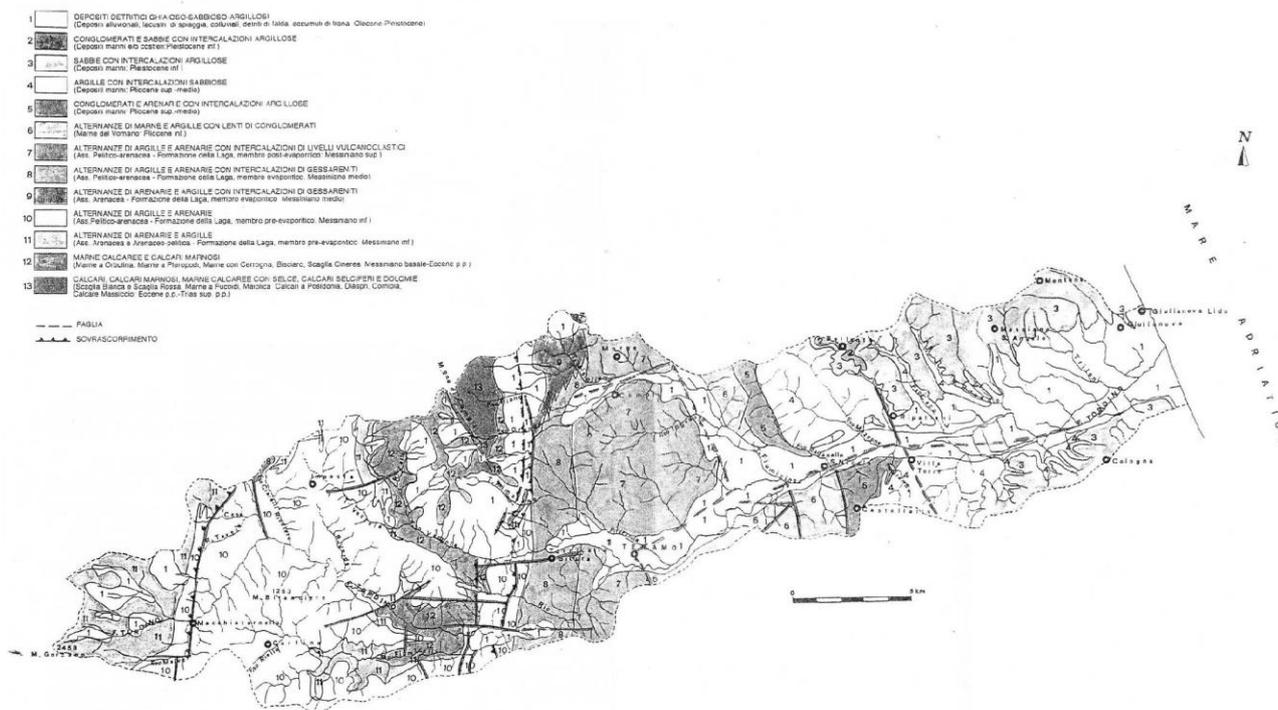


Figura 2-2: Carta geologica bacino Fiume Tordino

### 3 STUDI PREGRESSI

Il Piano Stralcio Difesa Alluvioni (PSDA), approvato con delibera regionale n.94/5 del 29/01/2008 per il territorio dei bacini regionali e con delibera del Consiglio regionale n. 101/5 del 29/04/2008 per il territorio del bacino interregionale del fiume Sangro, individua e perimetra le aree di pericolosità idraulica attraverso la determinazione dei livelli corrispondenti a condizioni di massima piena valutati con i metodi scientifici dell'idraulica.

Nello sviluppo delle analisi idrologico idrauliche condotte nel presente studio, si è fatto particolare riferimento ai dati idrologico – idraulici – morfologici contenuti nei seguenti elaborati del PSDA:

6.1 Studio idrologico per la valutazione delle piene – Relazione illustrativa

7.1 Studi idraulici per la mappatura delle aree esondabili – Relazione illustrativa delle elaborazioni condotte.

In tali studi sono stati definiti i parametri morfometrici ed i relativi idrogrammi caratteristici in corrispondenza di diverse sezioni di chiusura di tutti i bacini Abruzzesi. Per quanto riguarda il bacino del fiume Tordino sono stati costruiti gli idrogrammi di piena con tempi di ritorno  $T= 20, 50, 100, 200$  e  $500$  in quattro sezioni distinte, ma per il caso in esame è stato preso in considerazione esclusivamente l'idrogramma definito in corrispondenza della sezione T03 in prossimità della foce.

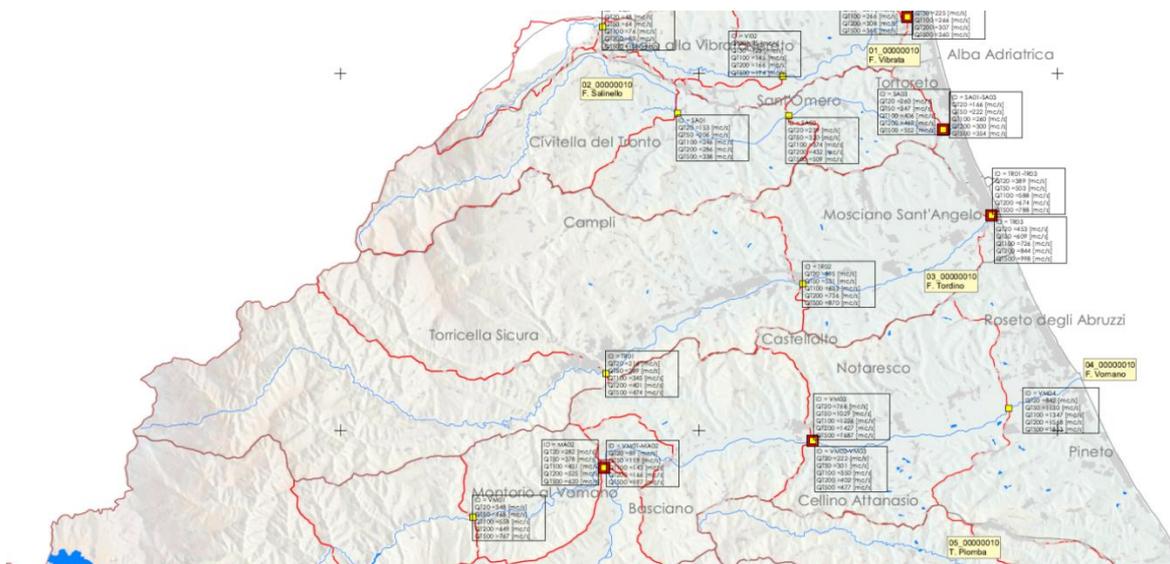


Figura 3-1: Portate di picco alle varie sezioni di chiusura dei bacini abruzzesi

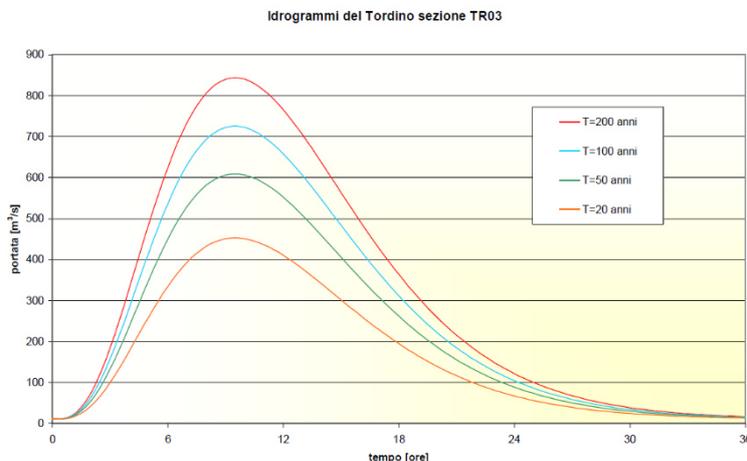


Figura 3-2: Idrogramma di piena alla sezione TR03 del Fiume Tordino per diversi tempi di ritorno

## 4 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica ha come finalità la stima dei valori al colmo delle portate di piena per diversi tempi di ritorno da porre a base dello studio idraulico necessario sia al corretto dimensionamento idraulico delle opere di attraversamento stradale dei corsi d'acqua, sia alla verifica della compatibilità idraulica delle opere proposte con l'assetto idrogeologico delle aste fluviali, così come previsto dal PSDA.

Nell'ambito del PSDA sono state stimate le altezze di precipitazione e le portate di interesse in corrispondenza dei tempi di ritorno  $T=20, 50, 100, 200, 500$  per tutti i bacini della Regione Abruzzo sulla base di dati pluviometrici registrati fino all'anno 1996.

Nel presente studio, per il bacino del Fiume Tordino, sono stati ricavati gli idrogrammi di piena per i tempi di ritorno caratteristici della zonizzazione della carta di pericolosità idraulica ovvero  $T= 50, 100, 200$ , sulla base dei dati di pioggia aggiornati e riportati sugli annali idrologici ufficiali sino all'anno 2007.

L'analisi è stata pertanto condotta secondo le seguenti fasi di lavoro svolte in successione:

- acquisizione dati cartografici;
- stima delle curve di possibilità pluviometrica (CPP) e ietogrammi di progetto;
- stima delle perdite e della pioggia effettiva;
- schematizzazione della risposta del bacino alle sollecitazioni meteoriche.

### 4.1 ACQUISIZIONE DATI CARTOGRAFICI

I dati cartografici utilizzati per la definizione dei parametri del bacino del Tordino sono di seguito elencati:

- a) ortofoto a colori di tutto il territorio regionale, disponibili sia sul sito degli open data della Regione Abruzzo che sul Geoportale nazionale;
- b) modello digitale del terreno con dimensione delle celle pari a 10 metri di lato ed inquadrato nel sistema di riferimento UTM-WGS84 fuso 33N disponibile sul Geoportale Regionale.

L'elaborazione di questi dati disponibili per l'intera area del bacino idrografico ha permesso di definire le caratteristiche morfometriche dello stesso, implementate successivamente nel modello idrologico.

