

**PNC - PNRR: Piano Nazionale Complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza nei territori colpiti dal sisma 2009-2016, Sub-misura A4,"Investimenti sulla rete stradale statale"**

**Lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento delle intersezioni - 1° Stralcio lungo la S.S. n. 210 "Fermana Faleriense" - Amandola - Servigliano"**

**PROGETTO DEFINITIVO**

PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  
 Ing. Eugenio Moroni  
 Ordine Roma n° 10020

IL GEOLOGO  
 Dott.ssa Geol. Maria Bruno  
 Ordine dei Geologi del Lazio al n° 668

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE  
 Ing. Francesco M. La Camera  
 Ordine Roma n° 7290

IMPRESA CONCORRENTE A.T.I.:

Mandataria:



Mandante:



RTP DI PROGETTAZIONE:

Mandataria:

**S.T.E.** s.r.l.

Structure and Transport Engineering

Direttore Tecnico  
 Ing. E. Moroni  
 Ordine Ing. Roma N. 10020

Mandanti:



Direttore Tecnico  
 Ing. G. Grimaldi  
 Ordine Ing. Roma N. 17703A

**Dott. Geol. M. BRUNO**

Ordine Geologi  
 Lazio N. 668

**IDROLOGIA E IDRAULICA**  
 Relazione di compatibilità idraulica

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T03_ID00_IDR_RE03_A			
A N 2 6 6	D	2 3	CODICE ELAB. T 0 3 I D 0 0 I D R R E 0 3		A	-
D						
C						
B						
A	Prima Emissione		Nov. 2023	SPAGNOLO	ALESSANDRONI	LA CAMERA
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## Sommario

1	PREMESSA.....	2
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	3
3	ANALISI IDROLOGICA.....	6
3.1	QUADRO NORMATIVO DI PIANIFICAZIONE IDRAULICA	6
3.2	PLUVIOMETRIA	7
3.2.1	<i>Regionalizzazione delle piogge VAPI.....</i>	8
3.2.1.1	<i>Verifica della regionalizzazione del metodo VAPI: Piogge brevi.....</i>	12
3.2.2	<i>Stima locale delle relazioni IDF.....</i>	20
3.2.3	<i>Legge Intensità-Durata-Frequenza .....</i>	20
3.2.4	<i>Distribuzione di probabilità dell'intensità di pioggia oraria.....</i>	22
3.2.5	<i>Risultati della stima locale .....</i>	23
4	CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA DI PROGETTO.....	39
4.1	MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI	39
4.1.1	<i>Tempo di concentrazione .....</i>	40
4.1.2	<i>Curve Number.....</i>	40
4.1.3	<i>Determinazione del CN.....</i>	43
4.1.4	<i>Coefficienti di deflusso.....</i>	50
4.1.5	<i>Intensità di pioggia e portate di progetto.....</i>	51
5	ANALISI IDRAULICA – STRALCIO 1 LOTTO 2.....	54
5.1	RIFERIMENTI NORMATIVI	54
5.2	IDRAULICA FLUVIALE	55
5.3	SEZIONI IDRAULICHE DI CALCOLO E CAMPAGNA RILIEVI	55
5.4	MODELLO IDRAULICO	57
5.4.1	<i>Condizioni al contorno.....</i>	57
5.4.2	<i>Coefficienti di scabrezza.....</i>	57
5.5	RISULTATI DELLE MODELLAZIONI	58

## 1 PREMESSA

La presente relazione si riferisce allo studio eseguito per la definizione dei caratteri idrologici, idraulici ed alla verifica di compatibilità dell'asta fluviale del fiume Tenna, localizzata nelle vicinanze dell'asse stradale del Progetto Definitivo "LAVORI DI ADEGUAMENTO E/O MIGLIORAMENTO TECNICO FUNZIONALE DELLA SEZIONE STRADALE IN T.S. E POTENZIAMENTO 1° STRALCIO LUNGO LA S.S. N. 210 "FERMANA FALERIENSE" - AMANDOLA - SERVIGLIANO".

Le analisi condotte sul Progetto di Fattibilità Tecnico Economica hanno confermato la necessità di approfondire alcuni aspetti legati allo studio idrologico ed idraulico.

In sintesi l'oggetto dello studio di seguito realizzato ha come obiettivo la definizione dei valori di colmo delle massime portate di piena attese e necessarie ai fini di valutazioni idrauliche del fiume Tenna, simulandone il comportamento quando sollecitato da forzanti idrologiche ed idrauliche legate ad eventi estremi, così come definito nell'ambito delle vigenti norme, direttive e strumenti di pianificazione di bacino.

