

**A2 Autostrada del Mediterraneo**  
**Lavori di costruzione del nuovo**  
**svincolo di Cosenza Nord al Km 250+000**  
**in località Settimo di Rende**

**PROGETTO DEFINITIVO**

<p><b>IL GEOLOGO</b></p> <p><i>Dott. Geol. Giuseppe Cerchiaro</i></p> <p>Ordine dei geologi della Calabria n. 528</p>	<p><b>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</b></p> <p><i>Ing. Federico Koch</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A24924</p>	<p><b>PROGETTAZIONE ATI:</b> (Mandataria)</p> <p><b>GP INGENGNERIA</b> <i>GESTIONE PROGETTI INGENGNERIA srl</i></p> <p>(Mandante)</p>
<p><b>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b></p> <p><i>Ing. Vincenzo Secreti</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Crotone n. 412</p>	<p><i>Ing. Paolo Orsini</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 13817</p>	<p>(Mandante)</p> <p><b>IRD</b> IRD ENGINEERING</p> <p><b>AIM</b> Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p> <p>(Mandante)</p> <p><b>HYpro</b> srl</p> <p>(Mandante)</p>
<p><b>VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</b></p> <p><i>Ing. Biagio Marra</i></p>	<p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p> <p><i>Ing. Vincenzo Secreti</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Crotone n. 412</p>	<p><b>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</b></p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> ORDINE INGEGNERI ROMA n. 140354035</p>

**STUDI ED INDAGINI PRELIMINARI**  
**IDRAULICA**

**Relazione idrologica**

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA
COMP.	PROGETTO	LIV. ANNO	T00ID00IDRRE01E.			
DP	UC0085	D19	T 0 0 I D 0 0 I D R R E 0 1		E	
E	Revisione a seguito istruttoria		Ottobre '22	Cupellaro	Resta	Guiducci
D	Revisione a seguito istruttoria		Sett. '22	Cupellaro	Resta	Guiducci
C	Revisione a seguito istruttoria		Luglio '22	Cupellaro	Resta	Guiducci
A	Emissione		Dicembre '21	Cupellaro	Resta	Guiducci
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

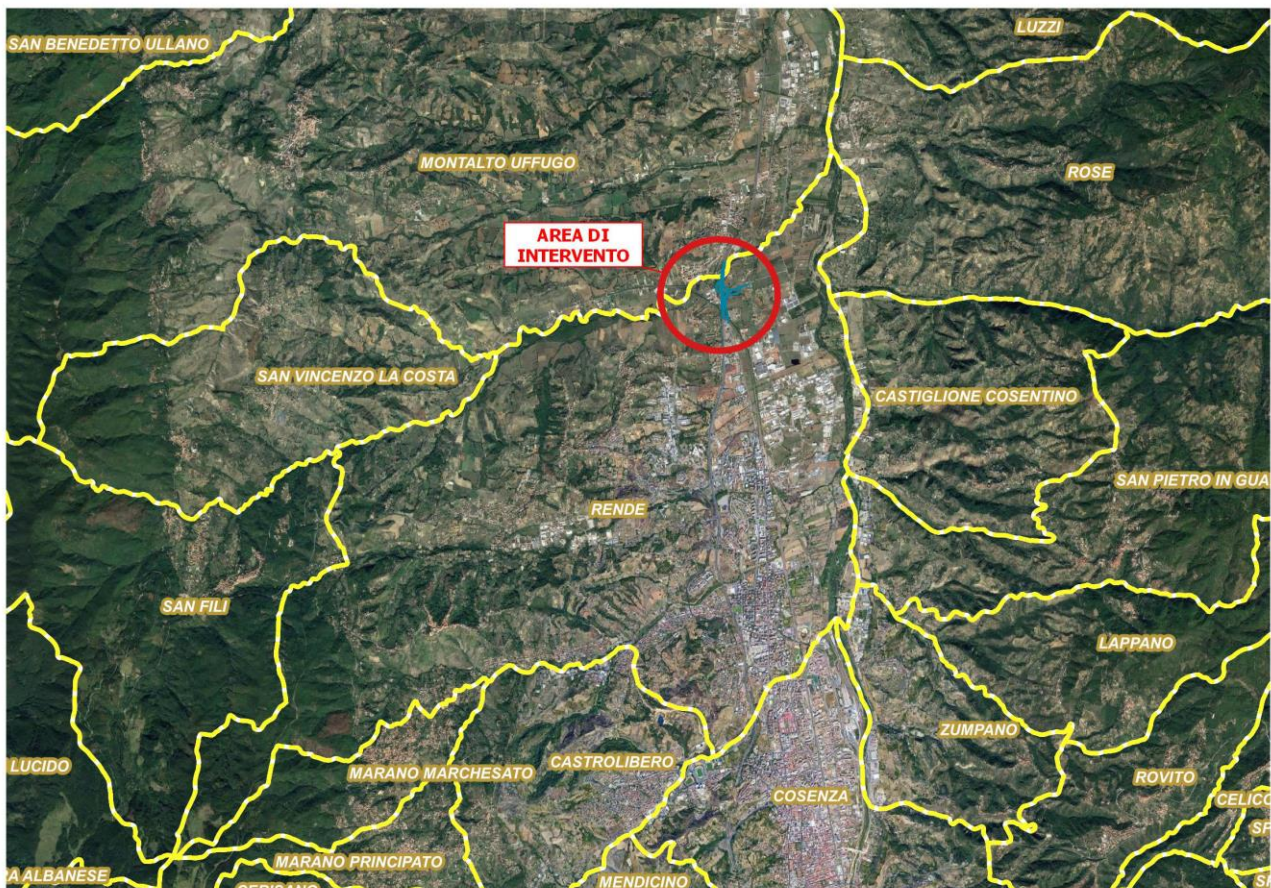
## INDICE

<b>1. - PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. - RICOSTRUZIONE QUADRO CONOSCITIVO.....</b>	<b>4</b>
2.1 . - INQUADRAMENTO AREA DI STUDIO .....	4
2.2 . - MODELLO DIGITALE DEL TERRENO.....	7
2.3. - GEOLOGIA.....	9
2.4 . - USO DEL SUOLO.....	11
2.5. - LITOLOGIA E PERMEABILITA' .....	13
2.6 . - CURVE NUMBER.....	17
2.7 . - PLUVIOMETRIA BACINO T. SETTIMO – METODO VAPI .....	19
2.8. - PLUVIOMETRIA BACINO T. SETTIMO – MODELLO PROBABILISTICO DI GUMBEL .....	22
2.8.1 STAZIONE DI MONTALTO UFFUGO .....	24
2.8.2 STAZIONE DI RENDE .....	27
2.8.3 STAZIONE DI ROSE .....	30
2.8.4 STAZIONE DI PAOLA.....	33
2.8.5 – VALIDAZIONE STATISTICA DELLA DISTRIBUZIONE ADOTTATA – TEST DEL $\chi^2$ .....	36
2.8.6 CONFRONTO CPP GUMBEL CON CPP METODO VAPI .....	38
2.9 . - PLUVIOMETRIA PER IDRAULICA DI PIATTAFORMA .....	39
2.10 . – CALCOLO PORTATE METODO RAZIONALE .....	42
2.11 . – CALCOLO PORTATE METODO VAPI .....	44
<b>3. - MODELLAZIONE IDROLOGICA.....</b>	<b>45</b>
3.1 . - MODELLISTICA UTILIZZATA.....	45
3.2 . - SOFTWARE HEC-HMS .....	45
3.3. - IMPLEMENTAZIONE MODELLO IDROLOGICO HEC-HMS .....	49
3.3.1 CARATTERISTICHE BACINO IDROGRAFICO .....	50
3.3.2 RISULTATI MODELLAZIONE IDROLOGICA.....	52
<b>4. - CONCLUSIONI.....</b>	<b>55</b>

## 1. - PREMESSA

La presente relazione idrologica è stata redatta al fine di fornire le indicazioni e gli strumenti per il corretto dimensionamento delle opere di regimazione delle acque superficiali interferenti e per la progettazione e verifica idraulica degli attraversamenti stradali del progetto relativo alla realizzazione del nuovo svincolo di Cosenza nord al km 250+000 in località Settimo di Rende. Tale progetto si inserisce nell'ambito dei lavori di ammodernamento e adeguamento al tipo 1b delle norme CNR/80, del tronco 1°, tratto 4°, lotto unico dell'Autostrada Salerno-Reggio Calabria.

Lo schema di svincolo è del tipo a trombetta, con cappio sul lato carreggiata sud dell'autostrada e viabilità di collegamento principalmente sul lato carreggiata nord all'interno di un'area pianeggiante racchiusa fra l'Autostrada Salerno - Reggio Calabria, le linee ferroviarie Sibari-Paola e Cosenza-Paola e l'area industriale di Settimo. L'intervento interessa la parte nord del territorio del comune di Rende al confine con il comune di Montalto Uffugo (vedi Fig. 1).



*Fig. 1: Inquadramento generale area di intervento su limiti amministrativi*

PROGETTAZIONE ATI:

Nel corso del presente studio verranno dapprima descritte nel dettaglio le diverse fasi che hanno portato alla ricostruzione del quadro conoscitivo, successivamente verranno descritte le modalità con cui sono state calcolate le Curve di Possibilità Pluviometrica relative al Bacino del T. Settimo applicando la metodologia riportata nel progetto VaPi Calabria e infine ci si soffermerà nei riguardi dell'implementazione del modello idrologico del bacino del T. Settimo mediante l'utilizzo del software HEC-HMS nella versione 4.8 e saranno analizzati i risultati ottenuti.

PROGETTAZIONE ATI:

## **2. - RICOSTRUZIONE QUADRO CONOSCITIVO**

La ricostruzione del quadro conoscitivo ha riguardato in primo luogo lo studio del bacino idrografico del Torrente Settimo teso a caratterizzare il bacino idrografico in termini di risposta idrologica e quindi per una migliore valutazione delle portate di piena con i diversi tempi di ritorno.

### **2.1 . - INQUADRAMENTO AREA DI STUDIO**

Il bacino del Torrente Settimo ha origine nel Comune di San Fili nella Serra Mezzana ad una quota di circa 1254.00 m. s.l.m. Esso si estende per una superficie di circa 40.22 Km<sup>2</sup> con una quota media di circa 436.00 m. s.l.m. interessando i Comuni di San Fili, San Vincenzo la Costa, Rende e Montalto Uffugo che rientrano tutti all'interno della Provincia di Cosenza (vedi Fig. 2). Le aree di studio che saranno oggetto di intervento ricadono nel territorio comunale di Rende (CS) in prossimità dell'autostrada A2 del Mediterraneo. Le aree di interesse risultano classificate parzialmente come aree di attenzione nella perimetrazione del rischio idraulico del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale aggiornato nel 2020 (vedi Fig. 3). La stessa area risulta in parte classificata anche come area di attenzione nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni. In particolare per quanto concerne il tratto del t. Settimo a monte dell'autostrada del Mediterraneo è presente un punto di attenzione come riportato nella cartografia rappresentata in Fig. 4 che mostra un dettaglio della perimetrazione PAI e PGRA in corrispondenza dell'area oggetto di intervento.

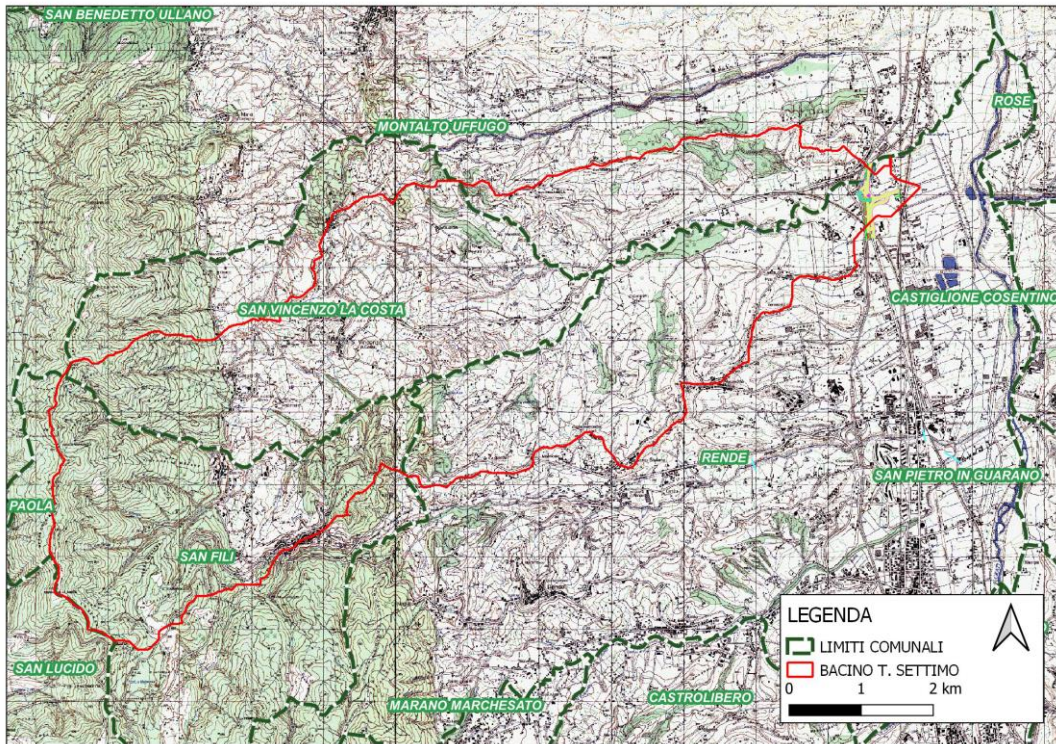


Fig. 2: Inquadramento bacino idrografico T. Settimo su IGM e Limiti Amministrativi

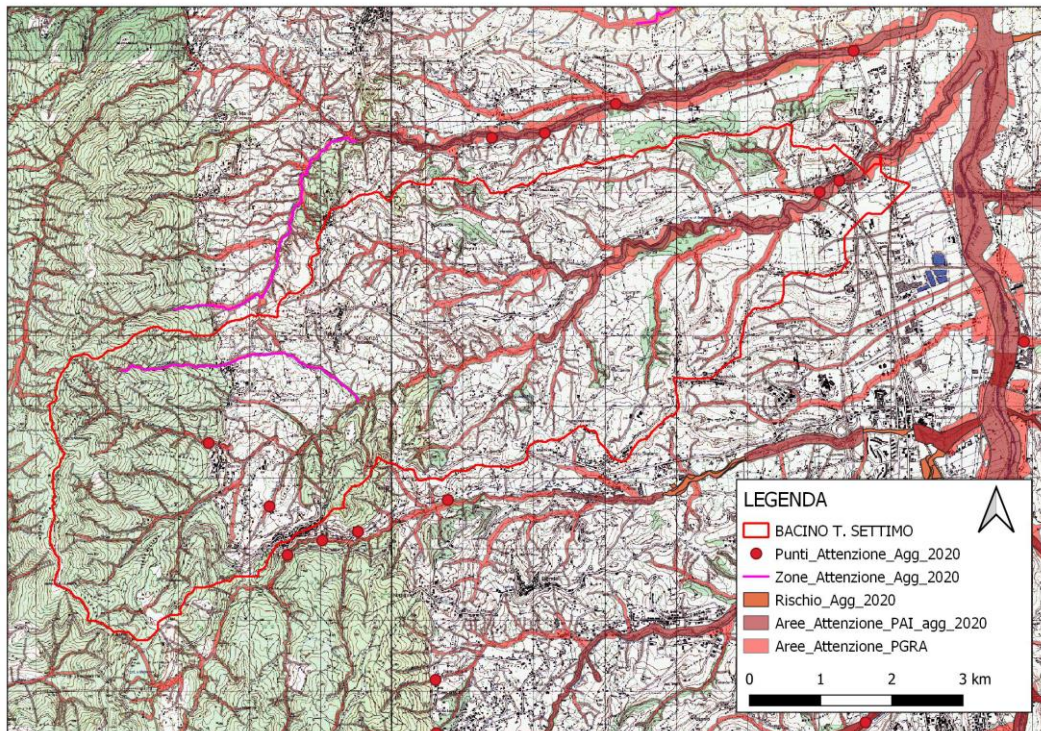


Fig. 3: Perimetrazione PAI e PGRA sul bacino idrografico del T. Settimo

PROGETTAZIONE ATI:

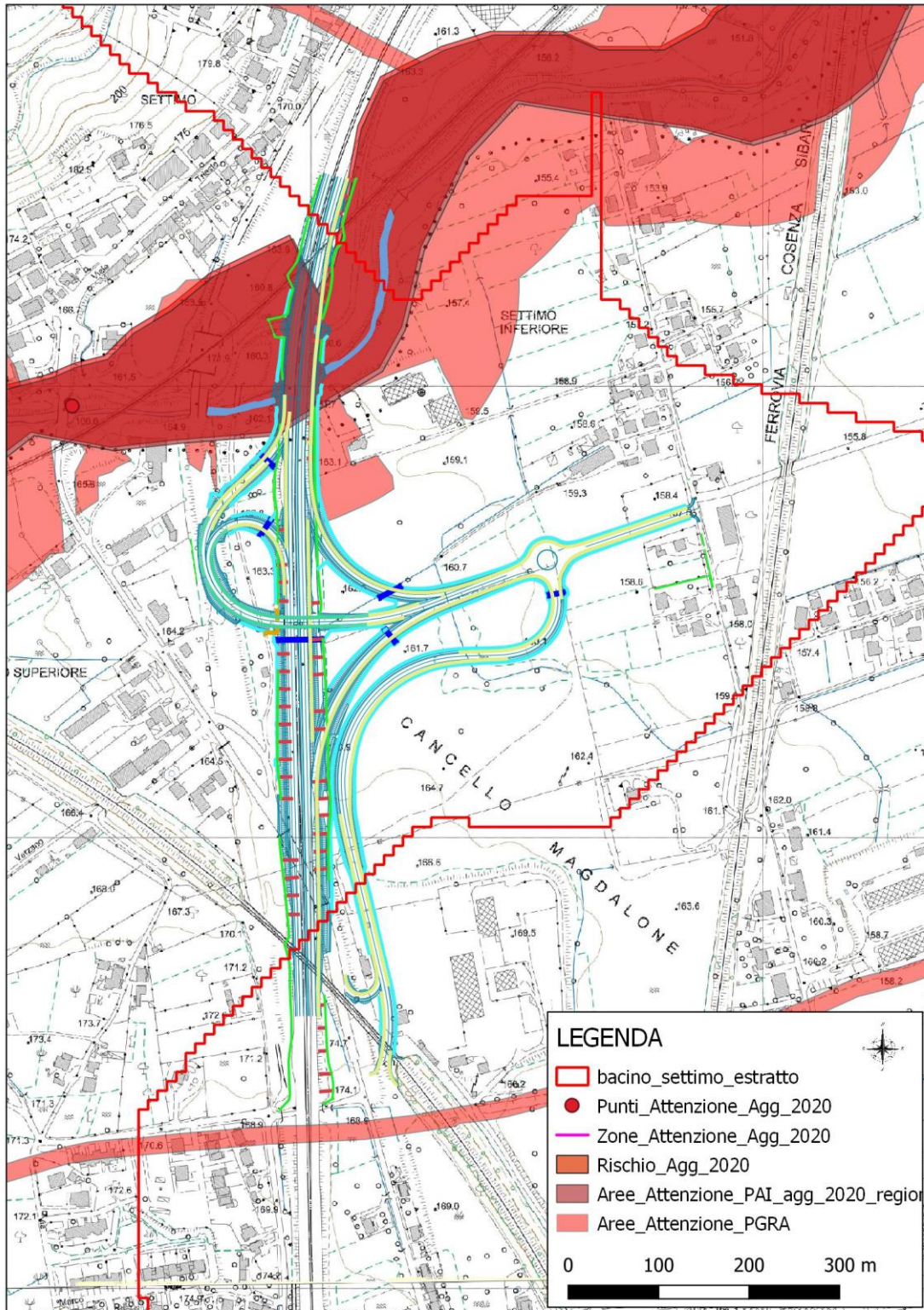


Fig. 4: Perimetrazione PAI e PGRA in prossimità dell'intervento in progetto – Comune di Rende