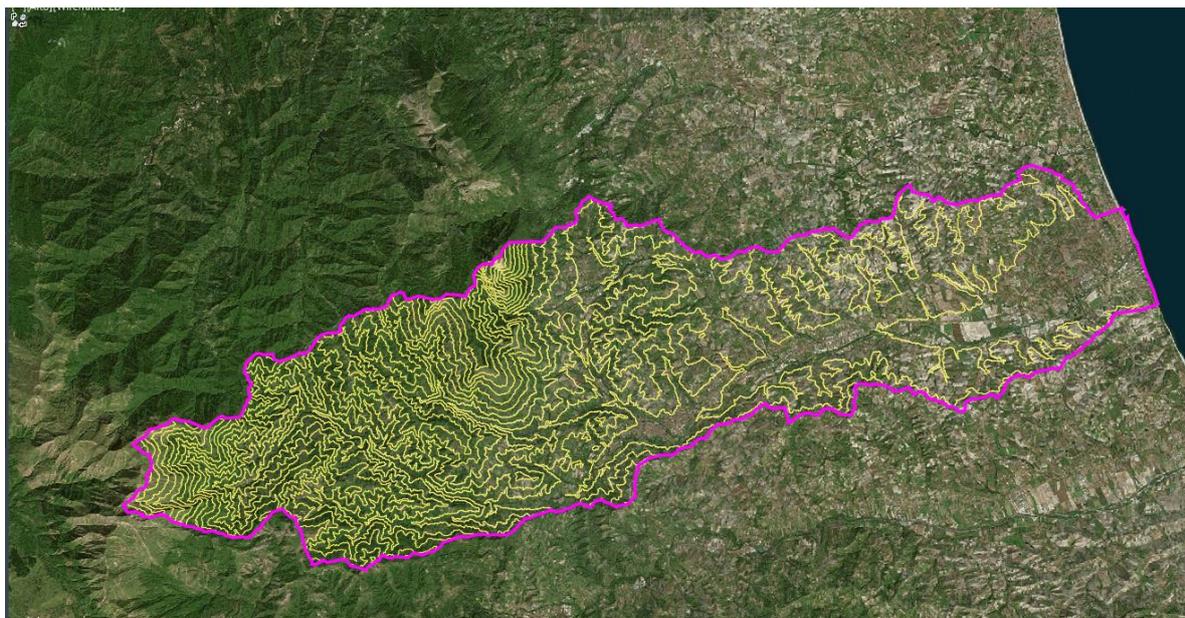


Figura 4-1: Bacino del Fiume Tordino su ortofoto (fonte Bing maps) con curve di livello

PARAMETRI MORFOMETRICI		
Superficie	Km2	446
Lunghezza asta	Km	65.2
Lunghezza percorso idraulico max	Km	67.7
Quota max bacino	m s.l.m.	2458
Quota min bacino	m s.l.m.	0
Pendenza media	%	26

## 4.2 STIMA CPP E IETOGRAMMI DI PROGETTO

Le curve di possibilità pluviometrica sono rappresentabili dalla seguente equazione:

$$h(t, T_R) = a_{T_R} \times t^n$$

La taratura dei parametri  $\alpha$  ed  $n$  viene condotta mediante l'acquisizione ed l'elaborazione statistica dei dati di precipitazione registrati da una stazione pluviometrica prossima al comprensorio oggetto dello studio.

Il bacino idrografico del fiume Tordino comprende un'area di circa 446 km<sup>2</sup>. All'interno dell'area drenata ricadono n° 6 stazioni pluviometriche i cui valori di pioggia registrati e pubblicati negli annali idrologici della Regione Abruzzo sono stati utilizzati nelle elaborazioni statistiche ai fini della determinazione degli idrogrammi.

Per poter fare un'analisi statistica relativa ai dati storici di pioggia registrati, è stato necessario delimitare le aree di competenza di ciascuna stazione. Per fare questa operazione è stato applicato il metodo dei topoi o dei poligoni di Thiessen.

Questo metodo grafico consente di determinare le piogge medie areali su un'area divisa in  $n$  aree di influenza, una per ogni stazione di misura. Il metodo consiste nell'unire con dei segmenti le stazioni contigue creando una maglia triangolare, e nel tracciare le perpendicolari in corrispondenza del punto medio in modo da formare dei poligoni irregolari ciascuno dei quali contenente una stazione pluviometrica.

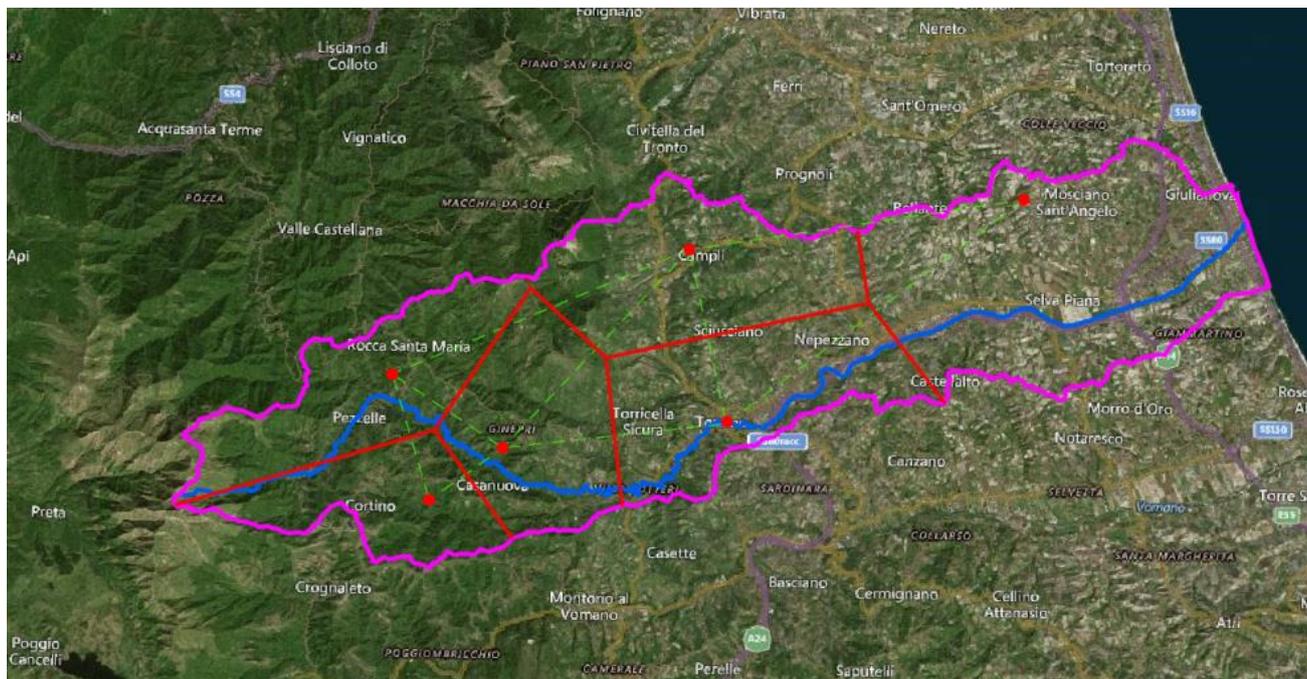


Figura 4-2: Schema poligoni di Thiessen bacino del Fiume Tordino

I valori delle aree di competenza risultanti per le 6 stazioni ricadenti nel bacino del fiume Tordino sono le seguenti:

STAZIONE	AREA TOPOIETI [m <sup>2</sup> ]	Peso ai
ROCCA S. MARIA	63054250.25	0.14
PAGLIAROLI	42632770.66	0.10
S. STEFANO	58837739.59	0.13
TERAMO	70552431.33	0.16
CAMPLI	73314307.45	0.17
BELLANTE	135035503.9	0.30

Il valore di pioggia areale viene determinato calcolando la media ponderale degli n valori di pioggia osservati:

$$h_m = \sum_{i=1}^n a_i h_i = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{A_{Tot}} h_i$$

In alternativa al metodo dei topoi, considerando l'esigua numerosità campionaria dei dati rilevati nelle stazioni di Rocca S. Maria, Pagliaroli, S. Stefano, Campli, Bellante, è stata svolta l'analisi statistica dei dati della singola stazione provvista di una serie continua di misurazioni di rilevante numerosità, ovvero la stazione di Teramo.

A seguire si riportano i valori di pioggia media areale determinate con il metodo dei topoi e le altezze massime di pioggia verificatesi alla stazione pluviometrica di Teramo per le durate 1, 3, 6, 12, 24 ore rispettivamente, per il periodo in cui esse risultano disponibili, tra il 1929 ed il 2007.

Tabella 4-1

STAZIONE	N° anni rilevati
ROCCA S. MARIA	8
PAGLIAROLI	21
S. STEFANO	27
<b>TERAMO</b>	<b>74</b>
CAMPLI	21
BELLANTE	26

Anno	DATI PLUVIOMETRICI TOPOIETI				
	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
1929	22.40	40.00	47.20	80.00	90.20
1930	47.00	62.60	92.00	130.70	192.00
1931	20.00	30.00	39.00	50.40	79.20
1932	26.00	46.40	46.60	71.00	99.20
1933	16.20	32.00	55.20	73.80	79.80
1934	26.80	36.00	53.40	56.60	94.40
1935	14.20	26.20	31.20	46.80	60.00
1936	24.80	26.00	27.40	31.40	51.60
1937	21.20	41.00	42.00	62.40	93.40

1938	16.80	24.20	27.60	34.60	41.00
1939	21.00	29.40	30.60	44.20	62.80
1940	19.00	32.80	48.40	66.40	99.40
1941	18.40	30.00	39.00	54.80	61.00
1942	25.20	27.00	27.00	39.00	61.20
1945	45.40	49.40	54.40	54.40	68.00
1946	17.40	21.80	30.00	40.00	45.60
1947	19.80	33.70	33.70	33.70	35.50
1948	22.40	34.40	53.20	71.20	78.80
1949	17.00	40.00	64.00	69.60	85.00
1950	17.60	22.00	22.00	22.00	24.20
1951	27.00	38.20	69.80	87.40	96.20
1952	53.60	63.80	67.80	75.40	76.00
1953	27.60	33.20	39.20	50.20	75.80
1954	14.00	14.60	24.20	39.20	67.20
1955	20.60	23.40	28.20	34.20	57.60
1956	13.60	20.00	31.60	33.00	59.80
1957	27.40	43.80	58.80	63.80	65.80
1958	19.40	37.60	56.60	75.00	103.80
1959	27.60	30.00	47.80	82.00	106.80
1960	13.00	31.80	43.40	64.80	75.40
1961	38.40	42.00	43.80	48.20	56.60
1962	9.20	15.00	19.20	25.60	35.00
1963	20.20	53.20	99.20	114.60	129.60
1964	12.80	19.00	28.00	38.40	52.20
1965	13.80	23.00	36.00	38.00	40.80
1966	19.20	40.40	54.20	67.20	68.00
1967	18.20	34.20	55.00	80.80	126.40
1968	20.40	33.00	39.00	47.60	68.60
1969	24.00	38.00	56.00	59.60	78.20
1970	19.00	23.60	28.00	28.40	29.40
1971	31.80	35.20	35.40	35.40	37.80
1972	31.80	34.80	37.80	45.60	48.60
1973	86.00	89.00	95.80	96.60	144.00
1974	20.00	36.00	40.20	50.00	93.20
1975	27.20	27.20	33.80	41.60	66.00
1976	40.60	41.40	42.20	78.60	93.40
1977	16.71	29.09	35.63	50.69	55.03
1978	20.67	30.76	34.85	52.63	71.82
1979	21.94	25.24	38.04	48.19	52.59
1980	14.85	21.28	28.63	34.73	43.66
1981	19.86	25.57	37.12	43.09	49.86
1982	22.03	28.37	30.95	31.30	36.03
1983	26.33	42.89	47.65	48.74	59.72
1984	27.86	32.87	43.56	60.71	84.04
1985	23.69	33.82	43.81	51.50	68.88
1986	28.10	50.50	63.54	100.89	127.29
1987	21.69	35.79	38.55	43.31	46.77
1988	22.63	27.28	31.22	32.05	33.63

1989	28.79	37.48	45.71	60.67	86.84
1990	13.13	22.80	38.82	62.28	94.10
1991	25.01	31.27	37.60	48.35	64.60
1992	22.27	27.65	40.81	69.36	114.44
1993	21.53	22.15	25.38	31.75	41.19
1994	34.68	37.25	40.02	57.34	83.65
1995	22.39	31.83	34.09	44.17	49.04
1996	28.49	32.22	38.39	45.78	53.44
1997	20.05	29.06	31.42	32.78	43.55
1998	23.57	29.73	31.15	31.23	36.26
1999	28.92	45.25	51.83	61.85	79.98
2000	27.61	33.33	39.40	44.45	56.00
2001	15.40	22.49	26.44	33.64	46.13
2002	28.81	33.30	41.94	53.60	75.28
2003	36.46	43.99	45.70	55.33	60.39
2004	21.03	37.16	51.98	62.68	84.47
2005	17.24	20.87	23.88	26.48	42.40
2006	21.81	24.97	29.22	35.76	39.60
2007	30.64	39.32	46.72	66.87	76.37