---

IMPRESA A.T.I.:

PROGETTISTA RTP:

MANDATARIA:

MANDANTE:

MANDATARIA:

MANDANTI:

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'opera in progetto ricade nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale (ABDAC) e in particolare nei bacini di competenza dell'UoM Ex Autorità di Bacino Regionale delle Marche, come mostrato nella figura 1.

Da un punto di vista amministrativo (figura 2) l'opera in progetto ricade nel territorio del comune di Servigliano, nella provincia di Amandola. Il tracciato di progetto, seppur ricadente nel Bacino del Fiume Tenna, non ne attraversa l'alveo ma interferisce solo con i suoi affluenti secondari quali Fosso Valle Cupa, Fosso di San Gualtiero, Fosso Valentella, Fosso Parapina, Fosso Castellano ed altri piccoli fossi senza nome. Questi presentano tutti sottobacini idrografici di estensione ridotta ed una conformazione per lo più omogenea ed allungata verso il Fiume.

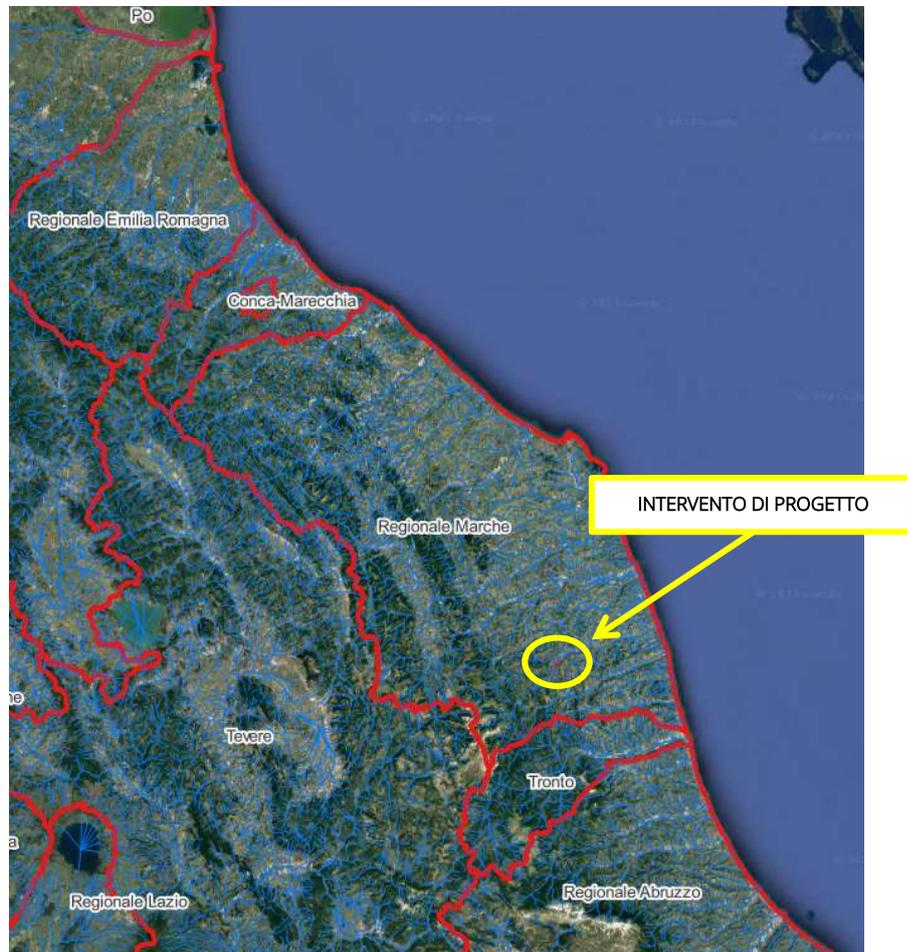


Figura 1: Ubicazione dell'opera in progetto (Bacino Regionale delle Marche)

Nella figura 2 sono evidenziati i pluviometri registratori di Servigliano, Amandola, Sant'Angelo in Pontano e Sarnano, utilizzati per le elaborazioni pluviometriche e che risultano essere significativi per il bacino del fiume Tenna.