PROGETTAZIONE ATI:

## **2.2 . - MODELLO DIGITALE DEL TERRENO**

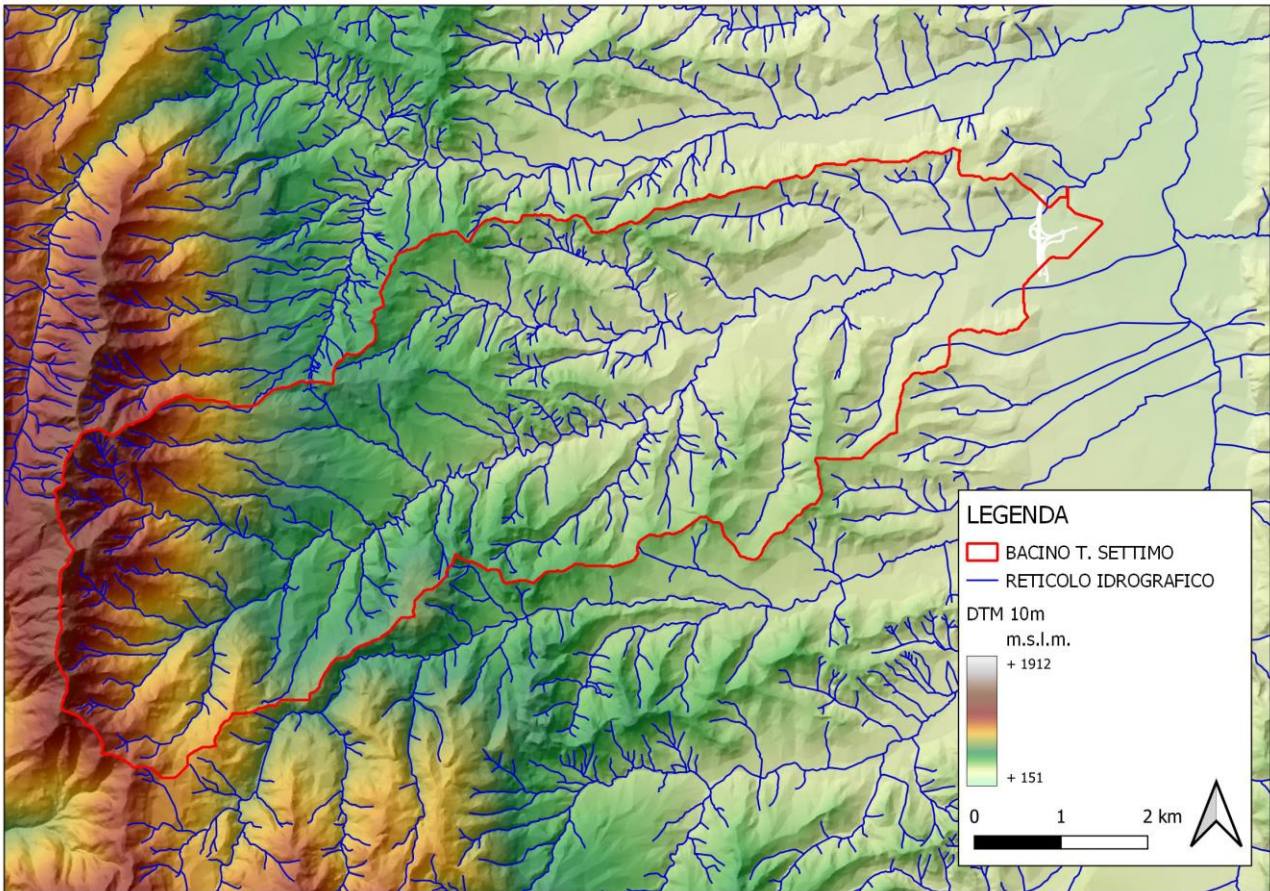
Per lo sviluppo delle attività in oggetto è stato predisposto un Sistema Informativo Territoriale all'interno del quale è stato raccolto tutto il materiale topografico disponibile per l'area di interesse. Particolare importanza ha assunto in tale ambito il reperimento dei dati morfologici del terreno nella fattispecie il modello digitale del terreno. In particolare è stato considerato il DTM dell'area oggetto di studio con risoluzione di cella pari a 10 m reso disponibile per l'area di interesse (vedi fig.5).

Tutti i dati cartografici disponibili, implementati in un Sistema Informativo Territoriale mediante software GIS, hanno permesso di applicare una procedura automatica per l'estrazione dei bacini idrografici che interessano la zona oggetto di studio. In particolare, sulla base del modello digitale del terreno con risoluzione a 10 metri, è stata eseguita la procedura automatica Tau-DEM per la delimitazione dei bacini idrografici di interesse. Al fine di ricostruire gli input idrologici da assegnare come condizione al contorno al modello idraulico il sottobacino in esame è stato opportunamente chiuso nei pressi delle opere che costituiscono lo stato di progetto. Il risultato della procedura è riportato in Fig. 5 che mostra la delimitazione dei bacino idrografico estratto dal DEM sovrapposto al modello digitale del terreno, mentre in Tab. 1 sono riportati i valori dell'area del bacino unitamente ai valori di quota minima, massima e media espresse in m s.l.m.

<i>Bacino</i>	<i>Area</i>	<i>H_mean</i>	<i>H_min</i>	<i>H_max</i>
	<i>(kmq)</i>	<i>(m. s.l.m.)</i>	<i>(m. s.l.m.)</i>	<i>(m. s.l.m.)</i>
T. Settimo	40.23	436.89	150.01	1254.89

*Tabella 1: Parametri caratteristici per il bacino idrografico oggetto di studio*





*Fig. 5: Modello digitale del terreno – 10 m*

PROGETTAZIONE ATI:

## 2.3 . - GEOLOGIA

Di seguito in Fig. 6 si riporta la mappa della geologia relativa al bacino del Torrente Settimo mentre nella tabella 2 sono riepilogate le classi geologiche presenti con le relative aree, espresse in kmq e la percentuale di ogni classe rispetto alla superficie totale del bacino; la percentuale maggiore è rappresentata da sabbie e arenarie bruno-rossastre o bruno-chiare con conglomerati per una percentuale di circa il 15.5% del totale, mentre il 12% del territorio è composto da argille siltose da grigio azzurre a grigio chiare mentre un altro 11 % è composto invece da gneiss, para gneiss e scisti biotico granatiferi.

Sigla	Descrizione	Area (kmq)	Area (%)
#beta#	rocce ignee basiche verdi, pillow, gabbri e dioriti, dioriti biotitico quarzose	0.26	0.65
#gamma#	graniti, granodioriti, graniti biotitico-muscovitici, quarzo monzoniti	0.36	0.90
M_a-3	argille siltose, con intercalazioni di sabbie, arenarie e lenti di gesso	4.33	10.77
M_ar-3	arenarie a cemento calcareo bruno-chiare, localmente conglomeratiche	1.14	2.84
M_g-3	gessi nodulari o massicci ed anidride	0.01	0.02
P_a-1.2	argille siltose e mamose grigio-azzurre, grigie e grigio-chiare	1.46	3.64
P_a-2.3	argille siltose da grigio-azzurre a grigio-chiare	5.16	12.83
P_a-3	argille siltose e mamose da grigio-azzurre a grigio-chiare	0.05	0.12
P_cl.s-1.2	conglomerati, sabbie a piccoli ciottoli e sabbie, bruno-chiari	0.15	0.38
P_s-2.3	sabbie ed arenarie, a grana da fine a grossolana, bruno-chiare, bruno o rossastre	3.30	8.20
P_s.cl(q)-3	sottili e sporadici lembi di copertura pleistocenica sulla litologia	0.19	0.47
P_s.cl-2.3	sabbie e conglomerati a piccoli ciottoli con intercalazioni arenacee	0.39	0.96
P_s.cl-3	sabbie ed arenarie bruno-rossastre o bruno-chiare con conglomerati	6.26	15.56
a	prodotti di soliflusione e dilavamento	0.52	1.30
ac	alluvioni mobili ciottolose mobili dei letti fluviali e/o depositi di litorale	0.51	1.28
af	alluvioni fissate dalla vegetazione e/o artificialmente	2.50	6.22
df	detriti di frana	0.01	0.02
m_cl-3	conglomerati grossolani (continentali)	1.31	3.26
q_cl	conglomerati alluvionali di antichi terrazzi fluviali	0.72	1.80
q_cl.s	conglomerati sabbiosi bruno-rossastri, antichi depositi alluvionali	2.68	6.65
sbg	gneiss, para-gneiss e scisti biotitico-granatiferi	4.74	11.77
sbm	scisti e gneiss biotitici	0.08	0.19
sf	scisti filladici grigi lucenti - filladi grigie, grigio-scure o nere	0.60	1.48
sfe	scisti verdi con epidoto, glaucofane ed albite	0.11	0.26
sm	leucoscisti, gneiss quarzosi biancastri a composizione granitica	3.39	8.43
<b>TOTALE</b>		<b>40.23</b>	<b>100.00</b>

*Tabella 2: Aree delle classi geologiche per il Bacino del T. Settimo*

PROGETTAZIONE ATI:

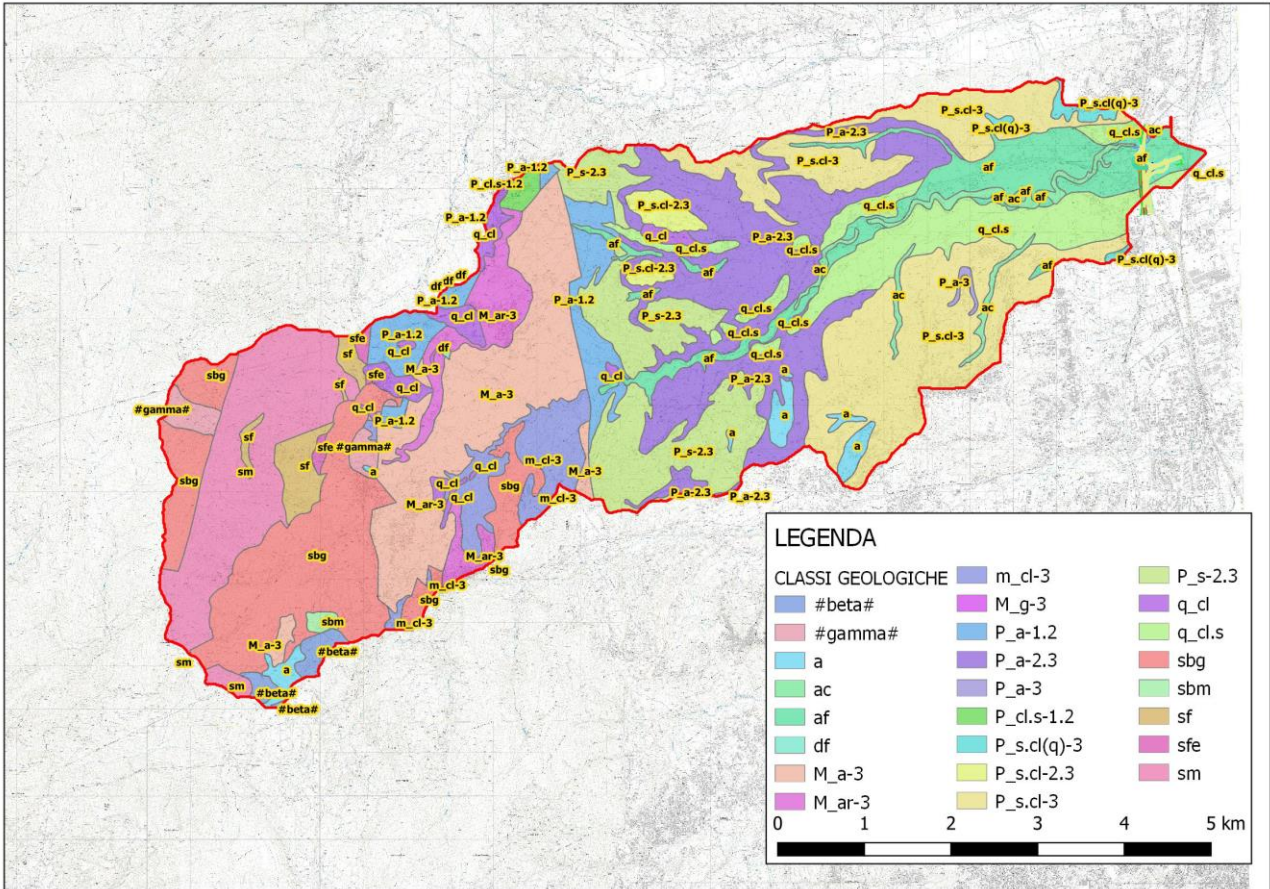


Fig. 6: Mappa della geologia

PROGETTAZIONE ATI:

## 2.4. - USO DEL SUOLO

Per la caratterizzazione del bacino del T. Settimo dal punto di vista dell'uso del suolo è stato utilizzato lo strato informativo del Corine Land Cover al III° livello, vedi fig. 7.

Nella tabella 3 sono inoltre riportate per ogni classe dell'uso del suolo le superfici ricoperte con relative percentuali. La maggior parte del territorio è costituito da boschi di latifoglie per circa il 30% del territorio mentre un altro 25% è costituito da uliveti. Si rilevano presenze di seminativi in aree non irrigue per una percentuale corrispondente al 14%, e colture annuali associate a colture permanenti per una percentuale di circa il 10%. L'area urbanizzata interessa una contenuta porzione del territorio ed inferiore al 5%.

<b>Sigla</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Area (kmq)</b>	<b>Area (%)</b>
112	Tessuto urbano discontinuo	1.75	4.35
211	Seminativi in aree non irrigue	5.68	14.11
223	Uliveti	9.84	24.46
231	Prati stabili	0.52	1.28
241	Colture annuali associate e colture permanenti	3.79	9.42
242	Sistemi colturali e particellari permanenti	2.89	7.18
243	Aree prev. occup.da colture agrarie, con spazi nat.	2.43	6.04
311	Boschi di latifoglie	11.98	29.78
313	Boschi misti	0.68	1.69
321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	0.10	0.24
323	Aree a vegetazione sclerofilia	0.01	0.02
324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	0.57	1.43
<b>TOTALE</b>		<b>40.23</b>	<b>100.00</b>

*Tabella 3: Aree delle classi di uso del suolo per il Bacino del T. Settimo*

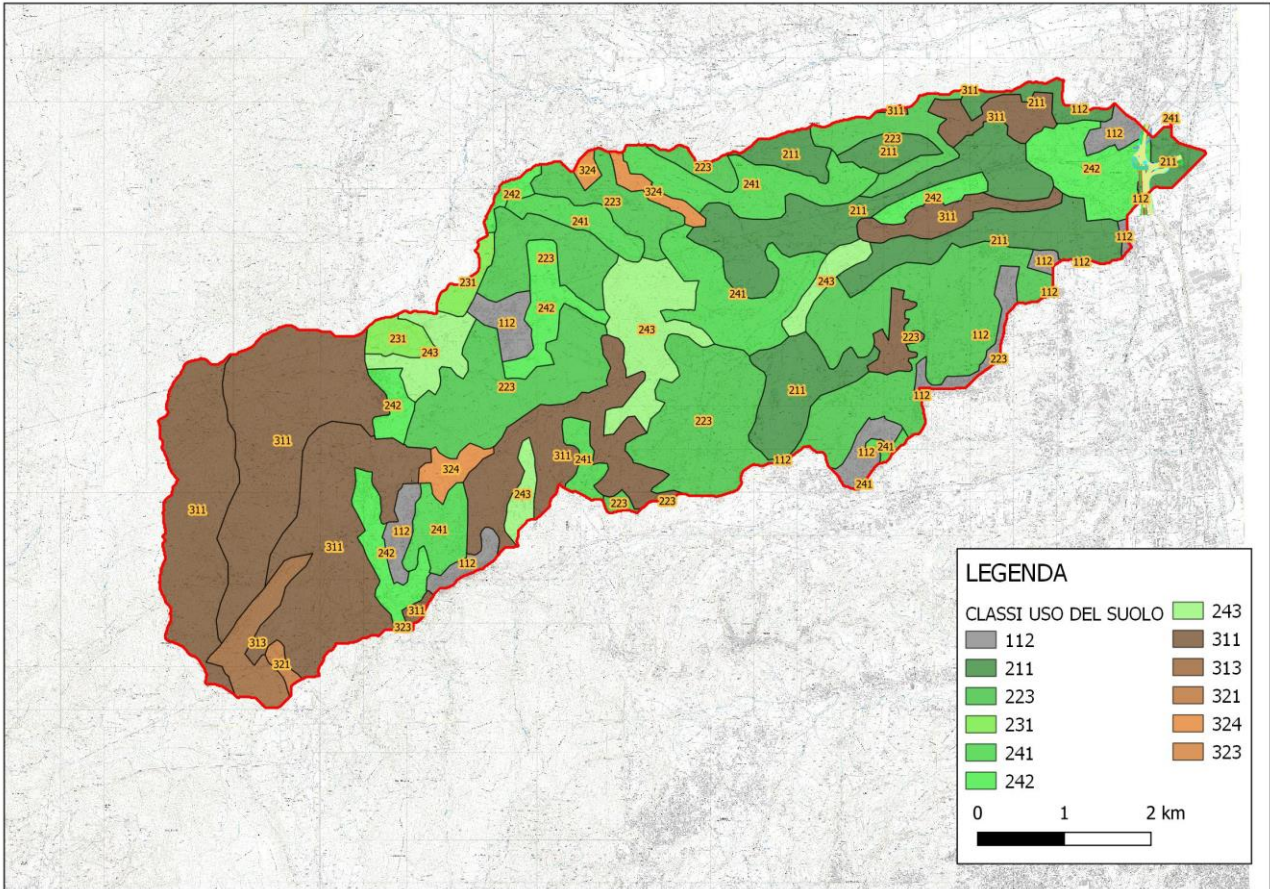


Fig. 7: Mappa dell'uso del suolo

PROGETTAZIONE ATI:

## 2.5 . - LITOLOGIA E PERMEABILITA'

Per la caratterizzazione del Bacino del Torrente Settimo dal punto di vista della permeabilità sono state ricostruite le classi litologiche e dei complessi acquiferi presenti nella zona oggetto di studio, come mostrano le figure 8, 9 e 10.