<b>DATI PLUVIOMETRICI</b>					
(Precipitazioni di massima intensità registrate al pluviografo su 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive)					
Stazione di :	<b>TERAMO</b>				
Quota (m s.l.m.) :	218		Numero di osservazioni : N = 74		
Anno	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
1929	22.40	40.00	47.20	80.00	90.20
1930	47.00	62.60	92.00	130.70	192.00
1931	20.00	30.00	39.00	50.40	79.20
1932	26.00	46.40	46.60	71.00	99.20
1933	16.20	32.00	55.20	73.80	79.80
1934	26.80	36.00	53.40	56.60	94.40
1935	14.20	26.20	31.20	46.80	60.00
1936	24.80	26.00	27.40	31.40	51.60
1937	21.20	41.00	42.00	62.40	93.40
1938	16.80	24.20	27.60	34.60	41.00
1939	21.00	29.40	30.60	44.20	62.80
1940	19.00	32.80	48.40	66.40	99.40
1941	18.40	30.00	39.00	54.80	61.00
1942	25.20	27.00	27.00	39.00	61.20
1945	45.40	49.40	54.40	54.40	68.00
1946	17.40	21.80	30.00	40.00	45.60
1947	19.80	33.70	33.70	33.70	35.50
1948	22.40	34.40	53.20	71.20	78.80
1949	17.00	40.00	64.00	69.60	85.00
1950	17.60	22.00	22.00	22.00	24.20

1951	27.00	38.20	69.80	87.40	96.20
1952	53.60	63.80	67.80	75.40	76.00
1953	27.60	33.20	39.20	50.20	75.80
1954	14.00	14.60	24.20	39.20	67.20
1955	20.60	23.40	28.20	34.20	57.60
1956	13.60	20.00	31.60	33.00	59.80
1957	27.40	43.80	58.80	63.80	65.80
1958	19.40	37.60	56.60	75.00	1,03,8
1959	27.60	30.00	47.80	82.00	106.80
1960	13.00	31.80	43.40	64.80	75.40
1961	38.40	42.00	43.80	48.20	56.60
1962	9.20	15.00	19.20	25.60	35.00
1963	20.20	53.20	99.20	114.60	129.60
1964	12.80	19.00	28.00	38.40	52.20
1965	13.80	23.00	36.00	38.00	40.80
1966	19.20	40.40	54.20	67.20	68.00
1967	18.20	34.20	55.00	80.80	126.40
1968	20.40	33.00	39.00	47.60	68.60
1969	24.00	38.00	56.00	59.60	78.20
1970	19.00	23.60	28.00	28.40	29.40
1971	31.80	35.20	35.40	35.40	37.80
1972	31.80	34.80	37.80	45.60	48.60
1973	86.00	89.00	95.80	96.60	144.00
1974	20.00	36.00	40.20	50.00	93.20
1975	27.20	27.20	33.80	41.60	66.00
1977	15.80	31.00	40.00	59.60	67.40
1978	26.40	39.40	41.40	58.00	74.00
1979	25.00	28.20	46.60	60.00	63.60
1980	18.00	28.00	32.00	38.00	50.00
1981	19.00	34.00	54.40	67.20	67.20
1982	21.00	23.80	23.80	23.80	25.60
1984	29.00	31.00	48.00	61.60	80.40
1985	19.20	23.80	31.20	48.00	68.60
1986	25.00	45.40	64.60	107.60	128.60
1987	13.00	20.80	24.00	33.60	38.20
1988	26.60	33.20	36.60	36.80	37.00
1990	14.60	32.40	55.80	87.40	124.00
1991	26.00	31.60	33.60	39.20	60.60
1992	21.60	30.60	49.20	77.20	119.20
1993	18.20	18.40	18.40	20.60	36.40
1994	43.60	43.60	43.60	60.00	91.40
1995	23.40	28.20	31.20	42.20	48.60
1996	28.00	32.20	45.40	58.20	65.40
1997	16.00	25.80	26.80	30.00	40.60
1998	13.00	16.80	18.20	18.60	35.00
1999	32.00	41.60	42.60	49.00	89.60
2000	37.00	46.40	48.80	52.40	67.20
2001	19.80	40.40	47.80	50.00	60.80
2002	15.60	16.80	24.40	37.80	56.20
2003	50.60	73.80	74.40	98.40	100.80

2004	11.80	19.60	30.80	44.20	67.00
2005	33.20	37.40	42.60	46.80	74.40
2006	18.80	20.00	27.60	38.40	40.20
2007	21.00	45.80	54.20	65.00	73.40

Nell'ipotesi che la pioggia segua la legge di distribuzione di Gumbel, la probabilità di non superamento può essere espressa dalla seguente relazione:

$$P(h_t) = e^{-e^{\left[ \frac{-(h_t - u_t)}{a_t} \right]}}$$

dove  $u_t$  e  $a_t$  sono i parametri della curva legati alla media  $m(ht)$  ed allo scarto quadratico medio  $\sigma(ht)$  della variabile  $ht$  secondo opportune relazioni teoriche:

$$u_t = m(ht) - 0,45 \sigma(ht)$$

$$a_t = 1,283 / \sigma(ht)$$

Invertendo la legge di distribuzione e sostituendo il tempo di ritorno  $TR$  in luogo della probabilità  $P$  si ottiene:

$$h_t(T_R) = u_t - a_t \ln \left[ -\ln \left( \frac{T_R - 1}{T_R} \right) \right]$$

che permette di calcolare, per ciascuna delle durate (1, 3, 6, 12 e 24 ore) il valore di altezza massima di pioggia (quantile regolarizzato) fissato il tempo di ritorno.

Disponendo su un diagramma logaritmico le  $ht$  ( $TR$ ) al variare della durata  $t$  è possibile ricavare i parametri  $a$  ed  $n$  mediante il modello lineare:

$$\ln(ht(TR)) = \ln(a(TR)) + n(TR) \times \ln(t)$$

I risultati dell'analisi statistica portano alla definizione delle curve di possibilità pluviometrica riportate nelle seguenti tabelle.

Tabella 4-2: Valori per ciascuna durata  $t$ , della media  $m(ht)$ , dello scarto quadratico medio  $s(ht)$  e dei due parametri  $a_t$  ed  $n$  mediante il modello lineare (prima legge del valore estremo "EV1") - TOPOIETI

N = 77	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
$\mu(h_t)$	24.28	33.66	42.45	53.98	70.28
$\sigma(h_t)$	10.69	11.43	15.47	20.67	29.08
$\alpha_t = 1,283/\sigma(h_t)$	0.12	0.11	0.08	0.06	0.04
$U_t = \mu(h_t) - 0,45\sigma(h_t)$	19.47	28.52	35.49	44.68	57.19

Tabella 4-3: Altezze massime di pioggia regolarizzate [mm] Topoieti

Tr	h	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
10 anni	$h_{max} =$	38.21	48.56	62.63	80.94	108.20
25 anni	$h_{max} =$	46.11	57.00	74.06	96.21	129.69
50 anni	$h_{max} =$	51.97	63.27	82.55	107.55	145.63
100 anni	$h_{max} =$	57.79	69.48	90.97	118.80	161.45

200 anni	$h_{max} =$	63.58	75.68	99.35	130.01	177.22
500 anni	$h_{max} =$	71.23	83.85	110.42	144.79	198.02

Tr	LEGGE DI PIOGGIA TOPOIETI $h = a \times t^n$	
10 anni	→	$h=35.985xt^{0.3303}$
25 anni	→	$h=42.899xt^{0.3293}$
50 anni	→	$h=48.025xt^{0.3287}$
100 anni	→	$h=53.11xt^{0.3283}$
200 anni	→	$h=58.175xt^{0.328}$
500 anni	→	$h=64.855xt^{0.3276}$

Tabella 4-4: Valori per ciascuna durata  $t$ , della media  $m(h_t)$ , dello scarto quadratico medio  $s(h_t)$  e dei due parametri  $\alpha_t$  e  $U_t$  della legge di Gumbel (prima legge del valore estremo "EV1") - TERAMO

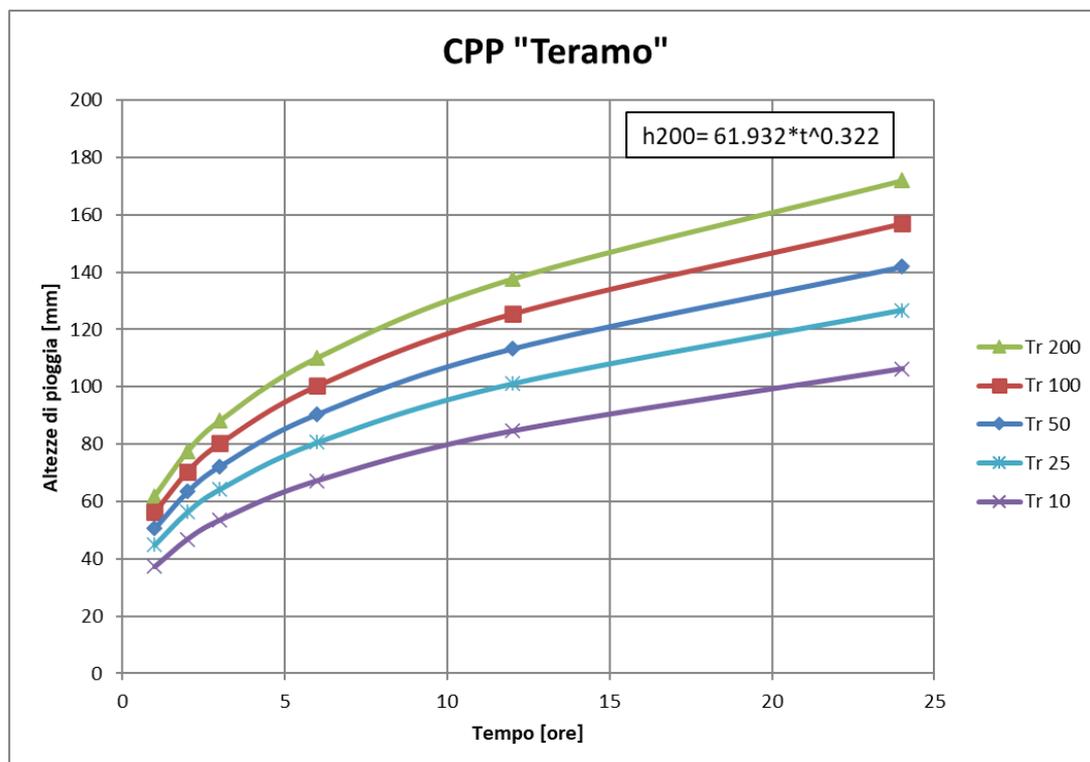
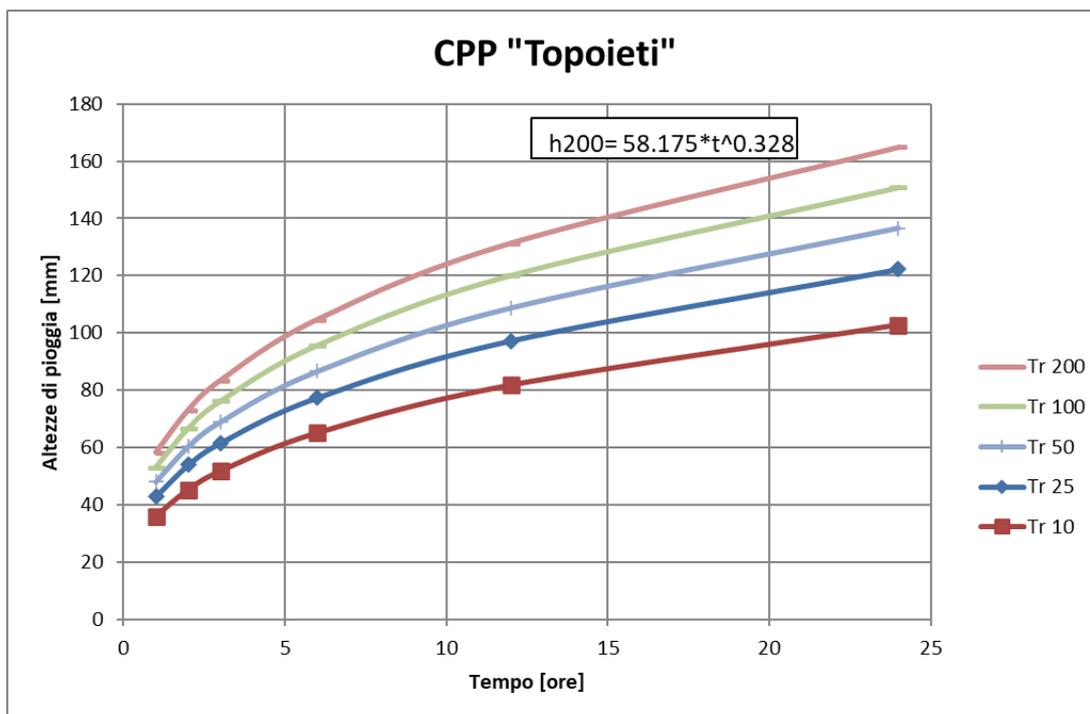
N = 74	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
$\mu(h_t)$	24.01	33.85	43.12	54.94	71.35
$\sigma(h_t)$	11.61	12.89	16.88	22.47	30.06
$\alpha_t = 1,283/\sigma(h_t)$	0.11	0.10	0.08	0.06	0.04
$U_t = \mu(h_t) - 0,45\sigma(h_t)$	18.79	28.05	35.52	44.82	57.82