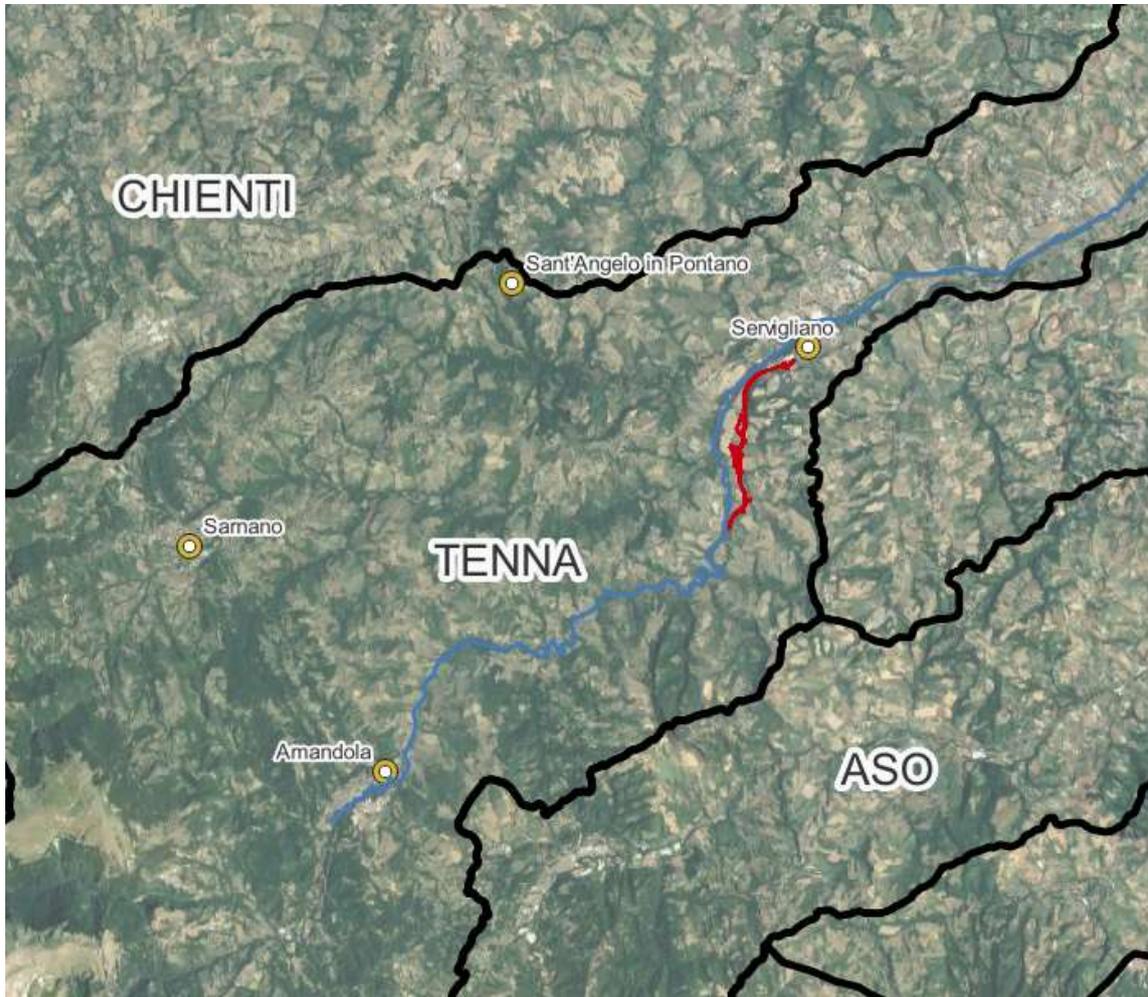


Figura 2: Ubicazione dell'opera in progetto su un'immagine aerea recente (Google Earth 2021)

IMPRESA A.T.I.:

PROGETTISTA RTP:

MANDATARIA:

MANDANTE:

MANDATARIA:

MANDANTI:

**MONACO** Sp.A.  
Costruzioni generali

**IRCOPI**  
Costruzioni generali

**S.T.E.** s.r.l.  
Structure and Transport Engineering

**E.D.IN.** s.r.l.  
Società di Ingegneria

Dott. Geol.

MARIA BRUNO

PAG. 5 DI 58

## 3 ANALISI IDROLOGICA

### 3.1 Quadro Normativo di pianificazione idraulica

L'area interessata dall'infrastruttura ricade interamente all'interno del territorio che fa riferimento al Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) Regione Marche redatto dall'ex Autorità di Bacino Regionale della Marche nel 2001 e aggiornato a seguito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) redatto, ai sensi della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE e del successivo D.Lgs. 49/2010, dall' ABDAC nel 2021. Il Piano ha prodotto, lungo le aste dei corsi d'acqua modellati, la mappatura delle aree di pericolosità e di rischio idraulico a cui fare riferimento nella progettazione. Allo stato attuale di redazione il PAI della Regione Marche prevede, lungo l'estensione dell'asta fluviale del Tenna, aree classificate a rischio idrogeologico R1 ovvero di Rischio Moderato.