Nella tabella riportata di seguito (Tab. 4) sono riportate le classi litologiche presenti con le relative aree, espresse in kmq, e la percentuale di ogni classe rispetto alla superficie totale dei bacini idrografici oggetto di studio. Dalle analisi effettuate è emerso che il territorio in esame è composto prevalentemente da conglomerati a grossi blocchi granitici e gneissici, conglomerati poligenici poco cementati con intercalazioni sabbioso-arenacee, arenarie poco cementate associate a sabbie, argille sabbiose e argille siltose. per una percentuale di circa il 43 % del totale e cui corrisponde una classe di permeabilità alta. Circa il 22.5% del territorio risulta essere invece caratterizzato da sedimenti argilloso-limosi di origine lacustre, argille marnose, marne argillose e marne calcaree (Trubi), Tripoli e marne tripolacee, calcari evaporitici, gessi cristallini, argille sabbiose, sabbie, conglomerati con sottili intercalazioni gessose., cui corrisponde una permeabilità bassa .

LITOLOGIA	COMPLESSO	PERMEABILITA'	AREA (kmq)	AREA (%)
Conglomerati a grossi blocchi granitici e gneissici, conglomerati poligenici poco cementati con intercalazioni sabbioso-arenacee, arenarie poco cementate associate a sabbie, argille sabbiose e argille siltose.	complesso conglomeratico-sabbioso-argilloso	ALTA	17.25	42.89
Filladi e scisti cloritico-sericitici con intercalazioni di calcari cristallini e di quarziti, scisti filladici e argilloscisti. Metasedimenti e prodotti di basso grado metamorfico.	complesso delle rocce metamorfiche a tessitura scistosa	BASSA	6.20	15.41
Graniti e granodioriti, diabasi, gabbri, serpentine. Gneiss occhiadini e biotitici, anfiboliti, migmatiti e prodotti di metamorfismo di grado medio-alto.	complesso delle rocce ignee e metamorfiche a tessitura massiccia	BASSA	4.69	11.65
Sedimenti argilloso-limosi di origine lacustre. Argille marnose, marne argillose e marne calcaree (Trubi). Tripoli e marne tripolacee, calcari evaporitici, gessi cristallini, argille sabbiose, sabbie, conglomerati con sottili intercalazioni gessose.	complesso dei depositi terrigeni ed evaporitici	BASSA	9.06	22.53
Depositi di spiaggia e dune costiere, detriti di falda, coni di deiezione, depositi alluvionali ghiaioso-sabbioso-argillosi dei fondivalle e delle pianure costiere, ghiaie sabbioso-ciottolose dei terrazzi, depositi sabbioso-limosi fluvio-lacustri.	complesso dei depositi detritici recenti	MEDIA	3.02	7.52
<b>TOTALE</b>			<b>40.23</b>	<b>100.00</b>

*Tabella 4: Caratteristiche litologiche e di permeabilità per il Bacino del T. Settimo*

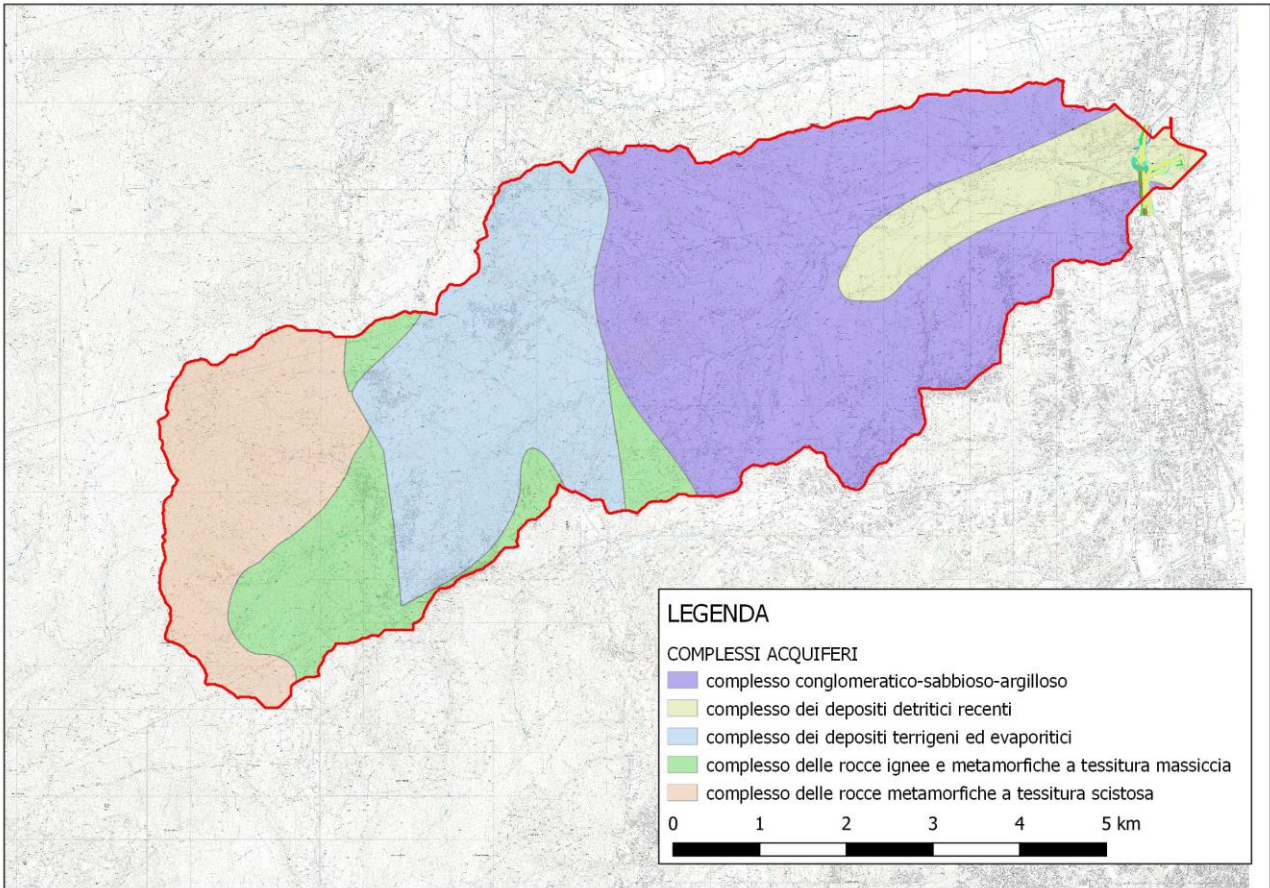


Fig. 8: Mappa dei complessi acquiferi

PROGETTAZIONE ATI:

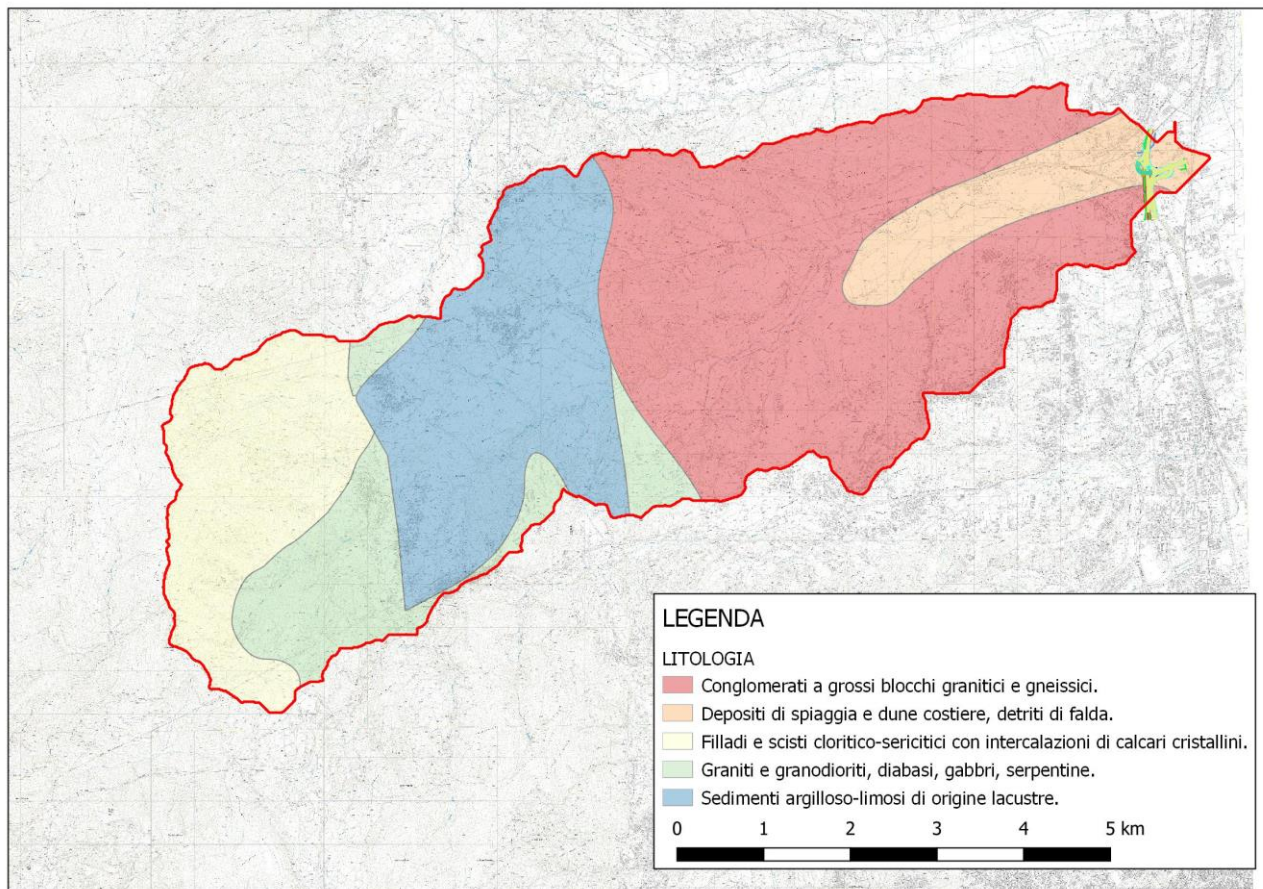


Fig. 9: Mappa delle classi litologiche

PROGETTAZIONE ATI:



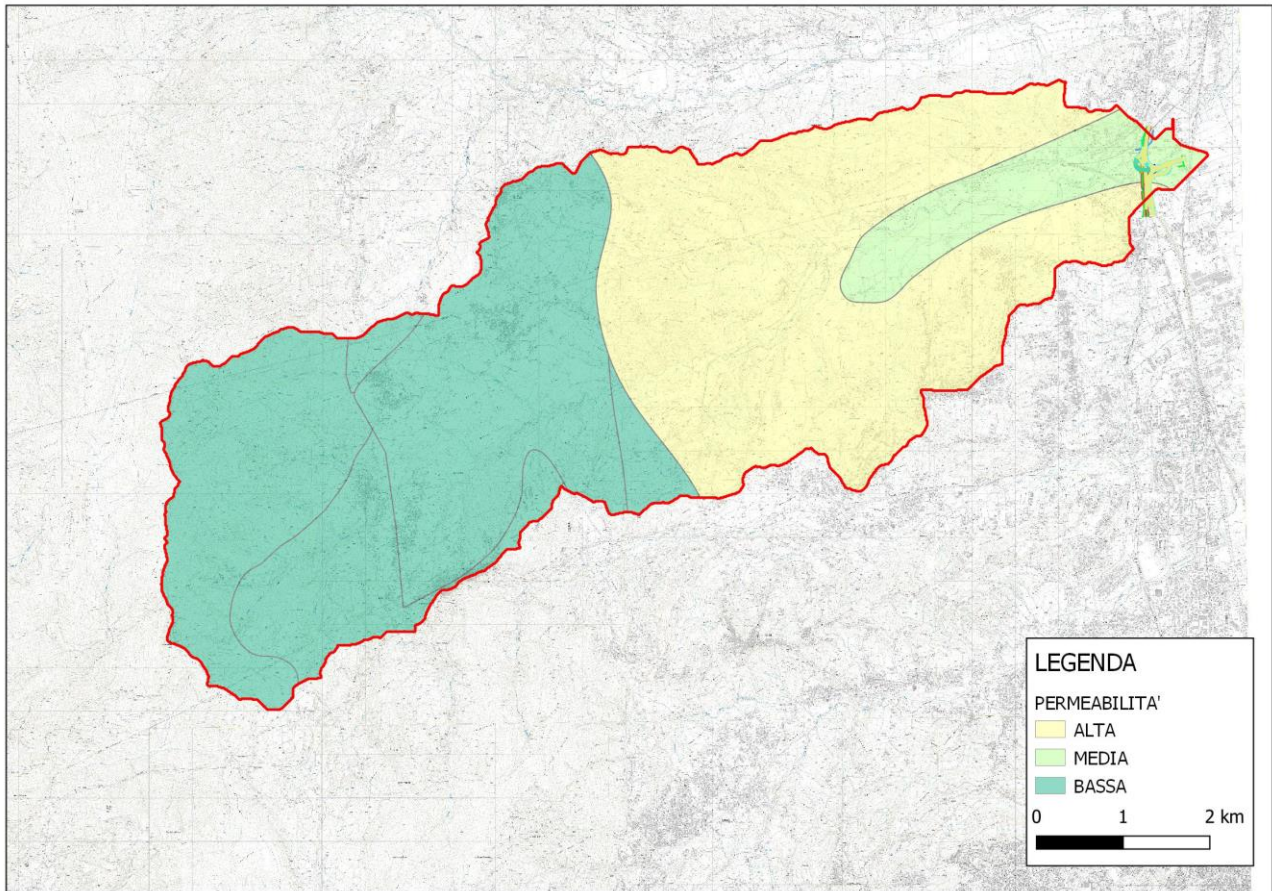


Fig. 10: Mappa delle classi di permeabilità

PROGETTAZIONE ATI:

## 2.6 . - CURVE NUMBER

Dalla sovrapposizione dell'uso del suolo con le classi di permeabilità è stato determinato il Curve Number (CN) parametro che caratterizza la risposta idrologica di un terreno.

La figura 11 mostra la carta del CN, ricavata dalla procedura precedentemente descritta, per il bacino idrografico del T. Settimo.

In particolare, dall'analisi dei risultati ottenuti dalla determinazione della mappa del Curve Number esteso al bacino complessivo del T. Settimo è emerso un valore medio del CN II pari a 74.5 cui corrisponde un valore del CN III pari a 87.

<i>Bacino</i>	<i>Area</i>	<i>H_mean</i>	<i>H_min</i>	<i>H_max</i>	<i>CN II</i>	<i>CN III</i>
	<i>(kmq)</i>	<i>(m. s.l.m.)</i>	<i>(m. s.l.m.)</i>	<i>(m. s.l.m.)</i>		
T. Settimo	40.23	436.89	150.01	1254.89	74.5	87

*Tabella 5: Valori del CN II e del CN III ricavati per il Bacino del T. Settimo*

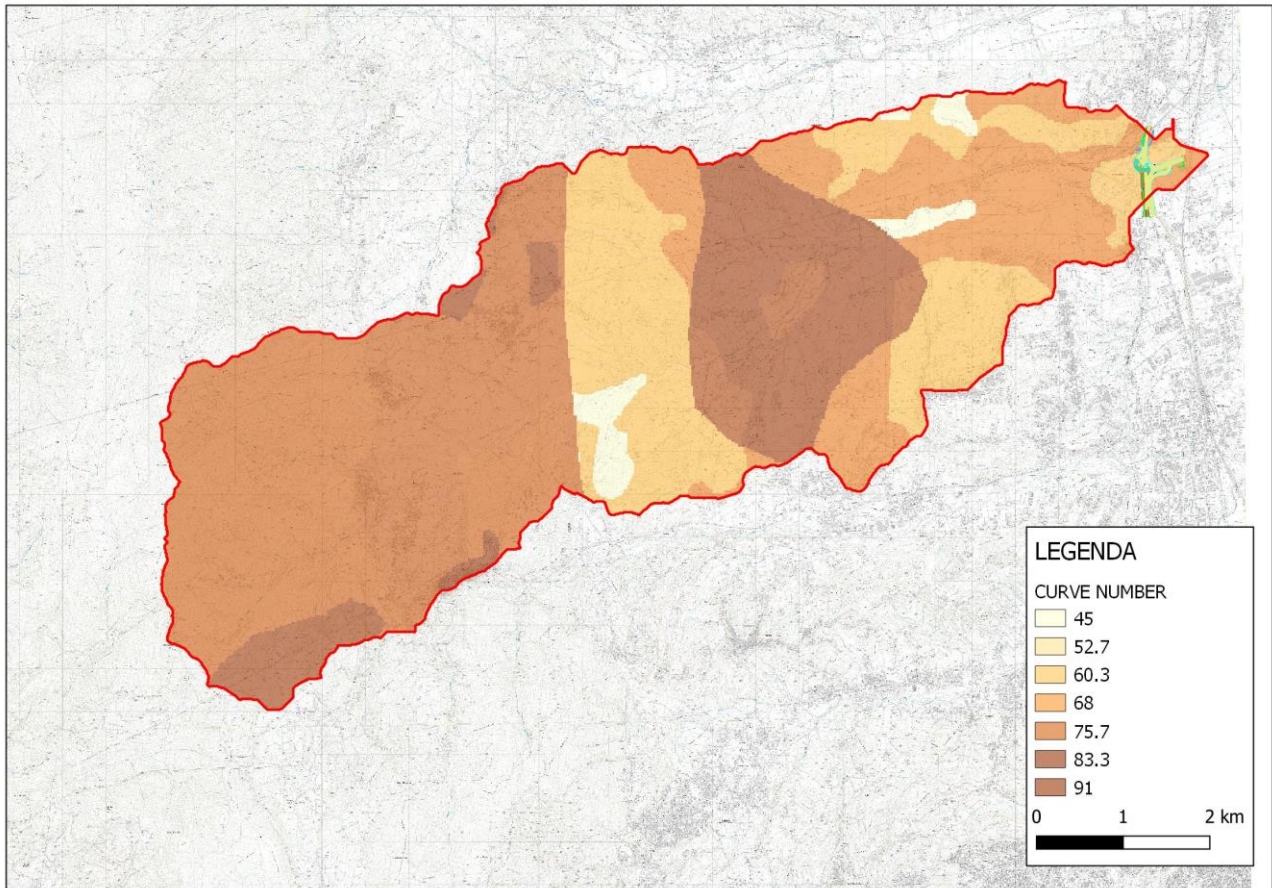


Fig. 11: Mappa del Curve Number (CN II)

PROGETTAZIONE ATI:

## 2.7. - PLUVIOMETRIA BACINO T. SETTIMO – METODO VAPI

La definizione delle caratteristiche dell'evento pluviometrico da utilizzare per lo studio idrologico è stata fatta sulla base dello studio di regionalizzazione delle piogge redatto nell'ambito del VaPi Calabria. Il bacino idrografico oggetto di studio rientra per gran parte nella sottozona T3 (vedi Fig. 12). Sono stati quindi ricavati i valori dei parametri "a" e "n" delle CPP per i tre differenti tempi di ritorno (50, 200 e 500 anni), vedi curve di probabilità pluviometrica riportate in Tab. 6. In aggiunta ai tre tempi di ritorno sopra menzionati, si è resa necessaria anche la stima della CPP relativa a un tempo di ritorno minore e pari a 2 anni, per via della presenza delle aree di lavoro per l'allargamento del Ponte sul Torrente Settimo ed il prolungamento del sottovia, che come verrà evidenziato nel seguito, risultano interessate dai deflussi per TR pari a 200 anni.