Tabella 4-5: Altezze massime di pioggia regolarizzate [mm] Teramo

Tr	h	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
10 anni	$h_{max} =$	39.14	50.66	65.13	84.24	110.55
25 anni	$h_{max} =$	47.72	62.18	77.60	100.85	132.77
50 anni	$h_{max} =$	54.08	67.25	86.86	113.17	149.25
100 anni	$h_{max} =$	60.40	74.27	96.04	125.40	165.61
200 anni	$h_{max} =$	66.69	81.26	105.19	137.58	181.91
500 anni	$h_{max} =$	74.99	90.48	117.27	153.66	203.41

Tr	LEGGE DI PIOGGIA TERAMO $h = a \times t^n$	
10 anni	→	$h=37.221xt^{0.3301}$
25 anni	→	$h=44.92xt^{0.3264}$
50 anni	→	$h=50.628xt^{0.3245}$

100 anni	→	$h=56.291xt^{0.3229}$
200 anni	→	$h=61.932xt^{0.3216}$
500 anni	→	$h=69.372xt^{0.3203}$



### TOPOIETI

Altezze massime di pioggia			
t (ore)	H50	H100	H200
1	48.02	53.11	58.17
2	60.31	66.68	73.02
3	68.91	76.18	83.41
6	86.55	95.64	104.70
12	108.70	120.08	131.42
24	136.52	150.77	164.97

Ietogrammi TOPOIETI			
t (ore)	i50	i100	i200
1	48.02	53.11	58.17
2	30.16	33.34	36.51
3	22.97	25.39	27.80
6	14.43	15.94	17.45
12	9.06	10.01	10.95
24	5.69	6.28	6.87

### TERAMO

Altezze massime di pioggia			
t (ore)	H50	H100	H200
1	50.63	56.29	61.93
2	63.40	70.41	77.40
3	72.31	80.26	88.18
6	90.55	100.39	110.20
12	113.38	125.58	137.73
24	141.97	157.07	172.12

Ietogrammi TERAMO			
t (ore)	i50	i100	i200
1	50.63	56.29	61.93
2	31.70	35.21	38.70
3	24.10	26.75	29.39
6	15.09	16.73	18.37
12	9.45	10.46	11.48
24	5.92	6.54	7.17

## 4.3 TEST STATISTICI DI BUON ADATTAMENTO

I risultati forniti dalle distribuzioni statistiche adottate dipendono fortemente dal grado di adattamento della distribuzione stessa al campione di dati disponibili.

Per definire se la distribuzione di Gumbel interpreti i dati in maniera adeguata, è stato effettuato un test di buon adattamento con livello di significatività  $\alpha = 5\%$ .

Il test di Pearson, o del chi-quadro ( $\chi^2$ ) verifica che l'ipotesi che il campione sia ben interpretato mediante una distribuzione di probabilità. Il parametro  $\chi^2$  calcolato come:

$$\chi^2 = \sum \frac{(N_i - F_i)^2}{F_i}$$

sommatoria estesa al numero di classi equiprobabili in cui è suddiviso il campione, dove  $N_i$  è la numerosità dell'i-esima classe ed  $F_i$  è il numero teorico di osservazioni che dovrebbero ricadere nell'i-esima classe, calcolato con la distribuzione prescelta.

Il valore del  $\chi^2$  ottenuto viene confrontato con un valore critico dipendente dal livello di significatività  $\alpha$  prescelto e dal grado di libertà  $v$  della distribuzione.

Il metodo di Kolmogorov-Smirnov consiste in un test di concordanza per verificare che la variabile aleatoria ( $h$ ), della quale è noto un campione di dimensione  $N$  e la cui frequenza cumulata sperimentale è pari a  $F(h)$ , sia distribuita secondo la funzione di probabilità teorica  $P(h)$ , scelta per rappresentare i caratteri statistici del campione. La funzione del campione  $F(h)$ , pari alla frequenza cumulata di non superamento, risulta essere una funzione a gradini pari a:

$$F(h) = \frac{i}{N}$$

$i$  = numero delle osservazioni di entità pari o minore di  $h$

$N$  = dimensione del campione

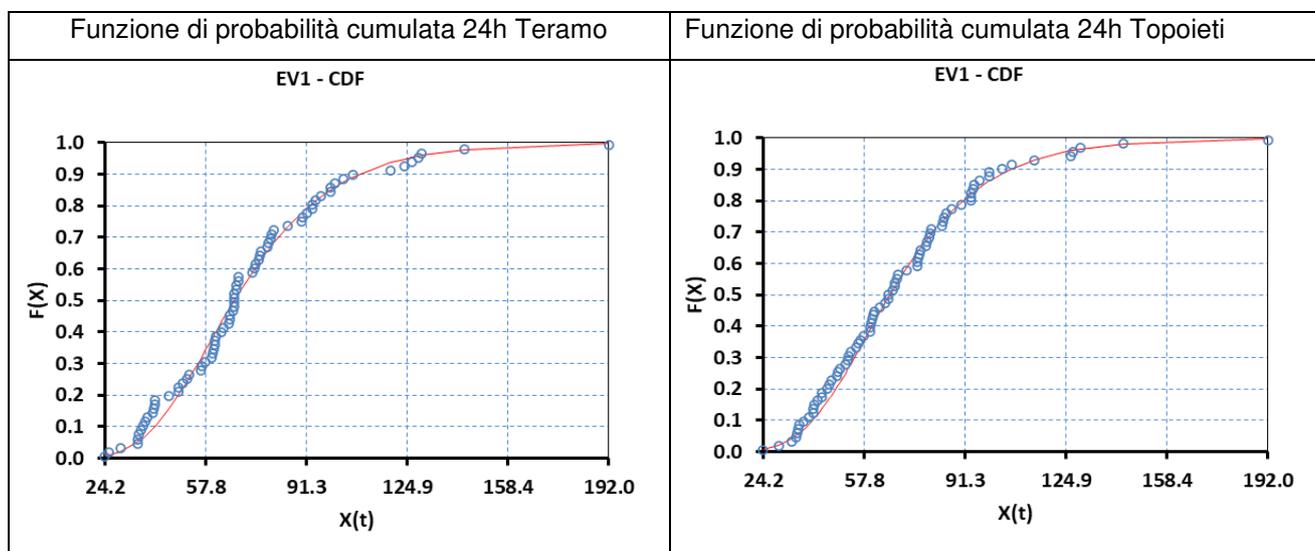
Il test consiste nella valutazione della massima differenza  $D_0$  tra la  $F(h)$  e la  $P(h)$ :

$$D_o = \text{MAX}[F(h) - P(h)]$$

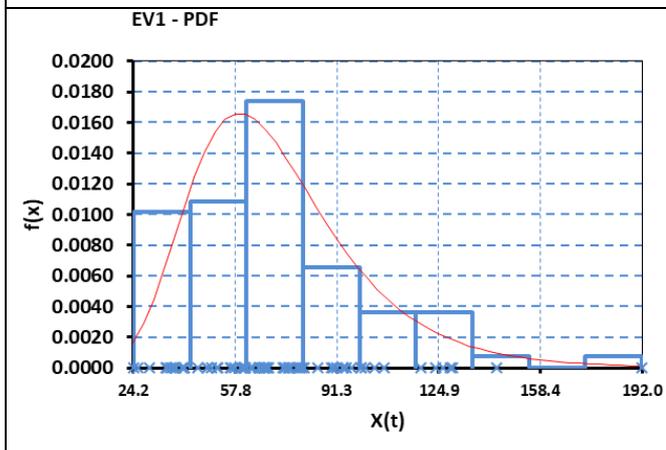
Perché l'ipotesi fatta sulla natura della distribuzione teorica risulti accettabile, occorre verificare che il valore  $D_o$  sia inferiore ad un valore critico  $D_c$ , funzione della dimensione (N) del campione e del livello di significatività  $L_s$ . Per cui, ad un livello di 0,05, la probabilità che l'ipotesi statistica sia vera è pari al 95%.

Nella seguente tabella si riassumono i risultati dei test applicati alla distribuzione di Gumbel.