Le prescrizioni vigenti per le aree a rischio R1 consentono, al Cap.6 comma c), la realizzazione di *"[...] interventi relativi a nuove infrastrutture tecnologiche a rete e viarie in attraversamento che non determinano pericolosità idraulica, previo parere vincolante della Autorità idraulica competente"*

Le principali leggi nazionali in materia di acqua e di opere idrauliche sono:

- RD 523/1904: Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie;
- RD 215/1933: Nuove norme per la bonifica integrale

Dal punto di vista di progettazione idraulica, i riferimenti normativi ai quali si deve attenere il progettista degli attraversamenti fluviali sono contenuti nel Decreto Ministeriale del 2 agosto 1980 e in quello del 4 maggio 1990, ai quali ha fatto seguito la Circolare n. 34233 emanata in data 25 febbraio 1991 dal Ministero dei Lavori Pubblici, recante "Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali".

Recentemente il DM 17/01/18 più noto come "Norme Tecniche per le Costruzioni" e successivamente la Circolare esplicativa n. 7 del 21-01-2018 ha integrato in alcune parti, riguardanti prevalentemente le azioni da prevedere per i calcoli statici, le norme dei precedenti decreti.

Le norme prescrivono di assumere normalmente quale portata di progetto quella corrispondente a un tempo di ritorno non inferiore a duecento anni per la quale i calcoli idraulici dovranno verificare la sussistenza di un franco minimo tra il livello di massima piena e l'impalcato del ponte (di 1,5 m).

Per quanto riguarda l'inserimento dell'opera di attraversamento nell'ambito delle aree di pertinenza del corso d'acqua le norme prevedono che il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d'acqua attivo e, se arginato, i corpi arginali. Qualora eccezionalmente fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce minima tra pile contigue, misurata ortogonalmente al filone principale della corrente, non dovrà essere inferiore a 40 metri. Soluzioni con luci inferiori potranno essere autorizzate dall'Autorità competente, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nel caso di pile e/o spalle in alveo cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni dell'alveo e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle.

In allegato alle NTC 2018 è stata successivamente integrata la Circolare Esplicativa che definisce la portata massima transitabile all'interno dei tombini, pari a 50 mc/s, e di eseguire le verifiche idrauliche considerando metà della sezione utile del tombino ostruita, laddove siano da temersi ostruzioni al deflusso causate dal transito di detriti galleggianti. In alternativa può essere prevista una griglia selettiva poco più a monte dell'imbocco del tombino opportunamente dimensionata e corredata di relativo piano di manutenzione.

## 3.2 Pluviometria

Per lo studio delle piene dei corsi d'acqua interessati si è fatto riferimento alla regionalizzazione delle piogge intense riportata nel "Rapporto sulla Valutazione delle Piene (VAPI) in Italia" relativo alla regione Marche e realizzata nel Compartimento di Ancona del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) dal GNDICI (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche) e dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Sono stati inoltre acquisiti i dati pertinenti registrati dalle stazioni pluviografiche del Centro Funzionale e Ufficio Idrografico della Regione Marche che ricadono in prossimità dei bacini interessati.

Sono state considerate rappresentativa le stazioni di Servigliano, Amandola, Sant'Angelo in Pontano e Sarnano, le quali dispongono di robusti record di registrazione dei massimi annuali per le durate inferiori al giorno, quest'ultime di particolare interesse per lo studio dei bacini idrografici.

### 3.2.1 Regionalizzazione delle piogge VAPI

La regionalizzazione delle piogge del Compartimento di Ancona, sviluppata nell'ambito del Progetto VAPI, copre gran parte dei bacini della Regione Toscana, tutti i bacini dei fiumi della Regione Marche ed Umbria e parte dei bacini della Regione Lazio. La regionalizzazione fu redatta utilizzando i dati di precipitazione relativi al periodo 1918-1984.