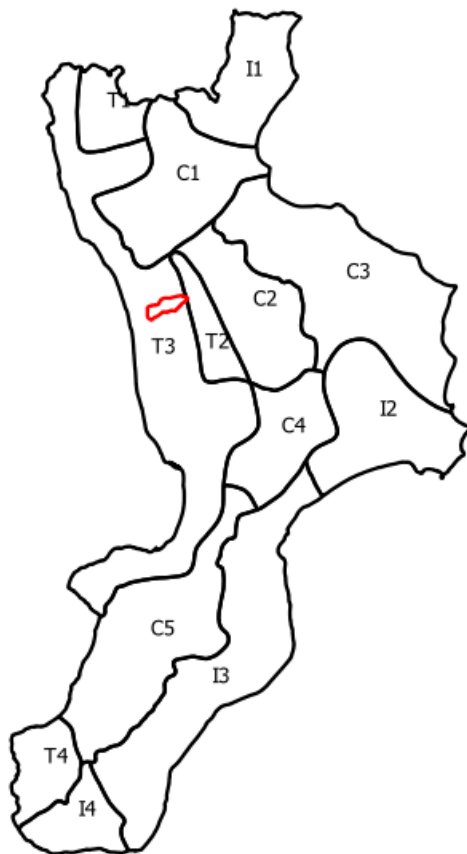


Fig. 12: Aree omogenee da progetto Vapi

PROGETTAZIONE ATI:

CURVE DI PROBABILITA' PLUVIOMETRICA AL TERZO LIVELLO DI REGIONALIZZAZIONE REGIONE CALABRIA						
ZONA	TIRRENO	2	<<<			
SOTTOZONA	T3		<<<			
QUOTA	437	m s.l.m.	<<<			
TR	50	<<< >>>	TR	200	TR	500
K(T)	2.04		K(T)	2.59	K(T)	2.97
b	26.61					
a	0.00022					
c	0.402					
d	1.769					
A(1h)	54		A(1h)	69	A(1h)	79
n	0.36		n	0.36	n	0.36

	TR	50	TR	200	TR	500
t(min)	t(h)	h(mm)	t(h)	h(mm)	t(h)	h(mm)
5	0.08	22.14	0.08	28.11	0.08	32.23
15	0.25	32.91	0.25	41.79	0.25	47.92
30	0.50	42.27	0.50	53.67	0.50	61.54
60	1.00	54.28	1.00	68.92	1.00	79.03
120	2.00	69.71	2.00	88.51	2.00	101.50
180	3.00	80.70	3.00	102.46	3.00	117.49
360	6.00	103.64	6.00	131.58	6.00	150.89
720	12.00	133.10	12.00	168.98	12.00	193.77
1440	24.00	170.93	24.00	217.01	24.00	248.85

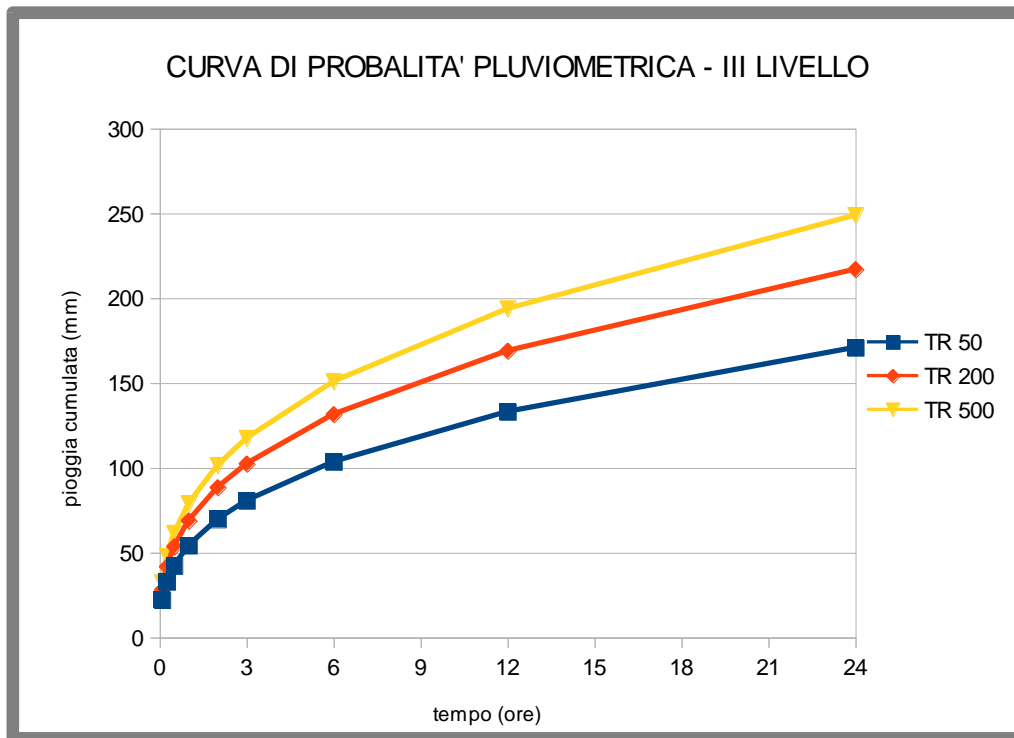


Tabella 6: Determinazione CPP per il bacino del Torrente Settimo

PROGETTAZIONE ATI:

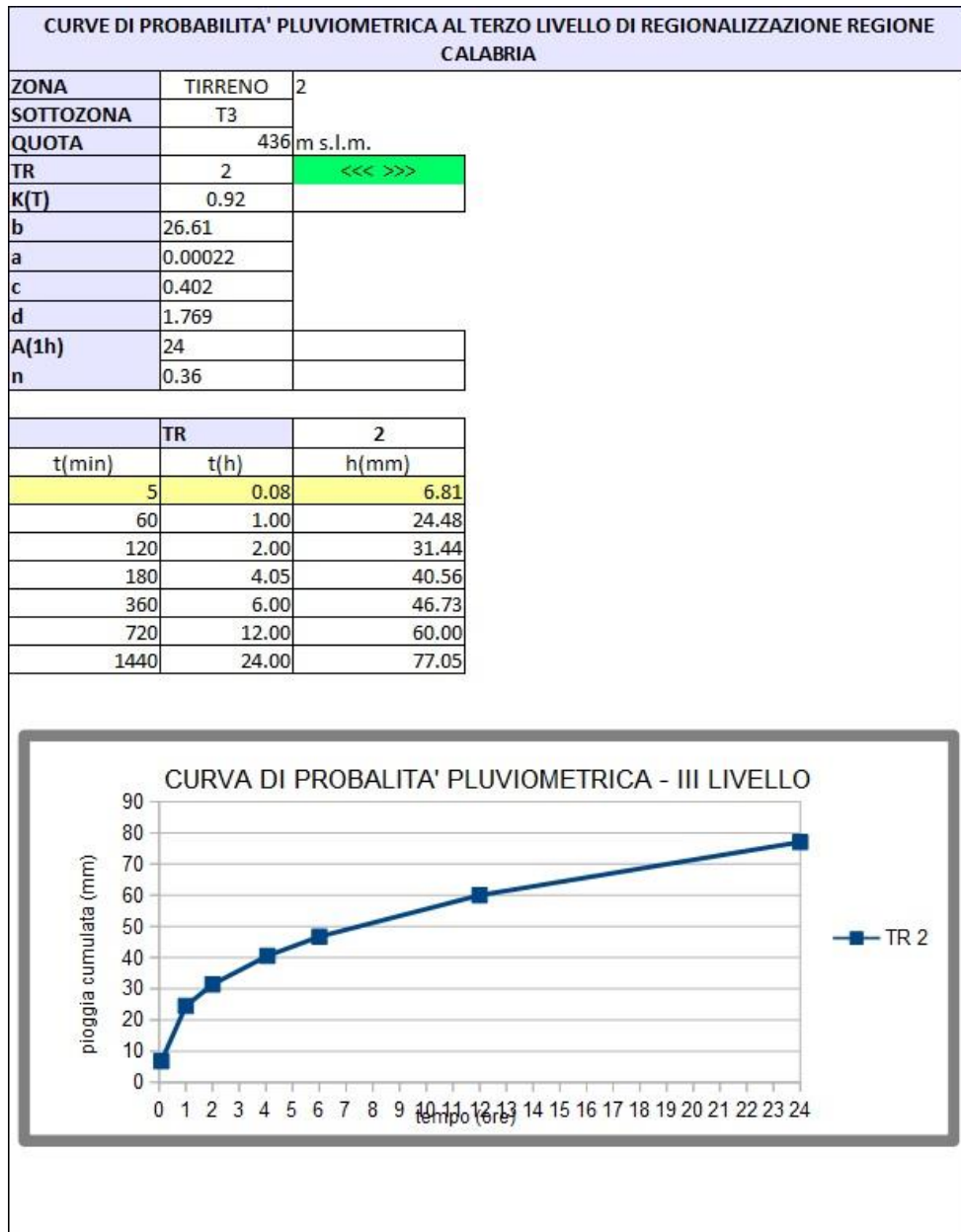


Tabella 6: Determinazione CPP per il bacino del Torrente Settimo per TR = 2 anni

## 2.8. - PLUVIOMETRIA BACINO T. SETTIMO – MODELLO PROBABILISTICO DI GUMBEL

L'espressione della probabilità cumulata della legge di Gumbel:

$$F(x) = e^{-e(\alpha(x-\varepsilon))}$$

con  $\alpha$  ed  $\varepsilon$  parametri della distribuzione, che vengono, di norma, stimati attraverso il metodo dei momenti:

$$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}} = \frac{1.283}{\sigma}$$

$$\varepsilon = \mu - 0.450 \sigma$$

dove  $\mu$  e  $\sigma$  sono rispettivamente la media e lo scarto quadratico medio dei dati.

Un diverso metodo di stima dei parametri è basato sulla massimizzazione della funzione di verosimiglianza della distribuzione (metodo della massima verosimiglianza). Le differenze tra i due metodi si apprezzano in particolare quando il grado di adattamento della distribuzione ai dati è basso. Infatti, il metodo dei momenti tende a privilegiare i valori di entità più elevata, che hanno forte influenza in particolare sul momento del secondo ordine. Il metodo della massima verosimiglianza fornisce invece una curva che rispetta maggiormente i pesi rappresentati dalle frequenze cumulate, per cui non si lascia influenzare molto da singoli valori molto elevati. Per riportare opportunamente i valori di  $x$  corrispondenti ad una fissata probabilità  $F$  (o tempo di ritorno  $T$ ) si può invertire la legge  $F(x)$  ottenendo

$$x_T = \varepsilon \left\{ 1 - (\alpha\varepsilon)^{-1} \ln \ln \left[ \frac{T}{T-1} \right] \right\}$$

in quanto vale  $T=1/(1-F)$ .

Stimando i parametri con il metodo dei momenti è possibile esprimere direttamente  $x_T$  in funzione di media e scarto, attraverso l'espressione:

$$x_T = \mu \left\{ 1 - C_{v_x} \left[ 0.45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

dove  $C_{v_x}$  rappresenta il coefficiente di variazione dei dati.

PROGETTAZIONE ATI:

L'espressione della legge di Gumbel può essere quindi rappresentata attraverso il prodotto della media per una quantità che rappresenta la crescita della media stessa in funzione del tempo di ritorno, quantità che è chiamata fattore di crescita con il tempo di ritorno (KT), e che consente di rappresentare la relazione di frequenza delle precipitazioni secondo il prodotto:

$$X_T = \mu K_T$$

Al fine di procedere alle valutazioni statistiche sulle precipitazioni intense nella zona in esame sono stati considerati i dati delle stazioni pluviometriche di Montalto Uffugo, Rose, Rende e Paola che interessano il bacino del T. Settimo. I dati di pioggia relativi alla stazione in esame sono stati rilevati dal sito del Centro Funzionale Multirischi della Regione Calabria. La legge di dipendenza della media dei massimi di precipitazione con la durata può esprimersi, nel caso più semplice, come:

$$m_t = a t^n$$

con i coefficienti a ed n da stimarsi tramite un modello di regressione sui dati disponibili, per le durate 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Per l'identificazione delle stazioni pluviometriche per cui applicare tale procedura sono stati tracciati i poligoni di Voronoi, come riportato in figura.

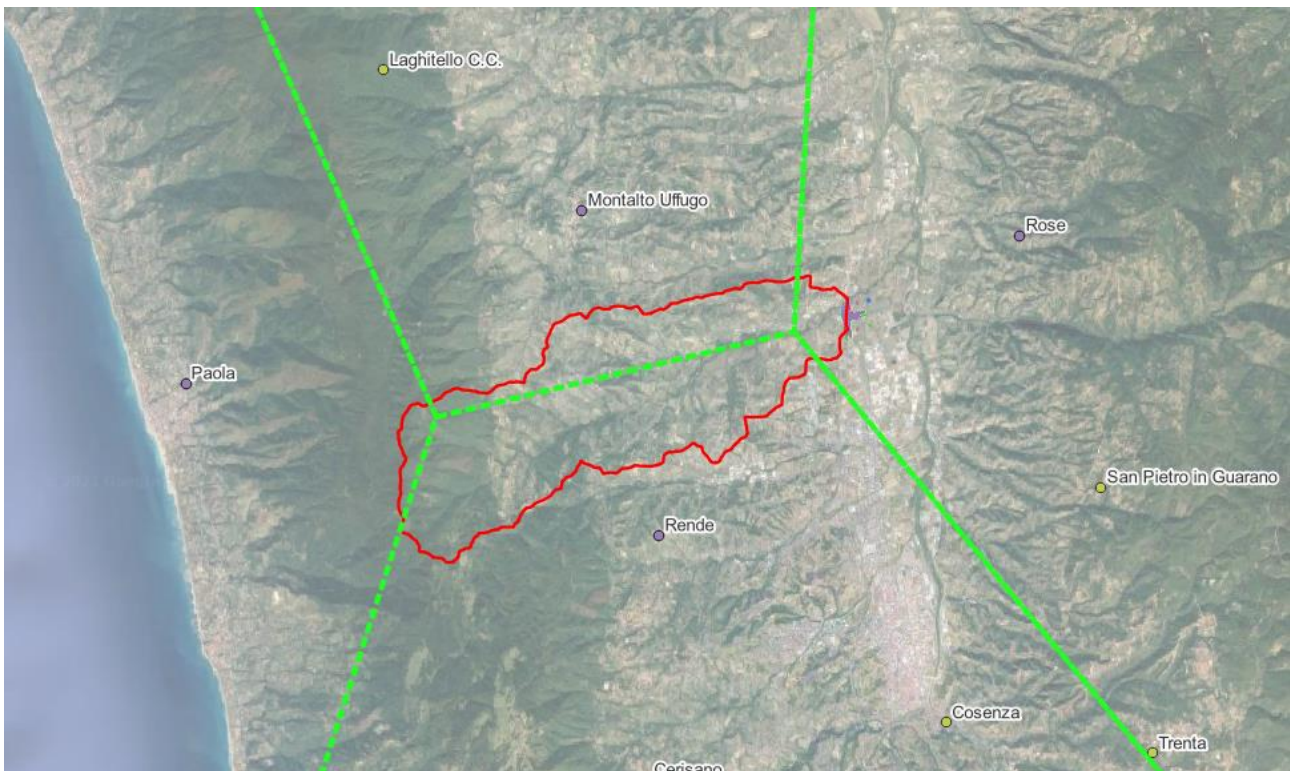


Fig. 12: Poligoni di Voronoi relativi alle quattro stazioni pluviometriche di interesse

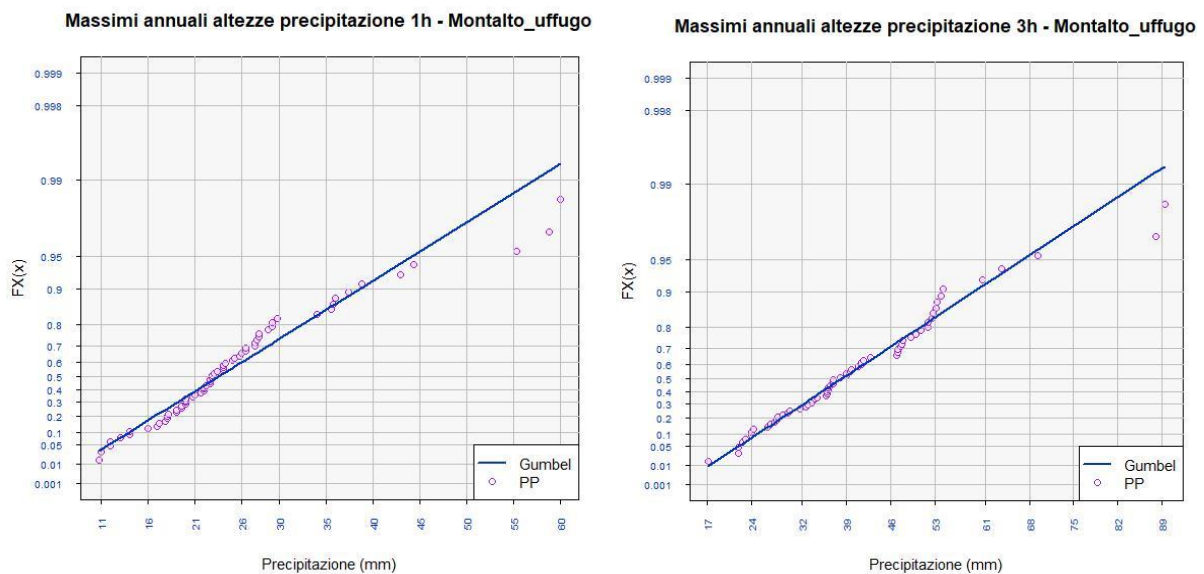
PROGETTAZIONE ATI:



### 2.8.1 STAZIONE DI MONTALTO UFFUGO

In questo paragrafo sono riportati i risultati grafici e tabellari ottenuti dall'applicazione della legge probabilistica di Gumbel alle serie storiche relative alla stazione di Montalto Uffugo. Per l'analisi statistica è stato fatto riferimento nello specifico alle serie storiche dei massimi annuali di precipitazione per durate pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore. La stazione in esame presenta una popolazione N relativa a 66 anni di dati.