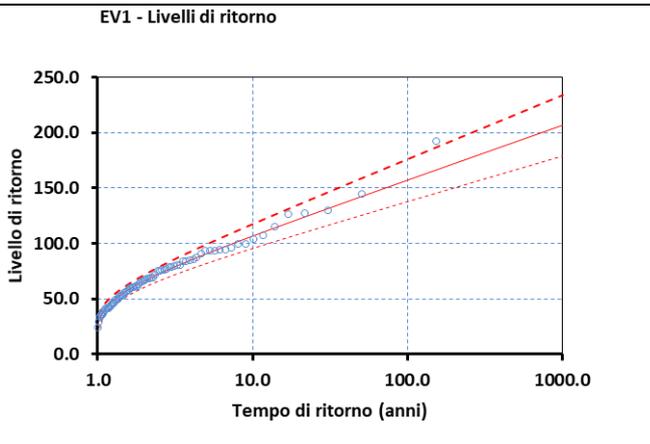
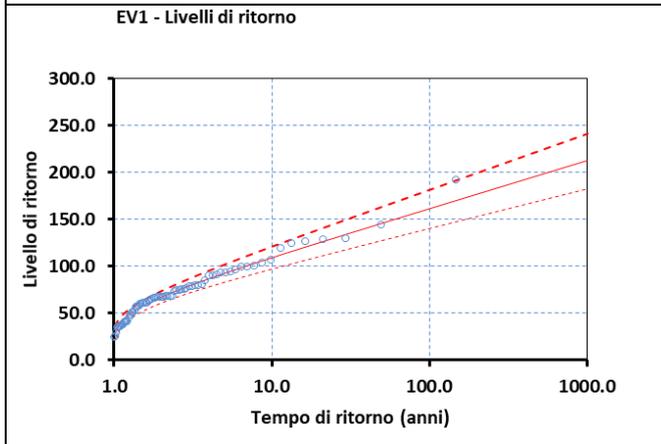
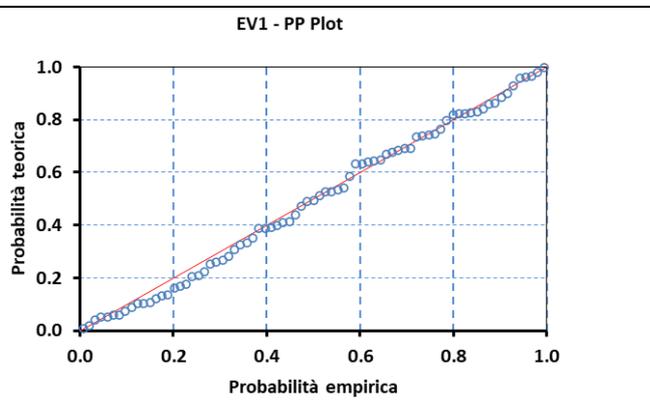
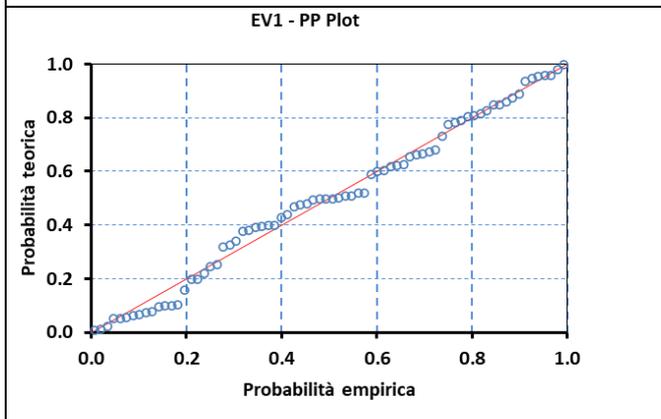
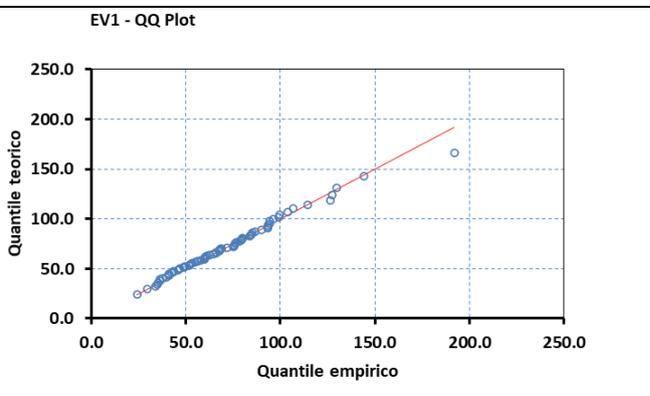
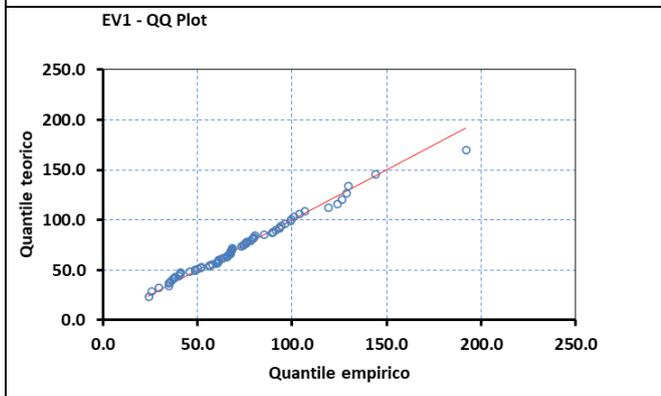
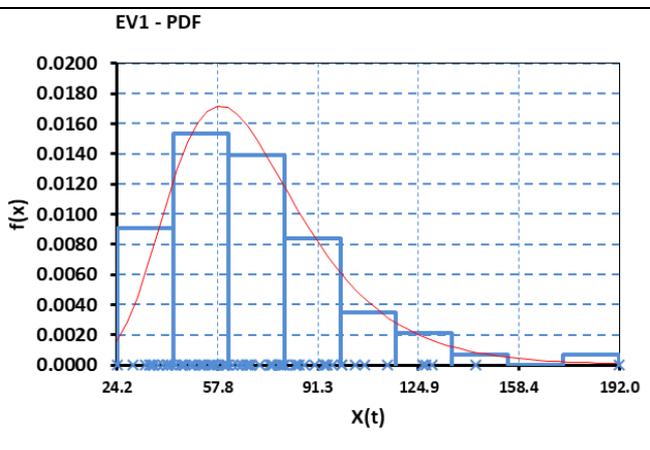
Test di bontà di adattamento				
Livello di significatività 5%				
Dati Teramo		Statistica	P-Value	Esito
24 ore	Kolmogorov-Smirnov	0.0799	0.7328	NON RIGETTABILE
	$\chi^2$ Pearson	28.4865	0.1269	NON RIGETTABILE
12 ore	Kolmogorov-Smirnov	0.0702	0.8585	NON RIGETTABILE
	$\chi^2$ Pearson	18.1081	0.6422	NON RIGETTABILE
6 ore	Kolmogorov-Smirnov	0.0740	0.8122	NON RIGETTABILE
	$\chi^2$ Pearson	26.5405	0.1866	NON RIGETTABILE
3 ore	Kolmogorov-Smirnov	0.0584	0.9626	NON RIGETTABILE
	$\chi^2$ Pearson	15.5135	0.7963	NON RIGETTABILE
Dati Topoieti		Statistica	P-Value	Esito
24 ore	Kolmogorov-Smirnov	0.0536	0.9800	NON RIGETTABILE
	$\chi^2$ Pearson	10.9870	0.9749	NON RIGETTABILE
12 ore	Kolmogorov-Smirnov	0.0787	0.7272	NON RIGETTABILE
	$\chi^2$ Pearson	13.5844	0.9156	NON RIGETTABILE
6 ore	Kolmogorov-Smirnov	0.0742	0.7908	NON RIGETTABILE
	$\chi^2$ Pearson	23.9740	0.3486	NON RIGETTABILE
3 ore	Kolmogorov-Smirnov	0.0528	0.9829	NON RIGETTABILE
	$\chi^2$ Pearson	12.2857	0.9512	NON RIGETTABILE



Funzione densità di probabilità 24h Teramo



Funzione densità di probabilità 24h Topoieti



#### 4.4 STIMA DELLE PERDITE E DELLA PIOGGIA EFFETTIVA

La stima dei valori di pioggia netta o effettiva sono stati ricavati mediante l'applicazione del metodo proposto dal Soil Conservation Service (1972), noto con il nome di Curve Number (CN), che consente di quantificare le perdite idrologiche iniziali.

L'espressione per il calcolo della pioggia netta  $P_n$  è:

$$P_n = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

dove:

$P$ = altezza di pioggia lorda

$I_a$ = valore delle perdite per invaso superficiale, posto pari a  $0,2 \times S$  secondo le indicazioni note in letteratura;

$S$ = volume specifico di saturazione [mm]. Dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo, rappresentati dal paramtro CN, secondo la relazione:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

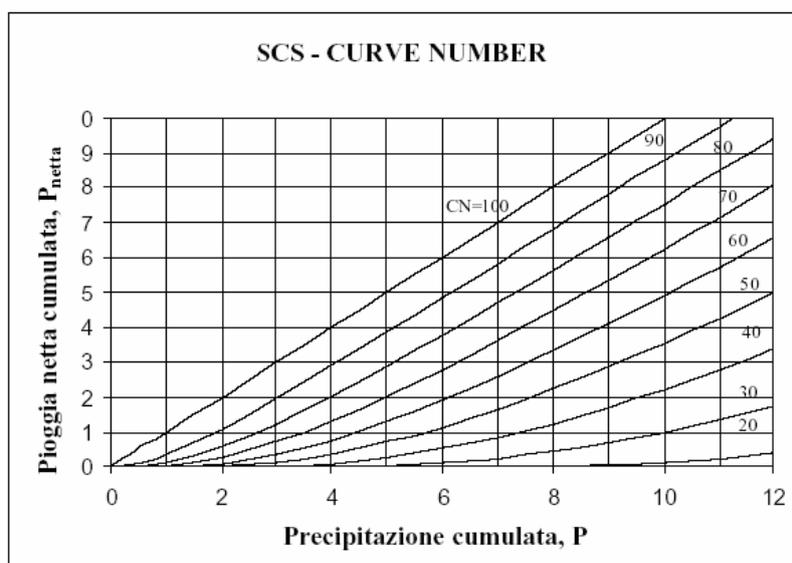


Figura 4-3: Influenza del parametro CN nella stima del volume di pioggia netta

La determinazione del parametro CN è ottenuta in base al grado di umidità del suolo prima dell'evento meteorico ed alla tipologia litologica e pedologica del terreno. Per CN pari a 100 il deflusso superficiale coincide con la pioggia totale cumulata, per cui l'infiltrazione risulta nulla, viceversa per CN pari a 0 si ha una retta orizzontale corrispondente a superfici completamente permeabili.

Tipo di suolo	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. Il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
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.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in superficie.

Figura 4-4: Classificazione dei tipi idrologici di suolo secondo il metodo SCS-CN

La classificazione del tipo di suolo è funzione delle caratteristiche di permeabilità secondo la suddivisione proposta dal Soil Conservation Service che prevede quattro diversi livelli di potenzialità di deflusso; nel caso in esame, si reputa adeguato considerare i suoli in classe A, ovvero aventi potenzialità di deflusso scarsa. La suddivisione in base al tipo di copertura o uso del suolo comprende invece aree caratterizzate da coperture vegetali, condizioni di conservazione, destinazione d'uso. Il bacino viene pertanto suddiviso in zone omogenee caratterizzate dal medesimo valore del parametro CN. Il valore complessivo del CN del bacino è ottenuto come media pesata dei valori imposti sulle i-esime sub-aree:

$$CN = p_1CN_1 + p_2CN_2 + \dots + p_nCN_n$$

dove  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_n$  sono le percentuali dell'intera area del bacino caratterizzata da un valore del parametro rispettivamente pari a  $CN_1$ ,  $CN_2$ , ...,  $CN_n$ . I valori del CN corrispondente alla classe AMC II per zone omogenee sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 4-6

VALORI DEL CN CORRISPONDENTE ALLA CLASSE AMC II				
Tipo di copertura	A	B	C	D
Aree agricole con presenza di spazi naturali	62	71	78	81
Aree Urbane	98	98	98	98
Area residenziale	77	85	90	92
Cava	60	60	60	60
Distretti industriali	81	88	91	93
Bacini d'acqua	100	100	100	100
Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo estivo - autunnale/primaverile	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo primaverile - estivo	72	81	88	91
Colture temporanee associate a colture permanente	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori non irrigui	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori irrigui	72	81	88	91
Oliveti irrigui	72	81	88	91
Oliveti non irrigui	62	71	78	81
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Seminativi in aree non irrigue	62	71	78	81
Sistemi colturali e particellari complessi	72	81	88	91
Vigneti irrigui	72	81	88	91
Vigneti non irrigui	62	71	78	81
Zone boscate	45	66	77	83

Per quanto riguarda l'influenza dello stato di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico, l'SCS individua tre classi, AMC I, AMC II, AMC III, caratterizzate da diverse condizioni iniziali (AMC= Antecedent Moisture Condition) a seconda del valore assunto dall'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento meteorico. L'attribuzione della classe AMC si basa sui criteri riportati nella tabella seguente:

Tabella 4-7

Classe AMC	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 12.7 mm	<35.5 mm
II	12.7-28.0 mm	35.5-53.3 mm
III	>28.0 mm	>53.3 mm

I valori della Tabella 4-6 si riferiscono ad una condizione media di umidità del terreno all'inizio della precipitazione (classe II).

Nel presente studio, per considerare la situazione più gravosa, si è fatto riferimento a condizioni di saturazione massime (AMC III) che forniscono valori di CN più elevati e quindi più cautelativi. La conversione da CN II a CN III è stata eseguita mediante la seguente formula:

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{0.43 + 0.0057CN(II)}$$

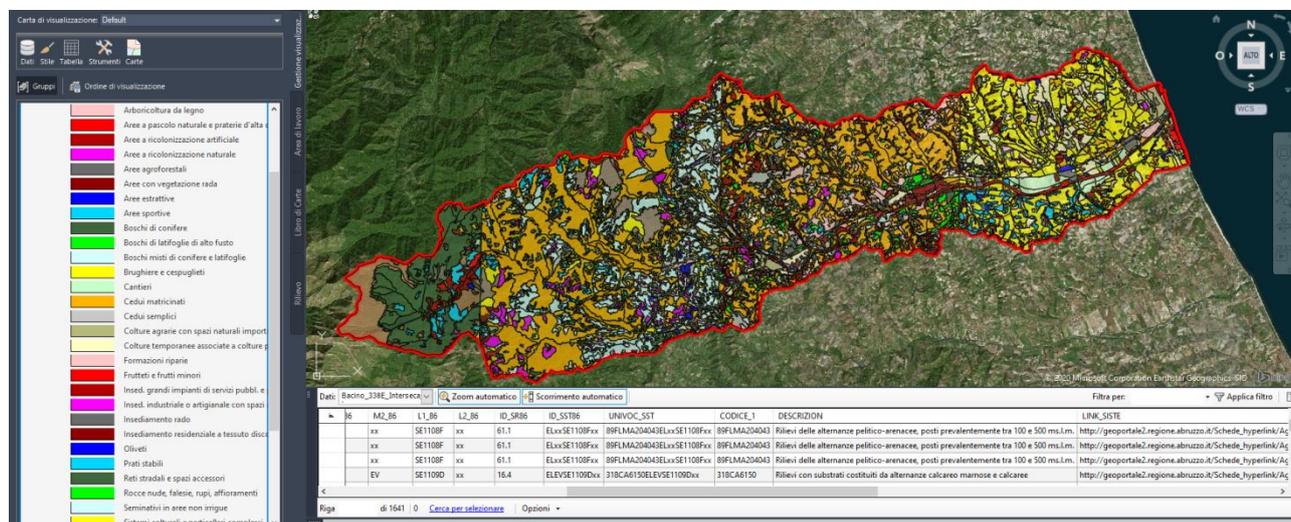


Figura 4-5: Uso del suolo bacino del Fiume Tordino – Fonte: Geoportale Regione Abruzzo

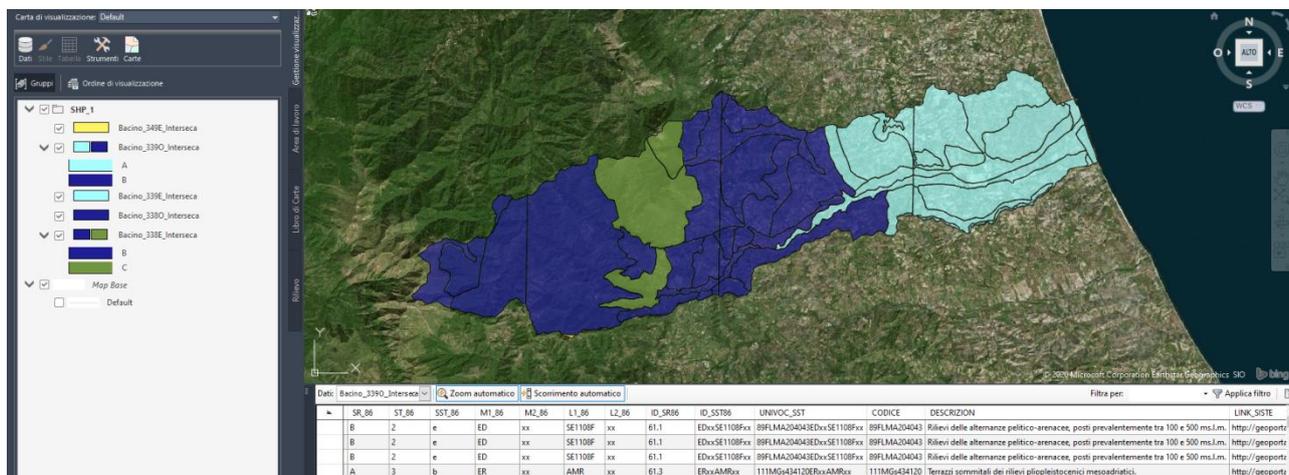


Figura 4-6: Tipologia geologica dei suoli del bacino Fiume Tordino – Fonte: Geoportale Regione Abruzzo

Sulla base delle cartografie disponibili sul Geoportale della Regione Abruzzo e con l’ausilio di software CAD in grado di lavorare in ambiente GIS (Civil 3d, Map 3d) sono stati incrociati ed interrogati i dati di uso e tipologia geologica del suolo ricadenti nell’area del bacino del Tordino. Il valore del Curve Number in riferimento alle diverse classi AMC precedentemente descritte è riportato in Tabella 4-8:

Tabella 4-8

	CN II	CN III
CN	64	81

#### 4.5 SCHEMATIZZAZIONE DELLA RISPOSTA DEL BACINO ALLE SOLLECITAZIONI METEORICHE

La schematizzazione della risposta del bacino alle sollecitazioni meteoriche è stata condotta mediante l’utilizzo di un modello numerico di afflussi – deflussi HEC-HMS, che ha consentito di determinare in questo modo le portate idriche (idrogrammi di piena) da assegnare al modello idraulico, quali condizioni al contorno in ingresso.

Il software per la modellazione idrologica HMS (Hydrologic Modeling System), creato dal US Army Corps of Engineers (USACE), ha lo scopo di simulare i processi di scorrimento superficiale dovuti a precipitazioni in sistemi delimitati da spartiacque. Il programma è un modello matematico che contiene una vasta classificazione di metodi per la simulazione dello scorrimento idrico superficiale; le componenti fondamentali del modello idrologico sono:

- modello di stima delle precipitazioni lorde al suolo;
- modello di trasformazione afflussi-deflussi;
- modello di formazione dell’onda di piena.

##### **Modello di stima delle precipitazioni lorde al suolo**

Il modello di stima delle precipitazioni lorde al suolo permette di ricostruire, a partire da misure di pioggia puntuali e/o distribuite in zone limitate, la quantità di precipitazione che interessa il bacino in ogni punto per tutta la durata dell’evento. La precipitazione può rappresentare un evento di pioggia osservato, un evento ipotetico costruito su base statistica o un evento limite ottenuto con leggi statistiche. Nel caso in esame, sono stati considerati gli eventi corrispondenti ai tempi di ritorno presi come riferimento nella zonizzazione delle mappe del PSDA ovvero TR=50, 100 e 200, pertanto si fa riferimento alle curve desunte con l’analisi statistica di Gumbel, le cui altezze di pioggia lorda sono state inseriti nel modello idrologico come eventi meteorici di riferimento nella simulazione (Frequency storm).

##### **Modello di trasformazione afflussi-deflussi**

Questo modello si prefigge di stimare l'insieme dei processi idrologici che concorrono alla formazione del deflusso a partire dalla precipitazione meteorica. La precipitazione prima di raggiungere il terreno viene parzialmente intercettata dalla vegetazione e dagli invasi naturali o artificiali, mentre in parte raggiunge il suolo. La componente intercettata è soggetta a parziale evaporazione. Una parte della precipitazione che giunge a terra si infiltra nel terreno, un'altra ruscella sulla superficie. Il deflusso superficiale si produce quando la portata meteorica supera la capacità di infiltrazione.

Nel caso in esame, per la stima del deflusso superficiale, si è utilizzato il metodo SCS Curve Number sviluppato dal Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture. Il deflusso è calcolato in base alla differenza tra precipitazioni e perdite, inglobando però in un unico termine di perdita anche fattori diversi dall'infiltrazione. I parametri per descrivere le perdite sono due: perdita iniziale (Initial Abstraction) e CN (Curve Number) che dipende dal tipo di suolo e dall'umidità relativa.

### **Modello di formazione dell'onda di piena**

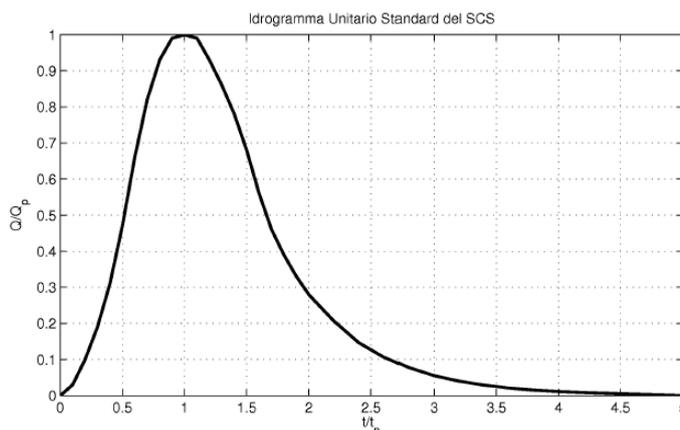
Il codice di calcolo consente di determinare l'andamento temporale della portata  $Q(t)$  (idrogramma di piena) nella sezione fluviale di chiusura del bacino analizzato partendo dai valori massimi lordi di pioggia ai quali viene applicato il parametro correttivo CN. Il modello matematico consente molteplici approcci finalizzati alla stima dell'onda di piena:

- Kinematik Wave: il metodo della corrvazione o cinematico schematizza il meccanismo del deflusso di piena come un puro fenomeno di trasferimento della massa liquida; ogni singola goccia di pioggia che si muove sulla superficie del bacino segue un percorso immutabile che dipende esclusivamente dalla posizione del punto in cui essa è caduta; inoltre la velocità di ogni singola goccia non è influenzata dalla presenza di altre gocce. La portata defluita si ottiene sommando tra loro le portate elementari che di presentano allo stesso istante alla sezione di chiusura.
- SCS Unit Hydrograph: è un modello lineare integrato che si basa su un idrogramma unitario adimensionale ricavato analizzando il comportamento di numerosi bacini negli Stati Uniti. L'unico parametro è costituito dal ritardo definito come tempo intercorrente tra baricentro dello ietogramma e l'istante di colmo di piena. È stato sviluppato dal Soil Conservation Service.
- Snyder Unit Hydrograph: è un modello lineare integrato, dove i parametri del modello sono costituiti dal ritardo  $t_{lag}$  (ovvero il tempo trascorso tra il baricentro dello ietogramma e l'istante del picco di piena nella sezione di chiusura) ed il coefficiente di picco  $C_p$ .
- Clark Unit Hydrograph: è un modello lineare integrato che tiene conto dell'effetto di propagazione e di laminazione a cui è sottoposto il deflusso superficiale quando si sposta attraverso il bacino per arrivare alla sezione di chiusura. Si basa su due parametri: Time of Concentration (h) (tempo impiegato dalla particella più lontana dalla sezione di chiusura per raggiungere la stessa) e Storage Coefficient (h) (tiene conto dell'effetto di immagazzinamento temporaneo, schematizzando un serbatoio lineare). La forma dell'idrogramma è quella di Clark.