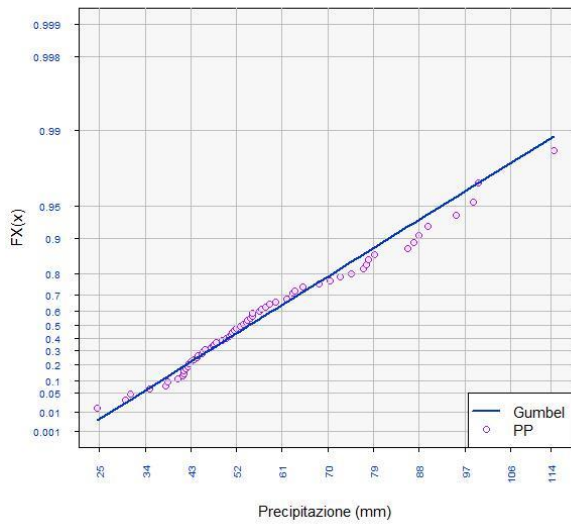
Di seguito si riportano dapprima i risultati dell'applicazione della legge probabilistica di Gumbel per ciascuna delle durate di precipitazione prese in considerazione e quindi le curve di possibilità pluviometrica ottenute, in forma grafica e tabellare, unitamente ai parametri  $\alpha$  ed  $n$  calcolati.



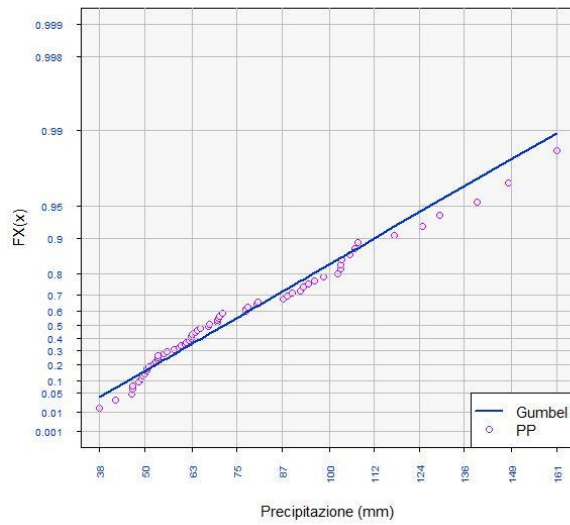
Massimi annuali altezze di precipitazione 1h e 3 h– Stazione Montalto Uffugo

PROGETTAZIONE ATI:

**Massimi annuali altezze precipitazione 6h - Montalto\_uffugo**

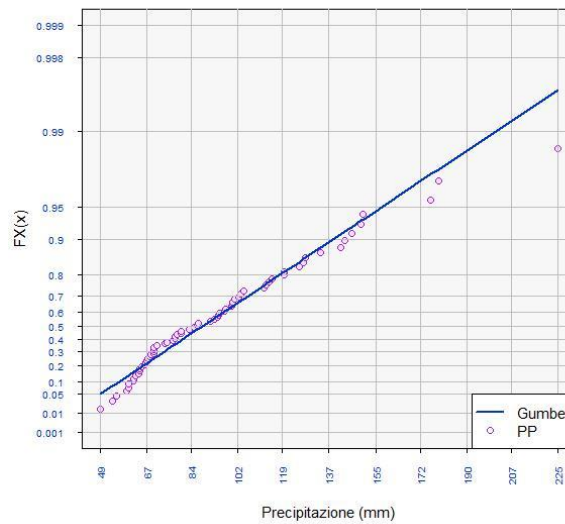


**Massimi annuali altezze precipitazione 12h - Montalto\_uffugo**



**Massimi annuali altezze di precipitazione 6h e 12h – Stazione Montalto Uffugo**

**Massimi annuali altezze precipitazione 24h - Montalto\_uffugo**



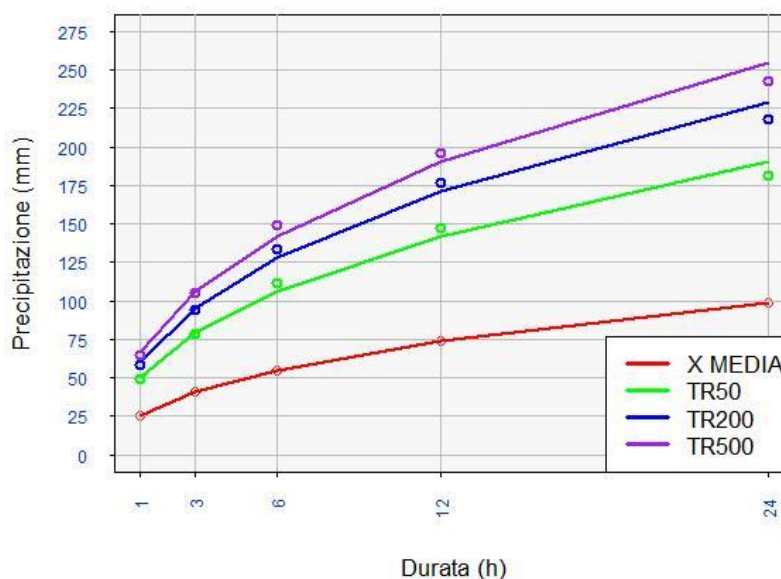
**Massimi annuali altezze di precipitazione 24h – Stazione Montalto Uffugo**

PROGETTAZIONE ATI:

durate	TR 50	TR 200	TR 500
1h	49.82	59.91	66.55
3h	79.24	95.28	105.84
6h	106.18	127.68	141.83
12h	142.29	171.10	190.06
24h	190.68	229.28	254.70

Valori delle Curve di possibilità pluviometrica per la Stazione Montalto Uffugo

### Curve Possibilità Pluviometrica - Montalto\_uffugo



Curve di possibilità pluviometrica – Stazione Montalto Uffugo

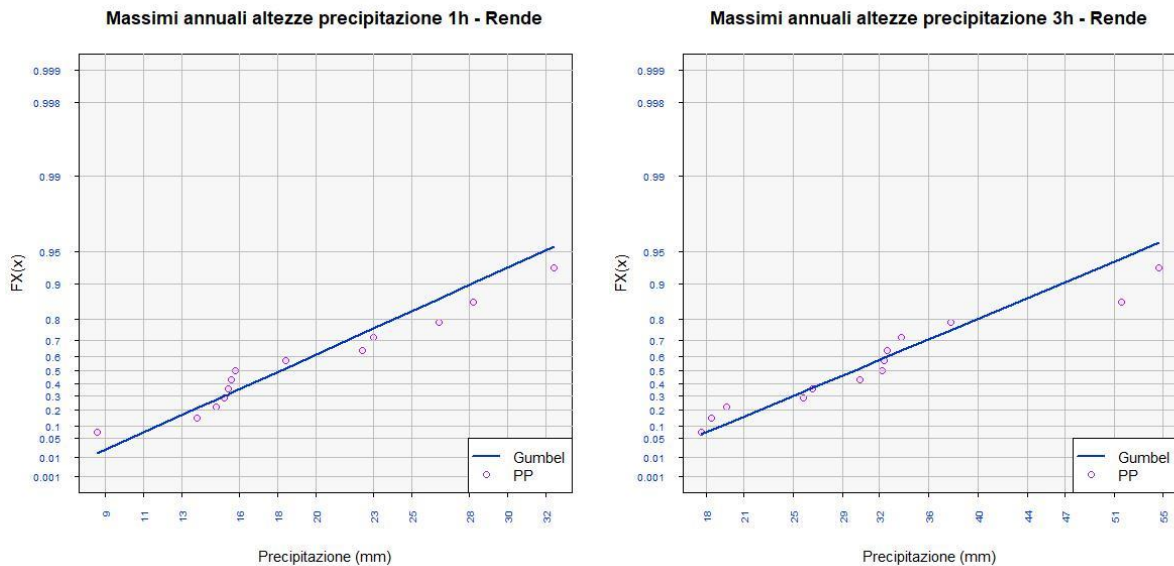
	TR 50	TR 200	TR 500
Intercetta	1.70	1.78	1.82
Coeff. angolare	0.42	0.42	0.42
a	49.82	59.91	66.55
n	0.42	0.42	0.42

Valori dei parametri a ed n per la stazione di Montalto Uffugo

PROGETTAZIONE ATI:

## 2.8.2 STAZIONE DI RENDE

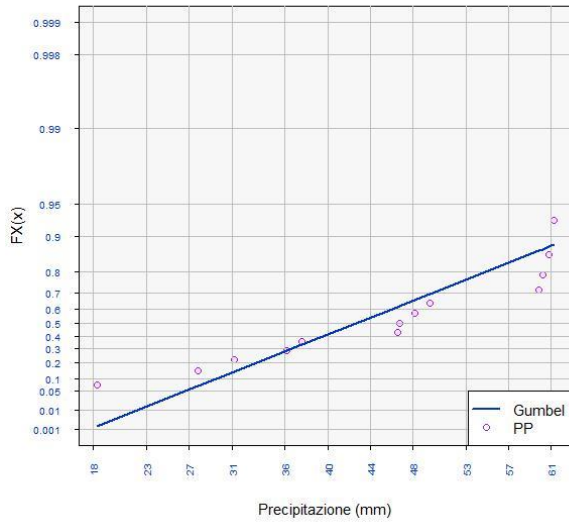
In questo paragrafo sono riportati i risultati grafici e tabellari ottenuti dall'applicazione della legge probabilistica di Gumbel alle serie storiche relative alla stazione di Rende. Per l'analisi statistica è stato fatto riferimento nello specifico alle serie storiche dei massimi annuali di precipitazione per durate pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore. La stazione in esame presenta una popolazione N relativa a 13 anni di dati. Di seguito si riportano dapprima i risultati dell'applicazione della legge probabilistica di Gumbel per ciascuna delle durate di precipitazione prese in considerazione e quindi le curve di possibilità pluviometrica ottenute, in forma grafica e tabellare, unitamente ai parametri  $a$  ed  $n$  calcolati.



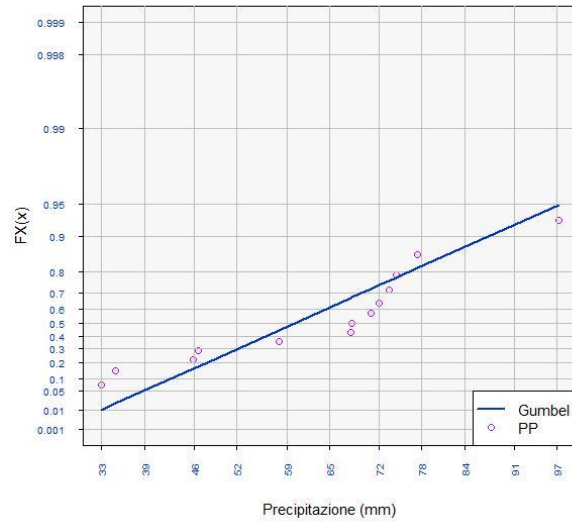
Massimi annuali altezze di precipitazione 1h e 3 h– Stazione Rende

PROGETTAZIONE ATI:

**Massimi annuali altezze precipitazione 6h - Rende**

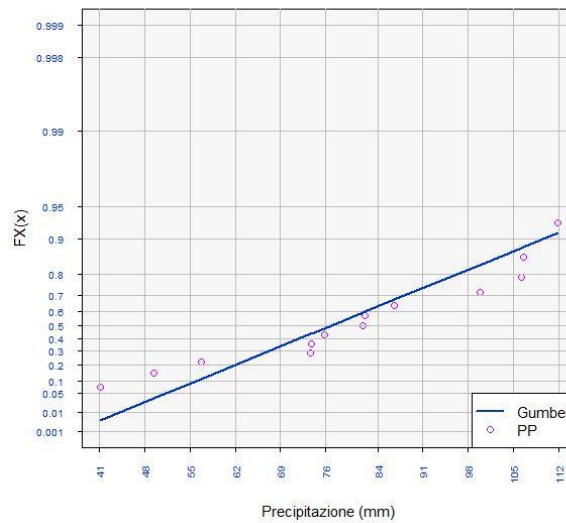


**Massimi annuali altezze precipitazione 12h - Rende**



**Massimi annuali altezze di precipitazione 6h e 12h – Stazione Rende**

**Massimi annuali altezze precipitazione 24h - Rende**



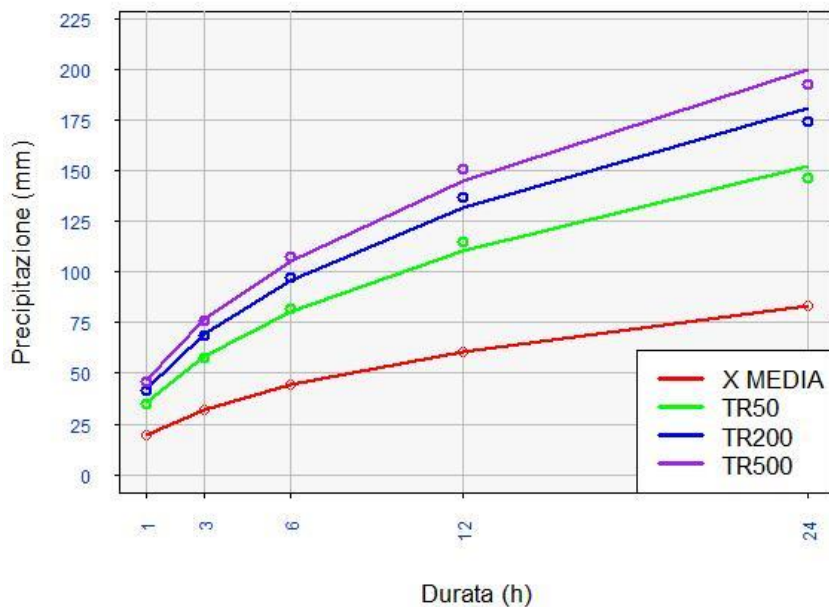
**Massimi annuali altezze di precipitazione 24h – Stazione Rende**

PROGETTAZIONE ATI:

durate	TR 50	TR 200	TR 500
1h	35.39	42.08	46.49
3h	58.57	69.66	76.96
6h	80.50	95.73	105.76
12h	110.63	131.57	145.35
24h	152.04	180.82	199.77

Valori delle Curve di possibilità pluviometrica per la Stazione Rende

### Curve Possibilità Pluviometrica - Rende



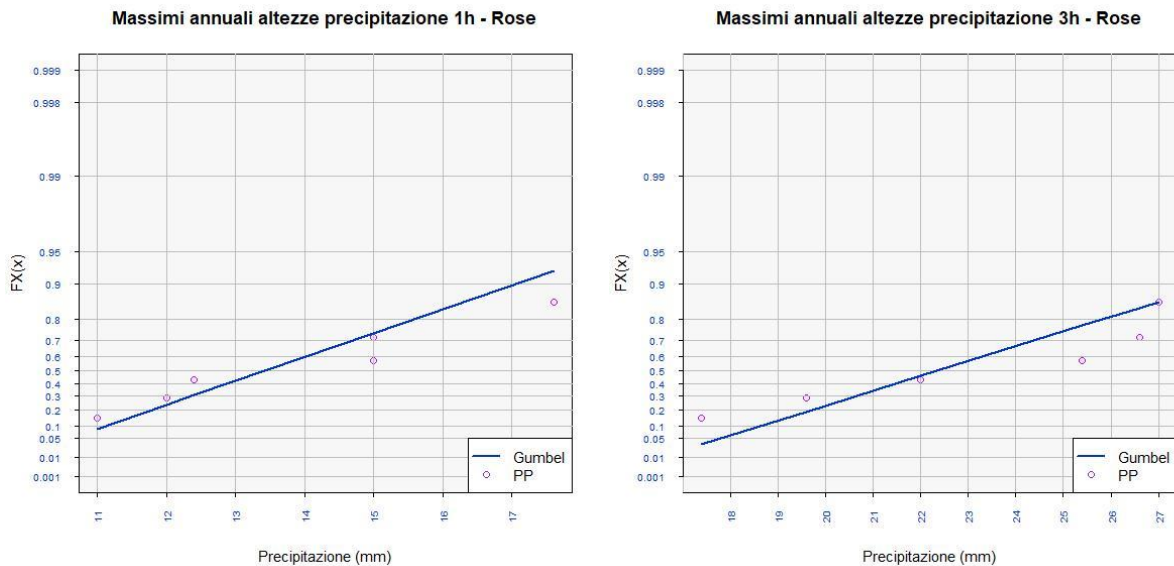
Curve di possibilità pluviometrica – Stazione Rende

	TR 50	TR 200	TR 500
Intercetta	1.55	1.62	1.67
Coeff. angolare	0.46	0.46	0.46
a	35.39	42.08	46.49
n	0.46	0.46	0.46

Valori dei parametri a ed n per la stazione di Rende

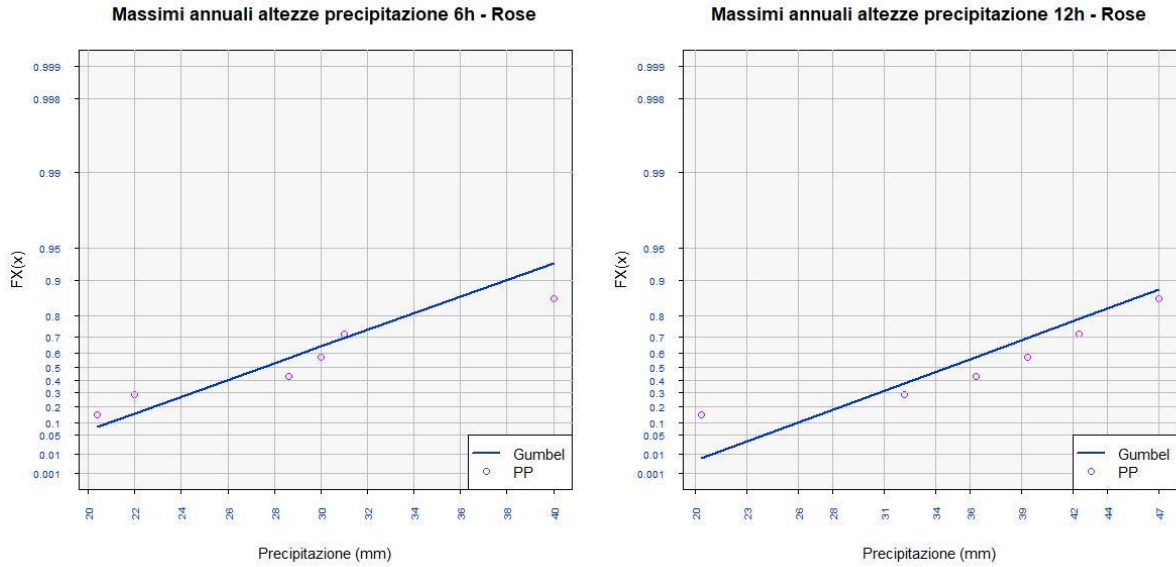
### 2.8.3 STAZIONE DI ROSE

In questo paragrafo sono riportati i risultati grafici e tabellari ottenuti dall'applicazione della legge probabilistica di Gumbel alle serie storiche relative alla stazione di Rose. Per l'analisi statistica è stato fatto riferimento nello specifico alle serie storiche dei massimi annuali di precipitazione per durate pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore. La stazione in esame presenta una popolazione N relativa a 6 anni di dati. Di seguito si riportano dapprima i risultati dell'applicazione della legge probabilistica di Gumbel per ciascuna delle durate di precipitazione prese in considerazione e quindi le curve di possibilità pluviometrica ottenute, in forma grafica e tabellare, unitamente ai parametri a ed n calcolati.

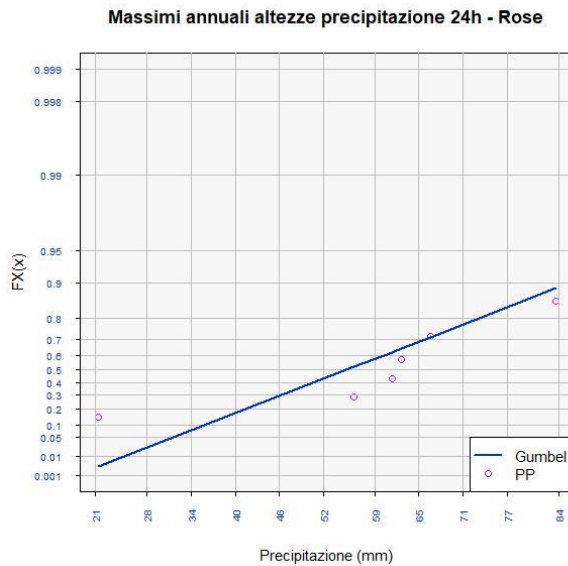


Massimi annuali altezze di precipitazione 1h e 3 h– Stazione Rose

PROGETTAZIONE ATI:



Massimi annuali altezze di precipitazione 6h e 12h – Stazione Rose



Massimi annuali altezze di precipitazione 24h – Stazione Rose

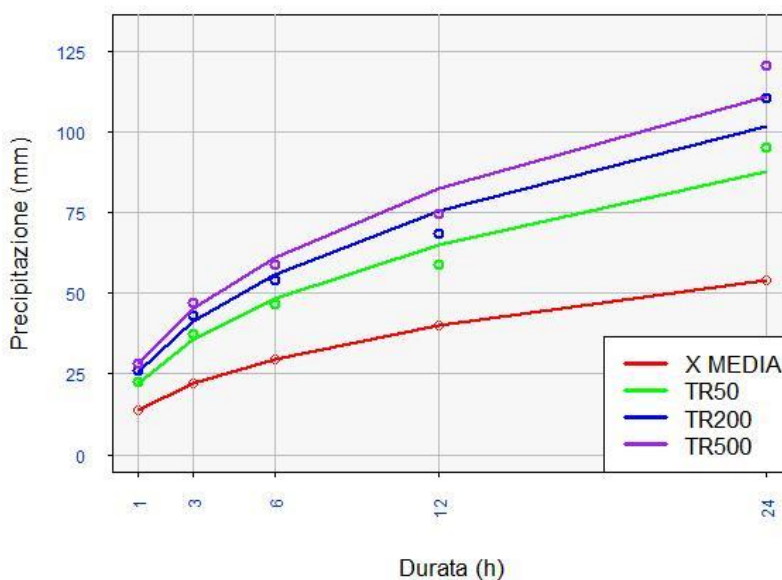
PROGETTAZIONE ATI:



durate	TR 50	TR 200	TR 500
1h	22.26	25.84	28.20
3h	35.75	41.51	45.30
6h	48.21	55.97	61.08
12h	65.02	75.48	82.37
24h	87.67	101.78	111.08

Valori delle Curve di possibilità pluviometrica per la Stazione Rose

### Curve Possibilità Pluviometrica - Rose



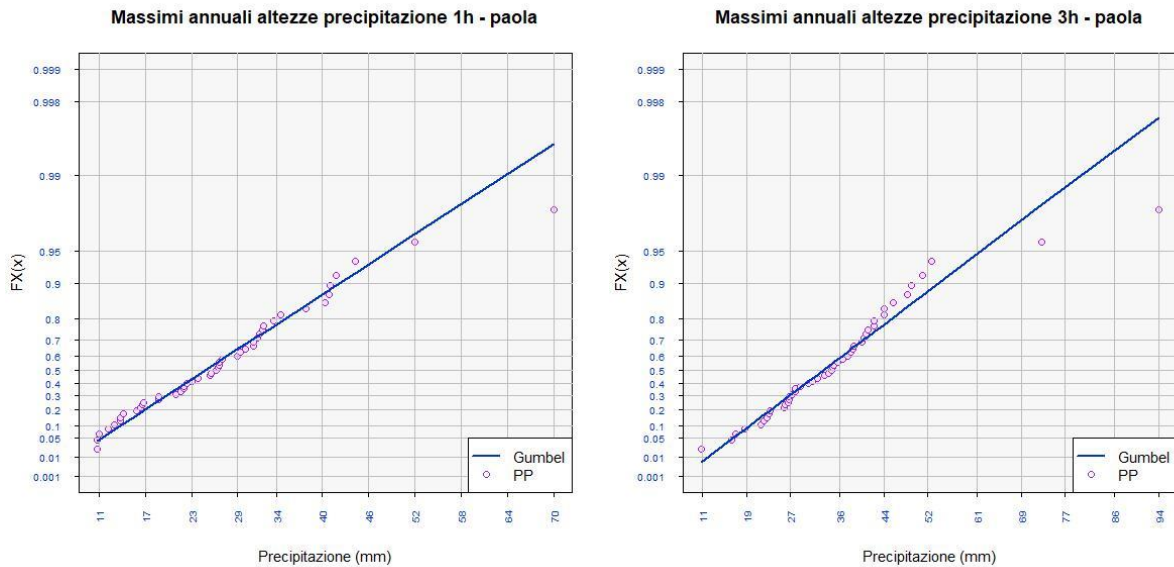
Curve di possibilità pluviometrica – Stazione Rose

	TR 50	TR 200	TR 500
Intercetta	1.35	1.41	1.45
Coeff. angolare	0.43	0.43	0.43
a	22.26	25.84	28.20
n	0.43	0.43	0.43

Valori dei parametri a ed n per la stazione di Rose

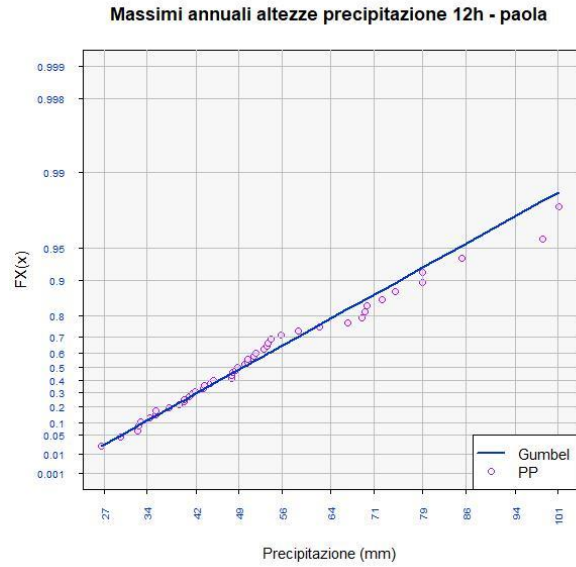
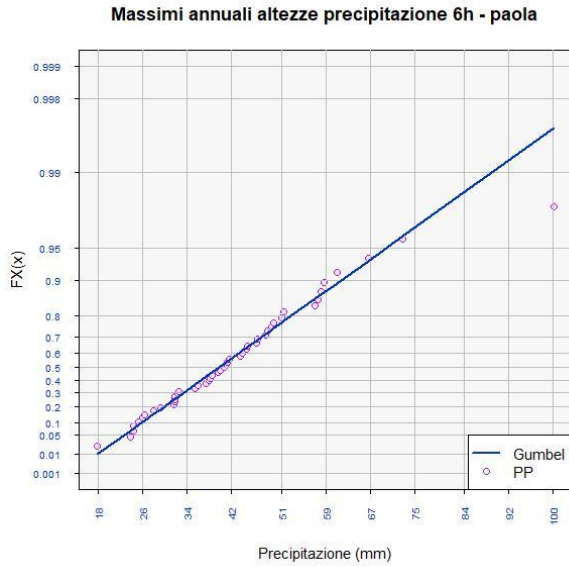
### 2.8.4 STAZIONE DI PAOLA

In questo paragrafo sono riportati i risultati grafici e tabellari ottenuti dall'applicazione della legge probabilistica di Gumbel alle serie storiche relative alla stazione di Paola. Per l'analisi statistica è stato fatto riferimento nello specifico alle serie storiche dei massimi annuali di precipitazione per durate pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore. La stazione in esame presenta una popolazione N relativa a 47 anni di dati. Di seguito si riportano dapprima i risultati dell'applicazione della legge probabilistica di Gumbel per ciascuna delle durate di precipitazione prese in considerazione e quindi le curve di possibilità pluviometrica ottenute, in forma grafica e tabellare, unitamente ai parametri a ed n calcolati.

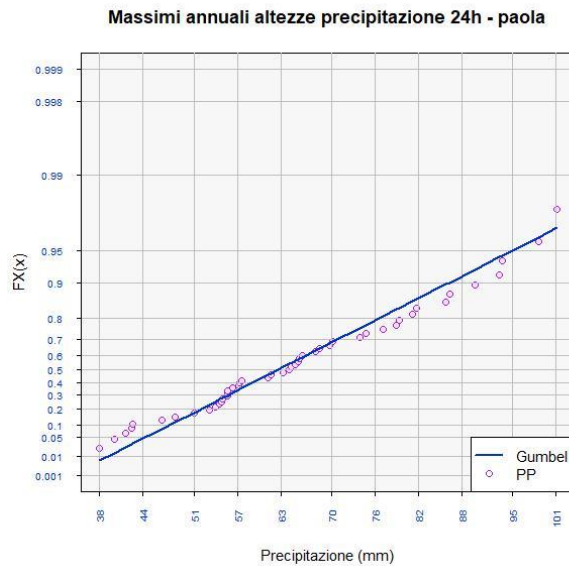


Massimi annuali altezze di precipitazione 1h e 3 h– Stazione Paola

PROGETTAZIONE ATI:



Massimi annuali altezze di precipitazione 6h e 12h – Stazione Paola



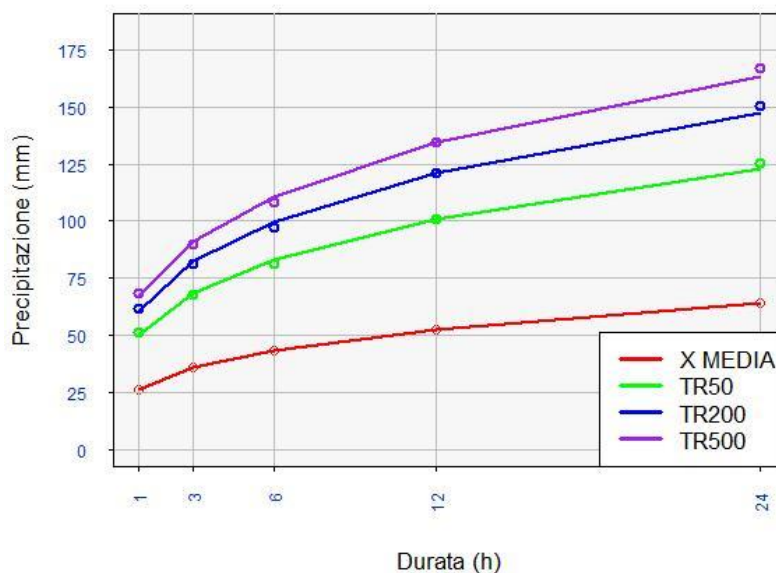
Massimi annuali altezze di precipitazione 24h – Stazione Paola

PROGETTAZIONE ATI:

durate	TR 50	TR 200	TR 500
1h	50.30	60.39	67.04
3h	68.44	82.18	91.23
6h	83.12	99.81	110.80
12h	100.96	121.23	134.57
24h	122.61	147.23	163.44

Valori delle Curve di possibilità pluviometrica per la Stazione Paola

**Curve Possibilità Pluviometrica - paola**



Curve di possibilità pluviometrica – Stazione Paola

	TR 50	TR 200	TR 500
Intercetta	1.70	1.78	1.83
Coeff. angolare	0.28	0.28	0.28
a	50.30	60.39	67.04
n	0.28	0.28	0.28

Valori dei parametri a ed n per la stazione di Paola

PROGETTAZIONE ATI:

## 2.8.5 – VALIDAZIONE STATISTICA DELLA DISTRIBUZIONE ADOTTATA – TEST DEL $\chi^2$

In questo punto si passa a un test analitico cioè il test del  $\chi^2$  (chi-quadro) usato per verificare l'ipotesi di modello, che un certo campione di dati segua una specifica legge di distribuzione nota. Distribuendo i dati in "K" intervalli e indicando il rapporto N/K con N (il numero di dati campionati), k intero positivo (numero d'intervalli semiscelti), il risultato del rapporto è il numero di dati contenuto in ciascun K'esimo intervallo e viene denominato **frequenza teorica attesa** "E<sub>i</sub>" esso è caratterizzato da una ripartizione che segue un criterio di equiprobabilità ( $p_i=1/K$ ). Rappresentando sulle ordinate le diverse frequenze cumulate e sulle ascisse i rispettivi intervalli sarà evidente la rappresentazione di una retta. Per quanto riguarda la determinazione dei limiti superiori e inferiori delle **frequenze osservate (O<sub>i</sub>)** si determinano con i frattili corrispondenti alle diverse frequenze cumulate; una volta determinate la frequenza teorica attesa e frequenze osservate si può passare al calcolo del  $\chi^2$  la formula appena scritta rappresenta il  $\chi^2$ calcolato che deve essere minore del  $\chi^2$ teorico che segue una distribuzione con parametro teta( grado di libertà  $f = k - r - 1$ ; dove r è il numero di parametri della distribuzione ipotizzata). Su delle apposite tabelle in funzione di f e del livello di significatività imposto "a". Il livello di significatività rappresenta la probabilità di compiere un errore del 1°tipo cioè quello di rigettare un' evento vero, esso è anche correlata all'errore di 2°tipo cioè accettare anche eventi che non sono veri, ricordando che all'aumentare dell' errore di 1°tipo diminuisce l' errore di 2°tipo e viceversa. Di seguito si riportano i risultati tabellari che mostrano il criterio di validazione relativo al test del  $\chi^2$  applicato alle serie storiche dei massimi annuali di precipitazione al colmo per durate pari a 1, 3, 6, 12 e 24 e per le quattro stazioni pluviometriche indagate.

	1h	3h	6h	12h	24h
<b>X2 calcolato</b>	39.30	33.63	26.61	88.00	36.29
<b>alfa</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>X2 teorico</b>	39.40	35.27	35.27	89.59	37.11
<b>risultato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>

Validazione campione dati per la stazione di Montalto Uffugo – Test del  $\chi^2$

Stazione Rende					
	1h	3h	6h	12h	24h
<b>X2 calcolato</b>	22.00	14.00	20.00	10.00	12.00
<b>alfa</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>X2 teorico</b>	23.21	23.21	23.21	23.21	23.21
<b>risultato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>

Validazione campione dati per la stazione di Rende – Test del  $\chi^2$

Stazione Rose					
	1h	3h	6h	12h	24h
<b>X2 calcolato</b>	4.00	2.00	2.00	2.00	6.00
<b>alfa</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>X2 teorico</b>	11.34	11.34	11.34	11.34	11.34
<b>risultato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>

Validazione campione dati per la stazione di Rose – Test del  $\chi^2$

Stazione Paola					
	1h	3h	6h	12h	24h
<b>X2 calcolato</b>	5.18	2.85	6.51	9.18	5.35
<b>alfa</b>	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
<b>X2 teorico</b>	10.81	10.81	10.81	10.81	10.81
<b>risultato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>	<b>accettato</b>

Validazione campione dati per la stazione di Paola – Test del  $\chi^2$

### 2.8.6 CONFRONTO CPP GUMBEL CON CPP METODO VAPI

Per scegliere quale delle due formulazioni, tra Gumbel e VAPI, sia più cautelativa, ovvero, fornisce valori di  $a$  ed  $n$  maggiori e quindi altezze di pioggia maggiori, sono state confrontate le CPP ottenute con i diversi metodi.

Nella tabella a seguire si riportano le curve di possibilità pluviometrica ottenute con Gumbel e con il metodo Vapi della Regione Calabria.

	Montalto Uffugo	Rende	Rose	Paola	VaPi Calabria
a	59.91	42.08	25.84	60.39	68.92
n	0.42	0.46	0.43	0.28	0.36
t(ore)	h(mm)	h(mm)	h(mm)	h(mm)	h(mm)
1	59.91	42.08	25.84	60.39	68.92
3	95.28	69.66	41.51	82.18	102.46
6	127.68	95.73	55.97	99.81	131.58
12	171.10	131.57	75.48	121.23	168.98
24	229.28	180.82	101.78	147.23	217.01

Valori delle CPP calcolate con Gumbel con le CPP ricavate da metodologia VaPi

Dal confronto delle due metodologie applicate alla stazione in oggetto emerge che il metodo VaPi fornisce valori più cautelativi, pertanto nel modello idrologico implementato in HEC-HMS è stato fatto riferimento a tali valori.

## **2.9 . - PLUVIOMETRIA PER IDRAULICA DI PIATTAFORMA**

La definizione delle caratteristiche dell'evento pluviometrico da utilizzare successivamente per la verifica idraulica di piattaforma è stata fatta, anche in questo caso, sulla base dello studio di regionalizzazione delle piogge redatto nell'ambito del VaPi Calabria. Le aree oggetto di intervento rientrano tutte nella sottozona T3 (Tirreno Medio e Superiore). Considerate le ridotte superfici stradali che saranno oggetto delle verifiche idrauliche di piattaforma appare evidente come per tali aree risulti un tempo di corrivazione assai ridotto e sicuramente inferiore all'ora. Sulla base di tali considerazioni risulta necessario procedere ad un adeguamento delle Curve di Possibilità Pluviometrica per i valori sub-orari. Studi precedenti hanno ampiamente dimostrato che le estrapolazioni delle curve monomie a due parametri (desunte da elaborazioni su piogge multiorarie) alle durate inferiori all'ora non hanno significatività statistica, conducendo a valori eccessivi. In tali casi è possibile adottare una legge intensità-durata-frequenza a tre parametri oppure utilizzare due distinte leggi per eventi superiori o inferiori all'ora. Tale secondo approccio, che conduce a risultati assolutamente analoghi, è stato preferito nel seguente progetto, per la sua evidenza statistica. Per quanto attiene alla determinazione dell'altezza di pioggia per durate inferiori all'ora (come nel caso delle aree afferenti i tratti di piattaforma stradale) è stato dimostrato (Bell,1969) che il rapporto fra l' altezza di pioggia  $h(t,T)$ , con  $t < 60$  minuti, e l'altezza di pioggia di durata 60 minuti e pari tempo di ritorno  $T$  è dipendente solo dalla durata  $t$ :

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

Tale relazione, trovata nell'ambito delle ricerche idrologiche condotte negli Stati Uniti, si fonda sulla grande variabilità geomorfologica nonché sulla vasta ed articolata quantità di dati idrologici e morfometrici del territorio Americano, ed assume la seguente espressione:

$$\frac{h}{h_{60}} = \left( \frac{t}{60} \right)^{0.495}$$

in cui  $t$  risulta espresso in minuti.