Nel caso in esame si è scelto di utilizzare il metodo dell'idrogramma unitario definito dal SCS.

L'idrogramma unitario SCS è fornito per punti nella seguente tabella in forma adimensionale, in cui  $t_p$  è l'istante in cui si verifica la portata di picco  $Q_p$ :

$t/t_p$	$Q/Q_p$	$t/t_p$	$Q/Q_p$	$t/t_p$	$Q/Q_p$
0.0	0	1.1	0.990	2.4	0.147
0.1	0.030	1.2	0.930	2.6	0.107
0.2	0.100	1.3	0.860	2.8	0.077
0.3	0.190	1.4	0.780	3.0	0.055
0.4	0.310	1.5	0.680	3.2	0.040
0.5	0.470	1.6	0.560	3.4	0.029
0.6	0.660	1.7	0.460	3.6	0.021
0.7	0.820	1.8	0.390	3.8	0.015
0.8	0.930	1.9	0.330	4.0	0.011
0.9	0.990	2.0	0.280	4.5	0.005
1.0	1.000	2.2	0.207	5.0	0



Il tempo di picco  $t_p$  è dato dalla seguente equazione:

$$t_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag}$$

in cui:

$\Delta t$  = durata dell'evento meteorico

$t_{lag}$  = tempo di ritardo, ovvero il ritardo del picco rispetto al baricentro dello ietogramma

Il dato richiesto dal modello di calcolo è, per ciascuno dei sottobacini individuati, il tempo di ritardo  $t_{lag}$ , che è legato al tempo di corrivazione  $t_c$  dalla seguente equazione:

$$t_{lag} = 0.6 * t_c$$

Il valore del  $t_{lag}$  potrebbe essere determinato sulla base del valore del tempo di corrivazione stimato nell'ambito dello studio del PSDA pari a 9,6 ore. Tuttavia, considerate le numerose formule presenti in letteratura, sono stati calcolati i valori del tempo di ritardo anche con due delle relazioni più conosciute:

formula di Mockus

$$t_{lag} = 0.342 \frac{L^{0.8}}{S^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

formula di Bocchiola

$$t_{lag} = 0.26 * L^{0.82} * S^{-0.2} * (1 + S)^{0.13}$$

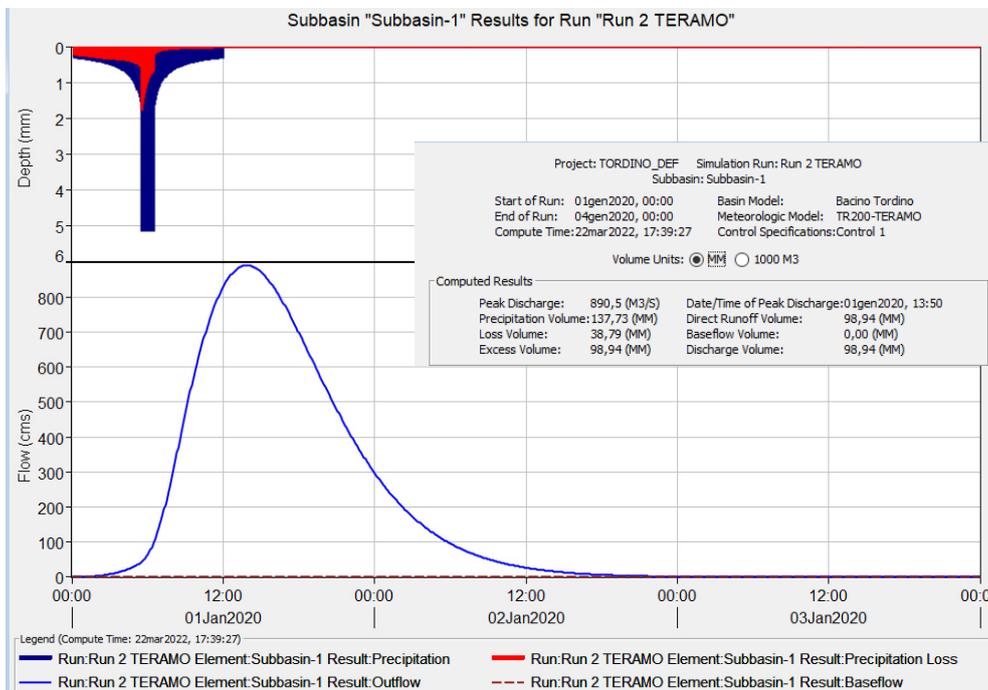
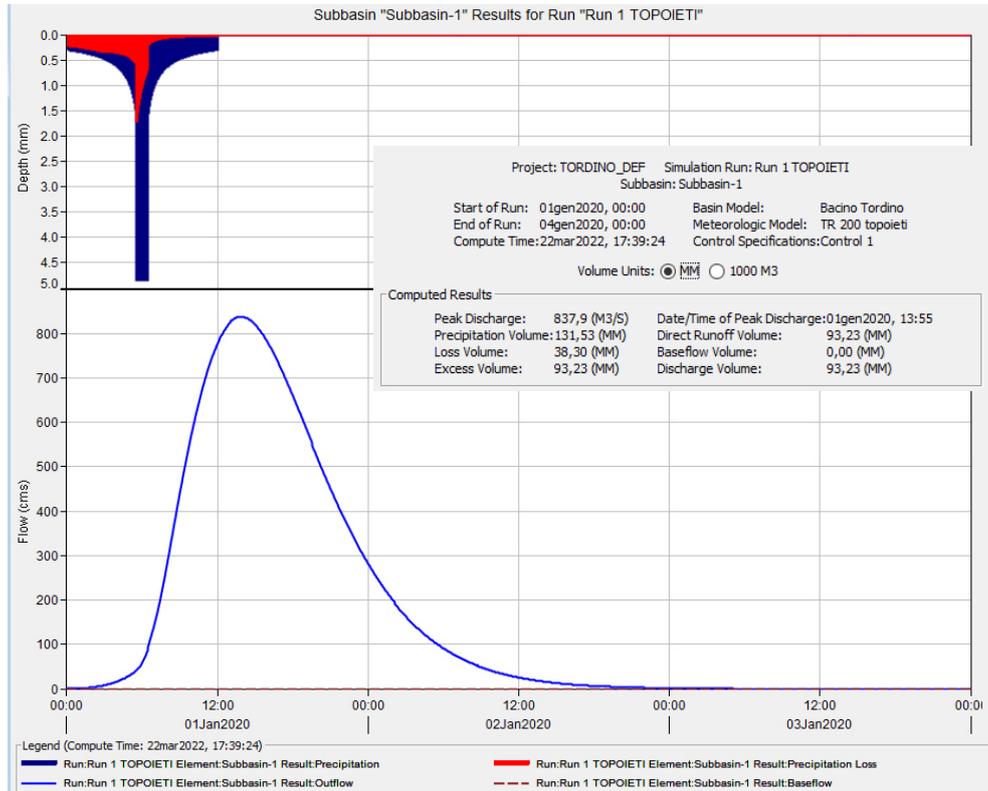
In cui  $s$  è la pendenza media del bacino espressa in %,  $L$  la lunghezza del massimo percorso idraulico [Km],  $CN$  è il curve number caratteristico del bacino,  $S'$  è la ritenzione potenziale [mm].

Formula	t <sub>lag</sub> [ore]	t <sub>lag</sub> medio [ore]
0.6x $t_c$	5.76	<b>6.81</b>
t <sub>lag</sub> Mockus	7.35	
t <sub>lag</sub> Bocchiola	7.33	

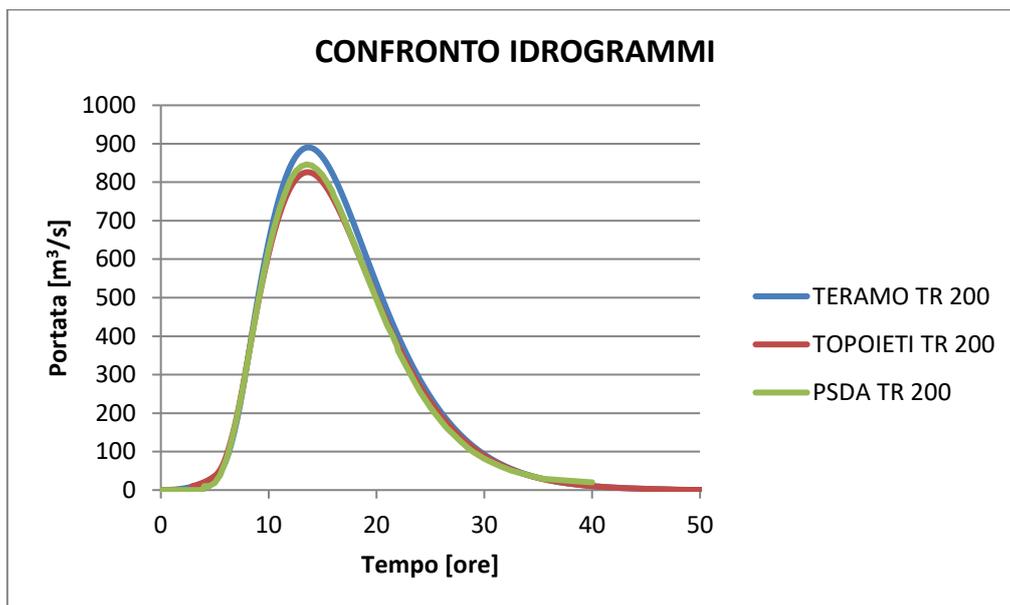
#### 4.5.1 Determinazione idrogrammi di piena

Gli idrogrammi desunti dal modello HEC-HMS sono stati determinati per tempi di pioggia prossimi al tempo di corrivazione pari a 9,6 ore secondo gli studi condotti nell'ambito del PSDA. Laddove non è stato possibile scegliere l'intervallo "Storm duration" adeguato, si è implementato il valore di tempo di pioggia immediatamente superiore.

A seguire, si riportano gli idrogrammi del bacino in esame ed i corrispondenti valori di picco della portata di progetto riferita ad un tempo di ritorno duecentennale, sia per l'elaborazione svolta secondo il metodo dei "Topoieti" sia con i dati della singola stazione di Teramo.