PROGETTAZIONE ATI:



Il dato più interessante che se ne trae è che il rapporto risulta poco dipendente dalla località. La relazione è stata inoltre confermata anche per vasti territori dell' Australia e dell'Africa. Più recentemente autori italiani hanno sperimentato la validità della relazione sopra citata calcolando i rapporti dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata rispetto al valor medio della massima altezza oraria dell'anno. In particolare (Calenda e altri, 1993) sono stati ottenuti al pluviometro registratore di Roma Macao i seguenti rapporti:

<b>d(min)</b>	<b>5'</b>	<b>10'</b>	<b>15'</b>	<b>20'</b>	<b>25'</b>	<b>30'</b>
<b><math>r = h_{(d)}/h_1</math></b>	0.278	0.435	0.537	0.632	0.709	0.758

Nel nostro caso l'altezza di pioggia di durata 10' sarà dunque:

$$h_{10,T} = (h_1 r_{10}) K_T$$

dove  $h_1$  è l'altezza di pioggia indice per la durata di 1 ora, mentre "r" è il rapporto ottenuto al suddetto pluviometro di Roma Macao. In base a quanto appena discusso di seguito si riportano i risultati ottenuti facendo riferimento ad un evento di durata 10 minuti e avente tempo di ritorno pari a 10, 20 e 50 anni.

CURVE DI PROBABILITA' PLUVIOMETRICA AL TERZO LIVELLO DI REGIONALIZZAZIONE REGIONE CALABRIA						
ZONA	TIRRENO	2	<<<			
SOTTOZONA	T3		<<<			
QUOTA	150	m s.l.m.	<<<			
TR	10	<<< >>>	TR	20	TR	50
K(T)	1.45		K(T)	1.69	K(T)	2.04
b	26.61					
a	0.00022					
c	0.402					
d	1.769					
A(1h)	39		A(1h)	45	A(1h)	54
n	0.32		n	0.32	n	0.32
	TR	10	TR	20	TR	50
t(min)	t(h)	h(mm)	t(h)	h(mm)	t(h)	h(mm)
10	0.17	24.34	0.17	33.06	0.17	48.17
60	1.00	38.58	1.00	44.97	1.00	54.28
120	2.00	48.01	2.00	55.95	2.00	67.54
180	3.00	54.55	3.00	63.58	3.00	76.74
360	6.00	67.87	6.00	79.10	6.00	95.48
720	12.00	84.44	12.00	98.41	12.00	118.80
1440	24.00	105.05	24.00	122.44	24.00	147.80

Tabella 7: Determinazione CPP con valori a 10 minuti per il bacino del Torrente Settimo

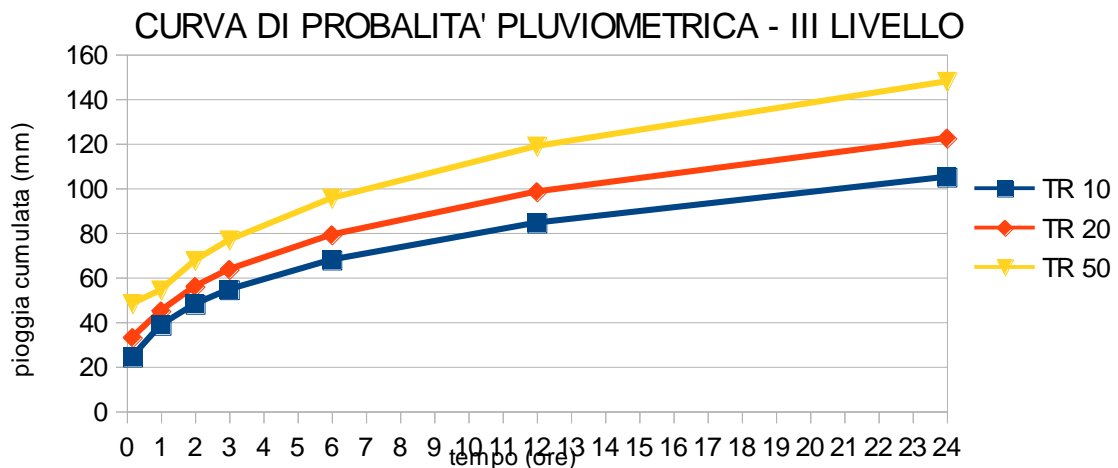


Tabella 8: Curve possibilità pluviometrica per TR 10, 20 e 50 anni

PROGETTAZIONE ATI:

## **2.10 . – CALCOLO PORTATE METODO RAZIONALE**

Così come previsto nelle Linee Guida emanate nell'ambito del PAI, per la valutazione delle portate è stata considerata una pioggia con durata pari a quella corrispondente al tempo di corrivazione del bacino stesso (determinata in base alle sue caratteristiche fisiche: pendenza dell'asta media del torrente, quota media del bacino, ecc...), ed è stato utilizzato come modello di trasformazione la classica Formula Razionale.

$$Q_t = \frac{C \cdot h_c \cdot A}{3.6 \cdot t_c}$$

Dove:

- A = superficie del bacino in Km<sup>2</sup>;
- C = coefficiente di afflusso;
- h<sub>c</sub> = altezza di precipitazione in mm corrispondente alla durata critica (t<sub>c</sub>) del bacino per assegnato periodo di ritorno T.

Il metodo considera il bacino idrografico come una singola unità e stima il valore al colmo della portata con le seguenti assunzioni:

- la precipitazione è uniformemente distribuita sul bacino;
- la portata stimata ha lo stesso tempo di ritorno T di quello dell'intensità di pioggia;
- il tempo di formazione del colmo di piena è pari a quello della fase di riduzione;
- l'intensità di pioggia ha una durata pari a quella del tempo di corrivazione t<sub>c</sub>.

Di seguito è riportata la sintesi dei valori ricavati dall'applicazione della formula razionale per i tre tempi di ritorno considerati e per le condizioni di umidità a CNII e CNIII.

PROGETTAZIONE ATI:

TEMPO RITORNO	BACINO IDROGRAFICO	AREA	H <sub>min</sub>	H <sub>med</sub>	H <sub>max</sub>	CNII	T <sub>c</sub>	S	la	H lorda	H netta	C.deflusso	Intensità critica	Q200	Q200 specif.
anni	-	kmq	m <sub>slm</sub>	m <sub>slm</sub>	m <sub>slm</sub>	-	h	mm	mm	mm	mm	-	mm/h	mc/s	mc/s/kmq
2	T. Settimo	40.23	162	436	1256	74.5	4.05	86.94	2	40.56	11.85	0.29	10.01	32.69	0.81
50	T. Settimo	40.23	162	436	1256	74.5	4.05	86.94	2	89.93	44.21	0.49	22.2	122.00	3.03
200	T. Settimo	40.23	162	436	1256	74.5	4.05	86.94	2	114.18	63.20	0.55	28.19	174.39	4.33
500	T. Settimo	40.23	162	436	1256	74.5	4.05	86.94	2	130.93	77.00	0.59	32.33	212.48	5.28

*Tabella 9: Calcolo portata massima con metodo razionale per CNII*

TEMPO RITORNO	BACINO IDROGRAFICO	AREA	H <sub>min</sub>	H <sub>med</sub>	H <sub>max</sub>	CNIII	T <sub>c</sub>	S	la	H lorda	H netta	C.deflusso	Intensità critica	Q200	Q200 specif.
anni	-	kmq	m <sub>slm</sub>	m <sub>slm</sub>	m <sub>slm</sub>	-	h	mm	mm	mm	mm	-	mm/h	mc/s	mc/s/kmq
50	T. Settimo	40.23	162	436	1256	87	4.05	37.95	2	40.56	19.43	0.48	10.01	53.62	1.33
50	T. Settimo	40.23	162	436	1256	87	4.05	37.95	2	89.93	61.42	0.68	22.2	169.47	4.21
200	T. Settimo	40.23	162	436	1256	87	4.05	37.95	2	114.18	83.82	0.73	28.19	231.28	5.75
500	T. Settimo	40.23	162	436	1256	87	4.05	37.95	2	130.93	99.61	0.76	32.33	274.84	6.83

*Tabella 10: Calcolo portata massima con metodo razionale per CNIII*

## 2.11 . – CALCOLO PORTATE METODO VAPI

Quando nella sezione terminale del bacino in studio esiste una stazione di misura idrometrica, la stima della piena media annua può essere effettuata direttamente sulla serie osservata dei massimi annuali al colmo di piena, essendo tale stima piuttosto affidabile non appena la serie osservata sia di lunghezza appena sufficiente (4-5 anni). Nel caso più frequente in cui tali dati dovessero mancare del tutto, possono essere utilizzati diversi modelli per la stima indiretta della piena media annua.

Diverse formulazioni di tipo regressivo fra la piena media annua e le principali grandezze fisiche del bacino possono essere considerate; in particolare, per le sue prestazioni statistiche, valutate attraverso una tecnica di cross-validation, si propone qui la seguente relazione empirica:

$$m(Q) = 1.578 A_{\text{rid}}^{0.839}$$

Si riportano dapprima i valori dei coefficienti  $K(T)$  indicati nel progetto VaPi Calabria relativi ai diversi tempi di ritorno e alle differenti sottozone omogenee e, nel seguito, i valori di portata massima ottenuti per il bacino del T. Settimo.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
$K_T$ (Tirreno)	0.86	1.31	1.68	2.11	2.26	2.58	2.74	3.23	3.74	4.41	4.92
$K_T$ (Centrale)	0.83	1.38	1.82	2.33	2.50	2.89	3.08	3.68	4.28	5.08	5.69
$K_T$ (Ionio)	0.79	1.47	2.02	2.65	2.87	3.35	3.58	4.32	5.07	6.07	6.82

Tabella 11: Valori dei coefficienti  $K(T)$  indicati nel progetto VaPi Calabria per ciascuna sottozona omogenea

A (Kmq)	m(Q)	K(t) 50	K(t) 200	K(t) 500	Q50 (mc/s)	Q200 (mc/s)	Q500 (mc/s)
40.23	35.02	2.74	3.74	4.41	95.96	130.98	154.44

Tabella 12: Valori di portata massima calcolati con Formula empirica progetto VaPi per la sottozona omogenea T3 e per i TR 50, 200 e 500 anni

### **3. - MODELLAZIONE IDROLOGICA**

In questo capitolo verranno descritte nel dettaglio le metodologie utilizzate allo scopo di determinare le portate di progetto da utilizzare nell'ambito della modellazione idraulica. A tal proposito nelle pagine a seguire, dopo una breve descrizione generale relativa alle metodologie di calcolo implementate nel software HEC-HMS, verranno descritti i passaggi che hanno consentito di identificare l'evento pluviometrico di progetto, le modalità con cui si è implementato il modello idrologico nel software HEC-HMS ed infine sarà riportato un riepilogo sui dati ottenuti.

#### **3.1 . - MODELLISTICA UTILIZZATA**

Nei paragrafi a seguire saranno riportate le caratteristiche principali dei software utilizzati ai fini della modellazione idrologica. In particolare per la modellazione idrologica è stato utilizzato il software HEC-HMS nella versione 4.8.

#### **3.2 . - SOFTWARE HEC-HMS**

Il fenomeno della trasformazione afflussi-deflussi che avviene in un bacino idrografico investito da un evento pluviometrico può essere studiato con vari metodi a secondo dei dati disponibili e del grado di dettaglio ed accuratezza del risultato che si intende ottenere. Tutti questi metodi sono riconducibili alle seguenti tipologie:

- concettuali: quando il fenomeno viene schematizzato nel dettaglio e scomposto nelle sue varie componenti per ciascuna delle quali si adotta un modello matematico che simula quanto avviene nella componente stessa (es: metodo dell'idrogramma unitario o il metodo cinematico);
- statistici: quando si fa unicamente un'analisi statistica dei deflussi e quindi le portate di piena del bacino idrografico vengono valutate sulla base di equazioni matematiche che possono dipendere anche da caratteristiche morfologiche del bacino stesso (es. : metodi di regionalizzazione delle piene del VaPi);
- formule empiriche: quando le portate massime vengono calcolate sulla base di semplici relazioni tarate sulla base di dati sperimentali (es: formule di Gherardelli-Marchetti, Mongiardini, Forti, De Marchi e Pagliaro).

PROGETTAZIONE ATI:

Nel presente studio ci occuperemo esclusivamente dei metodi concettuali che sono quelli implementati nel software HEC-HMS utilizzato per condurre le simulazioni idrologiche. Tali metodi analizzano separatamente le varie fasi in cui il fenomeno di trasformazione afflussi-deflussi può essere scomposto e che sono:

- separazione delle piogge;
- formazione della piena;
- propagazione della piene;
- deflusso di base.

Ai fini dell'implementazione del modello idrologico per il bacino di interesse si è ritenuto sufficiente schematizzare il modello di bacino utilizzando un unico elemento subbasin che comprende l'intero bacino del Torrente Settimo chiuso in corrispondenza dell'area di intervento.

- I fase: separazione della pioggia (calcolo della pioggia netta): metodo Curve Number (CN) del Soil Conservation Service (SCS);
- II fase: formazione della piena: metodo dell'Idrogramma Unitario Istantaneo (IUH) del Soil Conservation Service (SCS).
- III fase: propagazione della piena: metodo del "Muskingum-Cunge".

Di seguito si da una breve descrizione teorica dei metodi utilizzati per schematizzare ciascuna delle fasi sopra elencate.

### **Separazione delle piogge**

Il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione o capacità di ritenzione del suolo (S) deriva dalla seguente relazione:

$$S = 254 \times (100/CN - 1)$$

Dall'analisi del risultato di molte osservazioni sperimentali ne deriva che la perdita iniziale (Ia) è legata alla capacità di ritenzione del suolo (S) dalla relazione

$$Ia = 0.2 \times S$$

PROGETTAZIONE ATI:

che è quindi il valore da utilizzare in mancanza di altri dati disponibili.

Il valore del Curve Number (CN) va, invece, rilevato in funzione dei dati contenuti nella tabella sotto riportata in funzione del tipo di copertura e uso del suolo e del tipo di suolo.

TIPO DI COPERTURA E USO DEL SUOLO	TIPO DI SUOLO			
	A	B	C	D
<b>TERRENO COLTIVATO</b>				
senza trattamento di conservazione	72	81	88	91
con interventi di conservazione	62	71	78	81
<b>TERRENO DA PASCOLO</b>				
cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
<b>PRATERIE</b>				
buone condizioni	30	58	71	78
<b>TERRENI BOSCOSE O FORESTATI</b>				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
<b>SPAZI APERTI, PRATI RASATI, PARCHI</b>				
buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
<b>AREE COMMERCIALI (Impermeabilità 85%)</b>	89	92	94	95
<b>DISTRETTI INDUSTRIALI (Imp. 72%)</b>	81	88	91	93
<b>AREE RESIDENZIALI</b>				
Impermeabilità media				
%	77	85	90	92
65	61	75	83	87
38	57	72	81	86
30	54	70	80	85
25	51	68	79	84
<b>PARCHEGGI IMPERMEABILIZZATI, TETTI</b>	98	98	98	98
<b>STRADE</b>				
Pavimentate con cordoli e fognature	98	98	98	
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

*Tabella 13: Tipo di copertura e uso del suolo*

Le classi di suolo sono riportate nella tabella successiva. In generale il valore del CN del bacino risulterà da una media pesata dei CN delle singole unità fisiografiche omogenee in cui il bacino può essere scomposto.

Ogni metodo di separazione delle piogge è influenzato dal grado di saturazione del suolo al momento del verificarsi dell'evento di pioggia. Il valore del CN del Soil Conservation Service come

PROGETTAZIONE ATI:



sopra descritto è associabile a condizioni medie di saturazione che corrispondono al valore 2 di Antecedent Moisture Condition (AMC) che come indicato nella tabella seguente è ricavabile in funzione dell'altezza di pioggia registrata nei cinque giorni che precedono l'evento e dello stato vegetativo.

Classe AMC	Precipitazione nei 5 giorni precedenti [mm]	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	<13	<36
II	13-28	36-54
III	>28	>54

*Tabella 14: Classe Antecedent Moisture Condition (AMC)*

Per ottenere il valore di CN relativo alle altre due condizioni di saturazione si usano le relazioni seguenti:

$$CN(I) = \frac{4,2 \text{ CN(II)}}{10 - 0,058 \text{ CN(II)}}$$

$$CN(III) = \frac{23 \text{ CN(II)}}{10 + 0,13 \text{ CN(II)}}$$

*Tabella 15: Formula relativa al passaggio dalla classe AMC1 alla classe AMC3*

Si specifica che nell'ambito del presente studio idrologico, per la modellazione idrologica in HEC-HMS, è stato fatto riferimento al valore CNIII pari a 87.

### **Formazione delle piene**

Per la valutazione del tempo di ritardo del bacino, unico parametro necessario per la determinazione della forma del IUH nella formulazione SCS, si è ritenuto sufficientemente cautelativo utilizzare il valore estratto dalla parametrizzazione del bacino idrografico. Il valore del tempo di ritardo dei bacini oggetto di studio è stato ricavato a partire dal tempo di corrivazione determinato secondo varie formulazioni disponibili.

### 3.3 . - IMPLEMENTAZIONE MODELLO IDROLOGICO HEC-HMS

Sulla base dei dati generali ottenuti dalla ricostruzione del quadro conoscitivo sul Torrente Settimo e dei dati ottenuti dalla determinazione delle Curve di Possibilità Pluviometrica è stato possibile inizializzare lo schema del modello idrologico da implementare nel software HEC-HMS. Si evidenzia che la chiusura del bacino idrografico da modellare è stata imposta in in corrispondenza dei tratti di asta fluviale da analizzare nello studio idraulico, in modo da verificare gli effetti indotti dalla realizzazione degli interventi in progetto.

Sulla base di tali premesse è stato implementato il modello idrologico del bacino del Torrente Settimo secondo lo schema riportato in Fig. 13 mentre i principali risultati ottenuti per il TR 200 anni sono riportati in Tabella.

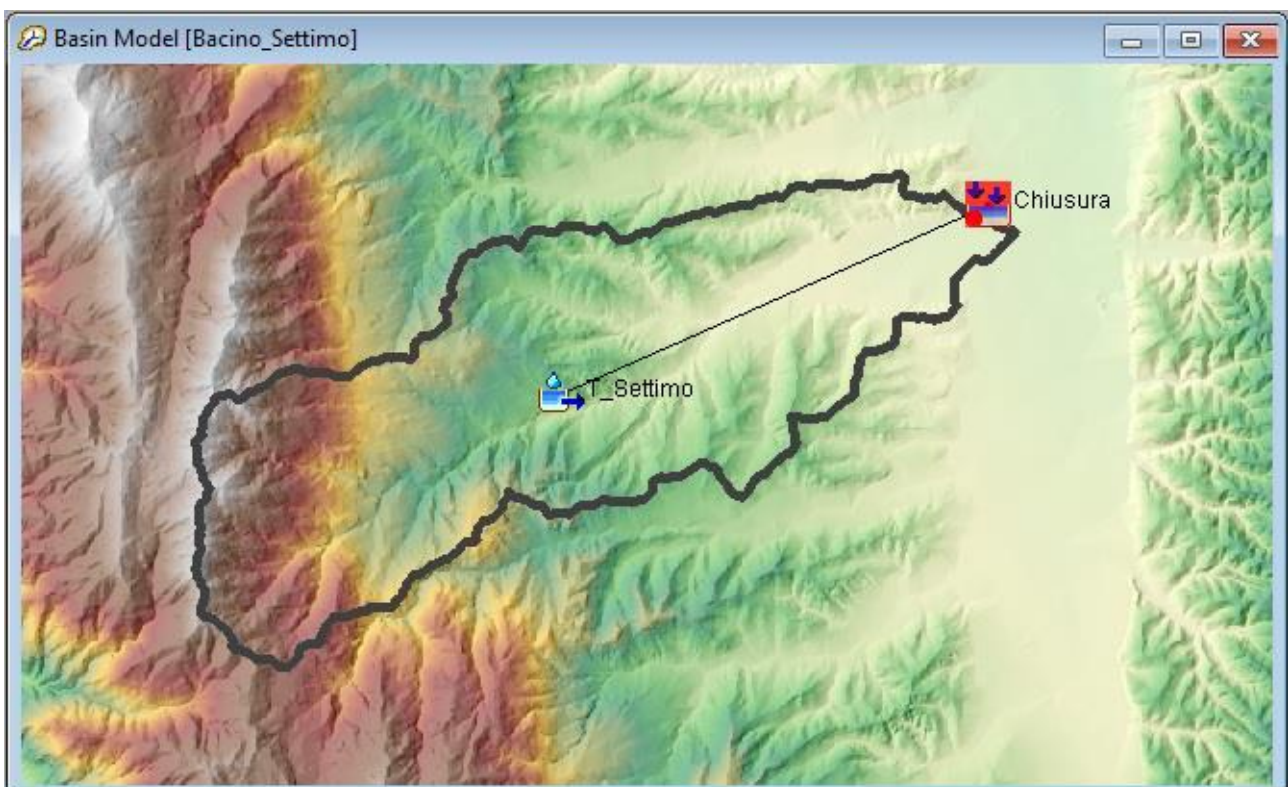


Fig. 13: Modello idrologico bacino T. Settimo implementato in HEC-HMS

PROGETTAZIONE ATI:

### 3.3.1 CARATTERISTICHE BACINO IDROGRAFICO

Di seguito vengono riportate le principali caratteristiche ricavate per il sottobacino analizzato e utilizzate ai fini della modellazione idrologica. I principali parametri morfometrici sono stati ricavati in ambiente GIS a partire anche dalle informazioni del modello digitale del terreno con celle a 10 m; per quanto riguarda la determinazione del tempo di corrivazione del bacino è stata considerata la media dei valori ottenuti dalle seguenti formulazioni:

- Ogrosky

$$T_c = 0.914L_{\max}^{1.15}H_m^{-0.38}$$

- Pasini

$$T_c = \frac{0.108(A * L_a)^{0.33}}{i^{0.05}}$$

- Kirpich

$$T_c = 0.066L_a^{0.77} \left[ \frac{L_a}{0.8(H_{\max} - H_{\min})} \right]^{0.385}$$

- Pezzoli

$$T_c = \frac{0.055L_a}{i^{0.5}}$$

- Horton

$$T_c = \frac{3.6L_a}{v}$$

- FAO

$$T_c = \frac{L_a}{15H_{\max}^{0.38}}$$

PROGETTAZIONE ATI:

<b>Caratteristiche bacino T. Settimo</b>	
$L = \text{max dist percorsa dall'acqua [Km]}$	16.64
$Lb = \text{lunghezza del bacino [Km]}$	20.45
$Lc = \text{lungh. dell'asta princ. [Km]}$	16.57
$Hf = \text{Quota della sezione di chiusura [m]}$	162.00
$C = \Delta H \text{ punto più lontano-foce [m]}$	1094.00
$Hmax = \text{Quota max sulla foce [m]}$	1256.00
$Hm = \text{Quota media del bacino [m]}$	436.00
$Hc = \text{Quota media dell'asta princ. [m]}$	338.66
$Vm = \text{vel media corrente nell'asta [Km/h]}$	3.60
$A = \text{Area del bacino [Kmq]}$	40.23
$i = \text{pendenza media asta (\%)}$	0.0107
$Tc \text{ (tempo di corrivazione) (h)}$	4.05
$Tlag \text{ (tempo di ritardo) (min)}$	145.85
$CN \text{ (AMCII)}$	74.50
$CN \text{ (AMCIII)}$	87.00

Tabella 16: Caratteristiche principali del sottobacino idrografico utilizzato nella modellazione idrologica

<b>Tempi di corrivazione [h]</b>		
<i>Puglisi</i>	$t_c = 6 L^{0.67} * Hm^{(-0.33)}$	3.78
<i>Ogrosky</i>	$t_c = 0.914 L^{1.15} C^{(-0.38)}$	1.62
<i>Affl.Arno</i>	$t_p = 0.416(Lc + AL)^{1.06} * (H + Hc)^{(-0.27)}$	1.76
<i>Pasini</i>	$t_p = 0.108 * (A * Lc)^{(1/3)} / i^{0.05}$	9.14
<i>Giandotti</i>	$t_p = (4 * radq(A) + 1.5 * L) / (0.8 * radq(H))$	3.01
<i>Kirpich</i>	$t_p = 0.066 Lc^{(0.77)} [1000 * Lc / 0.8 (Hm - Hf)]^{0.385}$	1.78
<i>Pezzoli</i>	$t_p = 0.055 * Lc / i^{0.5}$	8.83
<i>Horton</i>	$t_p = 3.6 * L / v$	5.52
<i>FAO</i>	$t_p = L / 15 Hm^{0.38}$	1.01
<i>Kerby</i>	$t_p = (0.342 * L * 0.8 * i^{0.5})^{0.467}$	0.17
	media	4.05
	<b>Tlag (min)</b>	145.85

Tabella 17: Calcolo del tempo di corrivazione e del tempo di ritardo per il bacino idrografico oggetto di studio

<b>Area (km2)</b>	40.23
<b>P (km)</b>	44.84
<b>K</b>	1.98
<b>Lb (Gravelius)</b>	20.45

Tabella 18: Calcolo della lunghezza del bacino

PROGETTAZIONE ATI:

### 3.3.2 RISULTATI MODELLAZIONE IDROLOGICA

Di seguito si riportano i risultati principali ottenuti dalla modellazione idrologica del Bacino del Torrente Settimo per i tre tempi di ritorno analizzati (TR 50, 200 e 500 anni). Dall'analisi dei risultati emerge che la portata massima duecentennale attesa in corrispondenza delle aree oggetto di intervento (realizzazione dello svincolo su Autostrada A2 del Mediterraneo) è pari a circa 317 mc/s. Di seguito nelle Tabb. 15 e 16 si riportano i principali risultati tabellari ottenuti dalla modellazione numerica. In particolare nella prima tabella sono riportati i risultati ottenuti in termini di massime portate che si generano in corrispondenza della sezione di chiusura, unitamente alla portata specifica e ai volumi di deflusso per i diversi tempi di ritorno, mentre nella seconda tabella sono riportati i volumi espressi in mm di precipitazione totale, persa e netta per i diversi tempi di ritorno unitamente ai coefficienti di deflusso.

Per una migliore comprensione dei risultati ottenuti si riportano nelle Figg. 14 da a 16 gli ietogrammi di precipitazione totale (colore blu) persa (colore rosso) e netta (colore verde) per i differenti tempi di ritorno analizzati mentre nella Fig. 17 è riportato il confronto tra i tre idrogrammi di piena individuati alla sezione di chiusura per i TR 50, 200 e 500 anni.

TR	Bacino	Area (kmq)	Qmax (mc/s)	Tempo di picco	Q specifica (mc/s*kmq)	Volume (mm)
50	T_Settimo	40.23	234.10	01gen2021, 05:10	5.82	73.83
200	T_Settimo	40.23	317.00	01gen2021, 05:10	7.88	99.99
500	T_Settimo	40.23	374.60	01gen2021, 05:05	9.31	118.37

*Tabella 19: Portate massime ricavate dalla modellazione idrologica a per i tempi di ritorno TR 50, 200 e 500 anni in corrispondenza dell'area di intervento*

TR	Bacino	Precipitazione Totale (mm)	Precipitazione Persa (mm)	Precipitazione Eccesso (mm)	Coefficiente Deflusso
50	Torrente Settimo	103.64	29.63	74.01	0.71
200	Torrente Settimo	131.58	31.36	100.22	0.76
500	Torrente Settimo	150.89	32.24	118.65	0.79

*Tabella 20: Volumi di precipitazione totale netta e persa per TR 50, 200 e 500 anni*

PROGETTAZIONE ATI:

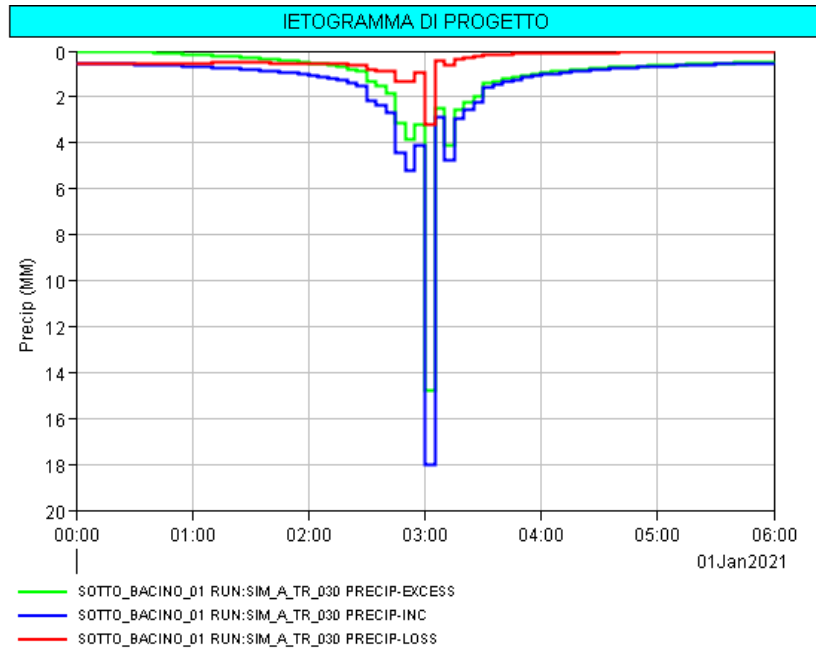


Fig. 14: Ietogramma precipitazione totale, persa e netta per TR 50 anni

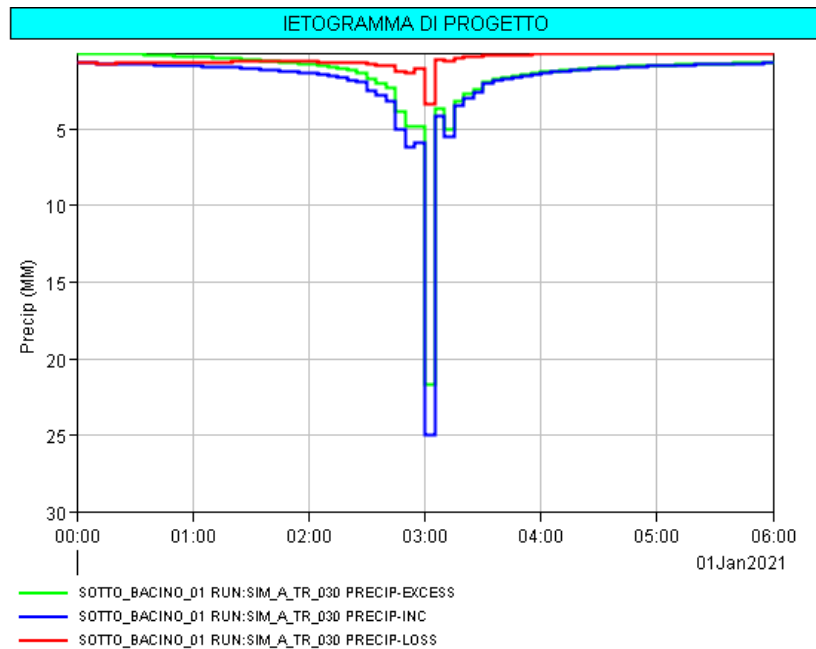


Fig. 15: Ietogramma precipitazione totale, persa e netta per TR 200 anni

PROGETTAZIONE ATI:

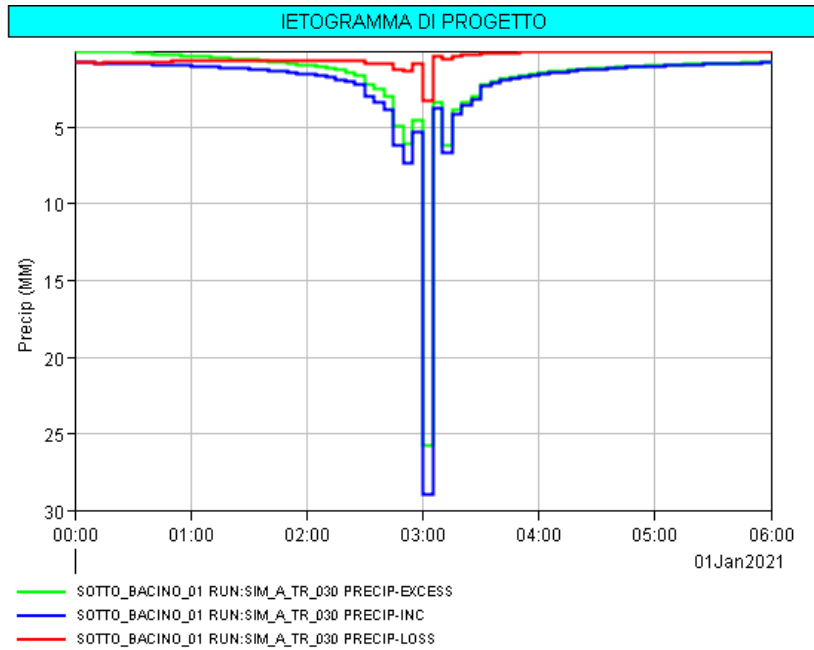


Fig. 16: Ietogramma precipitazione totale, persa e netta per TR 500 anni

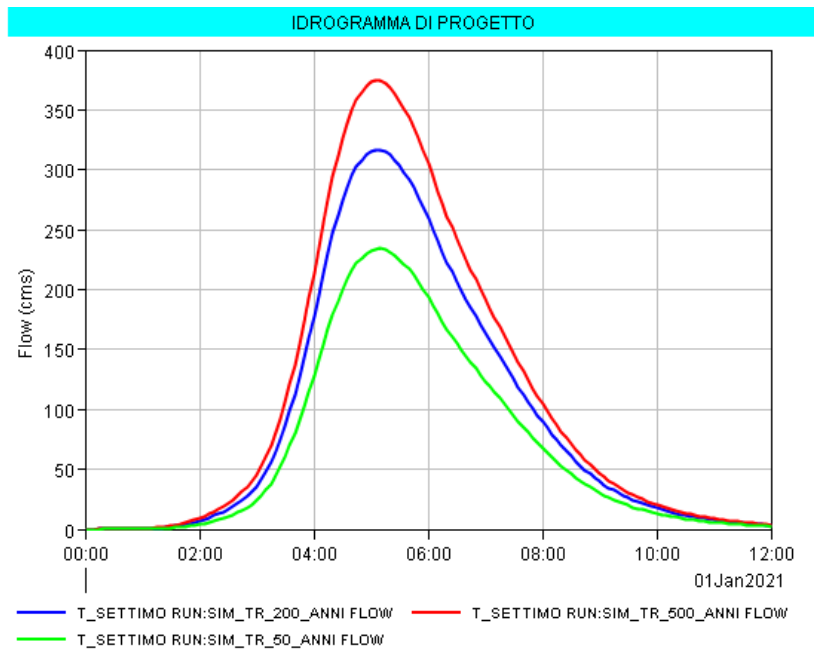


Fig. 17: Confronto idrogrammi di piena ottenuti per il Bacino del T. Settimo relativi a TR 50, 200 e 500 anni

PROGETTAZIONE ATI:

## **4. - CONCLUSIONI**

La presente relazione idrologica è stata redatta al fine di fornire le indicazioni e gli strumenti per il corretto dimensionamento delle opere di regimazione delle acque superficiali interferenti e per la progettazione e verifica idraulica degli attraversamenti stradali del progetto relativo alla realizzazione del nuovo svincolo di Cosenza nord al km 250+000 in località Settimo di Rende. Tale progetto si inserisce nell'ambito dei lavori di ammodernamento e adeguamento al tipo 1b delle norme CNR/80, del tronco 1°, tratto 4°, lotto unico dell'Autostrada Salerno-Reggio Calabria.

Lo schema di svincolo è del tipo a trombetta, con cappio sul lato carreggiata sud dell'autostrada e viabilità di collegamento principalmente sul lato carreggiata nord all'interno di un'area pianeggiante racchiusa fra l'Autostrada Salerno - Reggio Calabria, le linee ferroviarie Sibari-Paola e Cosenza-Paola e l'area industriale di Settimo. L'intervento interessa la parte nord del territorio del comune di Rende al confine con il comune di Montalto Uffugo.

Nel corso del presente studio sono state prima descritte nel dettaglio le diverse fasi che hanno portato alla ricostruzione del quadro conoscitivo, successivamente sono state mostrate le modalità con cui sono state calcolate le Curve di Possibilità Pluviometrica relative al Bacino del T. Settimo applicando la metodologia riportata nel progetto VaPi Calabria. In un secondo momento si è proceduto alla stima della portata al colmo per ciascun tempo di ritorno, mediante l'applicazione della formulazione razionale, della metodologia proposta dal progetto VaPi, ed infine è stato predisposto uno studio idrologico più di dettaglio mediante l'implementazione del modello idrologico del bacino del T. Settimo con l'utilizzo del software HEC-HMS. Dai risultati condotti con le diverse metodologie adottate è emerso che la modellazione idrologica condotta mediante il software HEC-HMS è quella che riesce a massimizzare la risposta idrologica del bacino del T. Settimo. In particolare si prevede in corrispondenza dell'intervento in progetto una portata al colmo pari a circa 317 mc/s relativamente all'evento duecentennale. Tale valore risulta peraltro conforme ai valori di portata desunti da altri studi presenti per le zone adiacenti ed inoltre le metodologie utilizzate nelle varie fasi dello studio idrologico sono in pieno accordo con le indicazioni contenute nel Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Calabria (PAI).

Tale valore di 317 mc/s, risultando il più cautelativo, sarà quindi preso come riferimento per il dimensionamento delle opere in progetto e per le relative verifiche idrauliche.