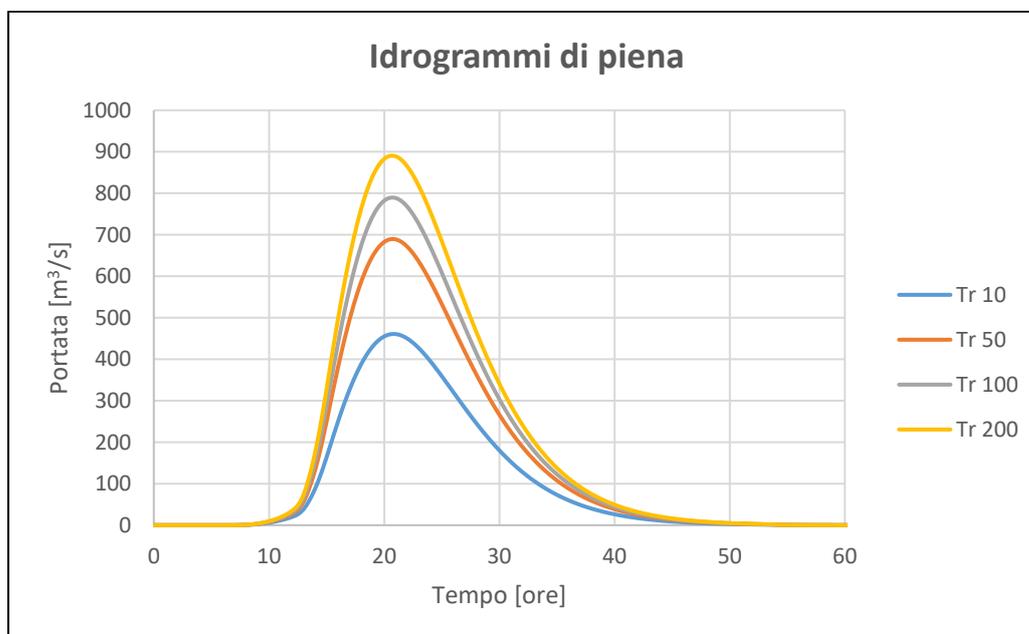


PSDA	Topoieti	Teramo
845 m <sup>3</sup> /s	838 m <sup>3</sup> /s	891 m <sup>3</sup> /s



Gli idrogrammi così determinati sono stati confrontati con l'idrogramma del PSDA preso come input nel PFTE, sia in termini di valori di portata di picco riferita ad un tempo di ritorno duecentennale, sia per quanto riguarda i volumi di pioggia sottesi.

Alla luce di quanto esposto, la funzione che massimizza le portate ed i volumi è quella risultante dall'implementazione dei dati idrologici della stazione pluviometrica di Teramo. L'idrogramma Teramo è stato quindi utilizzato come input nelle simulazioni idrauliche bidimensionali a moto vario e per la verifica monodimensionale del viadotto Tordino.



FIUME TORDINO		
Tr	$h = a \times t^n$ [mm]	$Q_{max}$ [m³/s]
10 anni	$h=37.221 \times t^{0.330}$	460.8
50 anni	$h=50.628 \times t^{0.322}$	689.6
100 anni	$h=56.291 \times t^{0.323}$	789.6
200 anni	$h=61.932 \times t^{0.322}$	890.5

## 5 BACINI SECONDARI

L'area del basso corso del bacino del Fiume Tordino è caratterizzata dalla presenza di diversi affluenti facenti parte del reticolo idrografico secondario denominati "fossi".

L'infrastruttura di progetto interferisce con n.4 fossi, nello specifico:

- Fosso Cavone;
- Fosso Corno;
- Fosso Maise;
- Fosso Mustaccio

Per ognuno di essi è stato eseguito lo studio idrologico riferito al sottobacino corrispondente col fine di determinare le portate di picco per la verifica idraulica degli attraversamenti idraulici interferenti.



Figura 5-1: Fosso Cavone

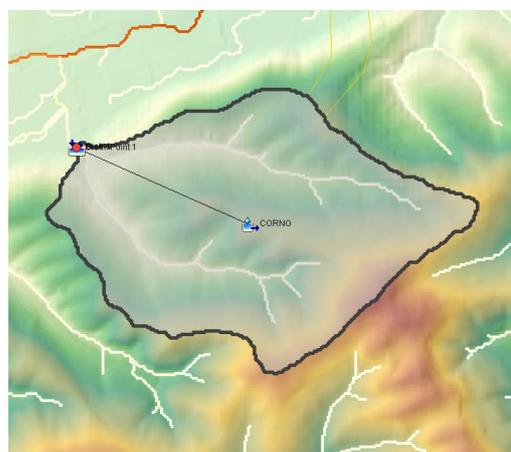


Figura 5-2: Fosso Corno

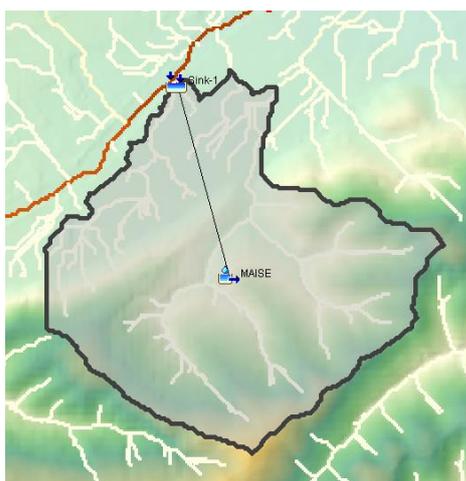


Figura 5-3: Fosso Maise



Figura 5-4: Fosso Mustaccio ed ultimo canale

Dopo aver intercettato le acque di ruscellamento provenienti dai versanti collinari, proseguono nell'ultimo tratto pianeggiante prima di confluire nel fiume Tordino. I parametri geomorfologici corrispondenti a ciascun bacino esaminato sono riportati in Tabella 5-1:

Tabella 5-1

	FOSSO CAVONE	FOSSO CORNO	FOSSO MAISE	FOSSO MUSTACCIO	Canale Progr 1+517.73
Area bacino [km2]	3.10	2.40	2.86	9.69	2.08
L percorso di flusso max [km]	2.70	2.75	2.64	8.18	3.07
Pendenza bacino [m/m]	0.21	0.21	0.15	0.11	0.04
Pendenza asta [m/m]	0.05	0.07	0.07	0.03	0.01
Quota max bacino [m s.l.m.]	264.00	224.70	145.00	227.00	84
Quota alla sezione di chiusura [m s.l.m.]	40.50	36.75	18.50	8.50	7.2
Area impermeabile [%]	4.84	3.20	5.70	5.21	36.59
CN II	65.74	65.15	66.05	65.88	77.2
CN III	81.69	81.30	81.90	81.78	88.7
Max capacità di ritenzione al suolo [mm]	56.91	58.42	56.14	56.57	32.31
Perdite iniziali [mm]	11.38	11.68	11.23	11.31	6.46

Dai parametri geomorfologici del bacino è stato possibile stimare il tempo di corruzione ed il tempo di ritardo, applicando le ben note relazioni presenti in letteratura e di seguito riportate:

		FOSSO CAVONE	FOSSO CORNO	FOSSO MAISE	FOSSO MUSTACCIO	Canale Progr 1+517.73
Pasini	$t_c = 0,108 \frac{\sqrt[3]{A * L}}{\sqrt{i}}$	0.66	0.52	0.70	-	-
Ventura	$t_c = 0,1272 \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{i}}$	0.49	0.43	0.56	1.50	0.92
Pezzoli	$t_c = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i}}$	0.32	0.33	0.37	1.70	0.84
Kirpich	$t_c = 0,02221 \left(\frac{L}{\sqrt{i}}\right)^{0,8}$	0.38	0.39	0.43	1.45	0.83
tc medio [ore]		0.46	0.42	0.52	1.55	0.86
tlag [ore]	$t_{lag} = t_c * 0,6$	0.28	0.25	0.31	0.93	0.52

La durata della precipitazione critica per il bacino dipende dall'estensione del bacino stesso. Questa circostanza è una logica conseguenza del fenomeno di trasferimento che impone che ogni particella liquida che cade in un punto del bacino deve seguire un suo percorso per giungere alla sezione di chiusura, impiegando, a parità di velocità di trasferimento, un tempo tanto maggiore quanto più lungo è il percorso da effettuare.

Un tempo caratteristico dell'evento di piena è come già detto il tempo di ritardo del bacino; la determinazione del tempo di ritardo consente di individuare le piogge critiche aventi tempo di ritorno TR pari a 200 anni e durata pari al tempo di ritardo stesso. Le risultanze delle simulazioni matematiche svolte con il software Hec-HMS consentono di ricavare gli idrogrammi di piena, relativi al tempo di ritorno TR 200 anni, riguardanti le aste fluviali implementate con i modelli matematici.

Le altezze di pioggia implementate nei modelli idrologici derivano dalla curva di possibilità pluviometrica definita per la stazione di Teramo e riferita ad un tempo di ritorno bicentenario:

$$h = a * t^n = 61.932 * t^{0.322}$$

Diversi studi hanno dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia  $h_{t,T}$ , con  $t$  minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia di durata 60 minuti e pari tempo di ritorno  $T$  è dipendente solo dalla durata  $t$  espressa in minuti:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{t}{60}\right)^s$$

In cui  $s$  è un coefficiente che assume un diverso valore numerico in dipendenza della regione in esame. Per l'Abruzzo si assume il valore di 0.227 [Ferro V., Bagarello V. (1996)].

Per i bacini caratterizzati da un tempo di corrivazione inferiore a 60 minuti, i valori delle altezze di pioggia inseriti nei modelli idrologici sono quindi stati corretti sulla base della predetta relazione.

Le portate a cui si è fatto riferimento sono state determinate mediando i valori massimi risultanti dalle simulazioni effettuate con due modelli meteorologici differenti: il Frequency Storm che usa dati di pioggia elaborati statisticamente per creare uno ietogramma a blocchi alternati per un determinato tempo di ritorno ed il metodo User-Specified Hyethograph, che consente di immettere direttamente lo ietogramma di progetto.

Le portate di picco in corrispondenza delle rispettive sezioni di chiusura sono riportate nella seguente tabella.

Tabella 5-2

Corso d'acqua	Q <sub>200</sub> [m <sup>3</sup> /s] User Specified Hyethograph	Q <sub>200</sub> [m <sup>3</sup> /s] Frequency Storm	Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /s] T <sub>R</sub> 200 anni
Fosso Cavone	36.5	42.7	39.6
Fosso Corno	28.3	31.1	29.7
Fosso Maise	28.7	35.2	31.95
Fosso Mustaccio	55.5	55.9	55.70
Canale Progr 1+517.73	29.6	30.5	30.05

In corrispondenza dell'interferenza dell'infrastruttura di progetto con canali non censiti ma individuati durante le operazioni di rilievo e quindi considerati "minori", la definizione della portata è stata definita mediante l'applicazione della formula razionale:

$$Q_{max} = \frac{\Phi \times h \times S}{3.6 \times t_c}$$

in cui:

$\Phi$  = coefficiente di deflusso per la stima della pioggia netta;

$t_c$  = tempo di corrivazione, stimato come somma del tempo di accesso in rete ed il tempo di percorrenza della rete stessa calcolato come rapporto tra la lunghezza del tratto e la velocità di moto uniforme in rete;

$h$  = altezza di pioggia lorda al tempo  $t_c$  ricavata dalla curva di possibilità pluviometrica;

$S$  = superficie del bacino scolante.

SEZIONE CHIUSURA	AREA [mq]	L [m]	Qmax [m]	Qmin [m]	i [m/m]	tc [ore]	∅	h [mm]	Q [mc/s]
2+729	48740	565	31.00	27.00	0.007	0.377	0.29	49.62	0.524
2+972	533708	1730	133.00	24.20	0.129	1.099	0.38	63.84	3.222
3+273	140000	740	80.00	22.00	0.074	0.383	0.29	49.81	1.457
3+832	169407	600	69.00	19.00	0.020	0.490	0.31	52.67	1.549
4+082	220000	900	98.00	17.00	0.093	0.752	0.37	58.05	1.739
4+247	450000	1310	123.00	21.00	0.180	0.276	0.31	46.22	6.454