La procedura VAPI fornisce la distribuzione di probabilità del massimo annuale dell'intensità di durata  $t$  (h),  $i_t$  (mm/h), secondo una distribuzione TCEV (Two Component Extreme Value)

$$P(k) = e^{-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta k/\theta_*}} \quad (3.1)$$

dove  $k$  è il coefficiente di crescita della precipitazione, tale per cui l'intensità di precipitazione relativa alla durata  $t$  (h) e con tempo di ritorno  $T$  (anni) si esprime come  $i_t(T) = \mu(i_t)k(T)$ , dove  $\mu(i_t)$  (mm/h) è la media della distribuzione di probabilità di  $i_t$ . Nella relazione (3.1)  $\Lambda_*$  e  $\theta_*$  sono i parametri al primo livello di regionalizzazione (l'area in cui si può considerare costante il coefficiente di asimmetria) mentre  $\Lambda_1$  e  $\eta$  sono i parametri al secondo livello di regionalizzazione (le aree, incluse nella prima, in cui si può considerare costante anche il coefficiente di variazione). Per il compartimento di Ancona si sono assunte sette sottozone pluviometriche omogenee (figura 3), i cui parametri caratteristici sono riportati nella tabella 1.

Sottozona	$\theta_*$	$\Lambda_*$	$\Lambda_1$	$\eta$
A	2.361	0.109	24.70	4.001
B	1.588	1.528	39.20	5.335
C	1.588	1.528	25.70	4.913
D	2.363	0.361	29.00	4.634
E	3.607	0.044	30.45	4.135
F	2.042	0.144	33.03	4.321
G	3.322	0.221	30.78	4.628

Tabella 1: Primo e secondo livello di regionalizzazione: parametri per le 7 sottozone omogenee

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della (3.1) per cui, fissato un valore del tempo di ritorno  $T$ , si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita  $k_T$ . La distribuzione TCEV non è analiticamente invertibile, pertanto i valori di  $k$  corrispondenti a diversi valori del tempo di ritorno sono riportati nella tabella 2; tali valori sono ben approssimati dalla relazione semplificata:

$$k_T = \frac{1}{\eta} (\theta * \ln \Lambda^* + \ln \Lambda_1 + \theta * \ln T) \quad (3.2)$$

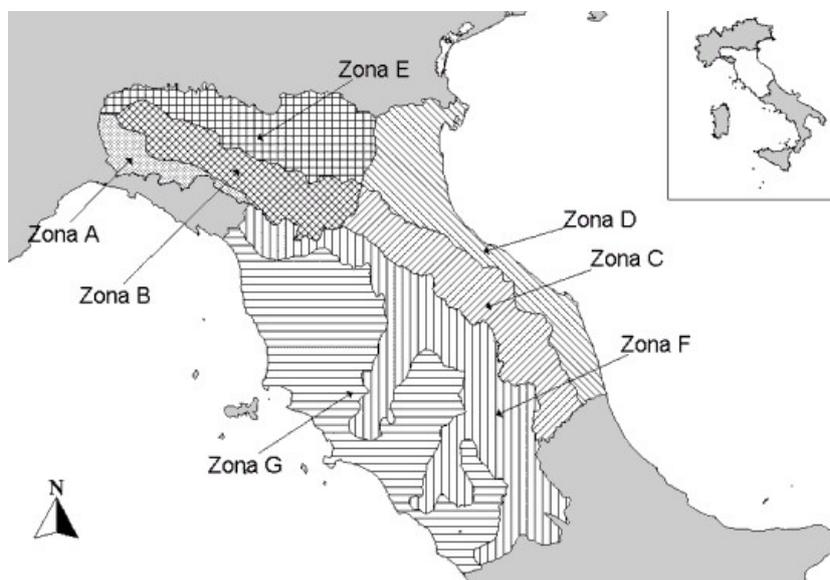


Figura 3: Primo e secondo livello di regionalizzazione: sottozone pluviometriche omogenee (SZO, VAPI Comparto Ancona)

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
$k_T$ (SZO A)	0.93	1.24	1.46	1.70	1.78	1.95	2.04	2.34	2.68	3.18	3.57
$k_T$ (SZO B)	1.01	1.30	1.51	1.71	1.77	1.90	1.97	2.17	2.37	2.63	2.83
$k_T$ (SZO C)	1.01	1.33	1.55	1.77	1.84	1.98	2.05	2.27	2.48	2.77	2.99
$k_T$ (SZO D)	0.87	1.19	1.44	1.72	1.82	2.02	2.13	2.45	2.79	3.23	3.57
$k_T$ (SZO E)	0.93	1.22	1.43	1.64	1.72	1.89	1.98	2.32	2.78	3.53	4.13
$k_T$ (SZO F)	0.93	1.23	1.43	1.65	1.72	1.87	1.95	2.20	2.47	2.86	3.17
$k_T$ (SZO G)	0.88	1.22	1.50	1.87	2.01	2.32	2.47	2.96	3.46	4.12	4.61

Tabella 2: Valori del coefficiente probabilistico di crescita,  $k_T$ , per alcuni valori del tempo di ritorno T, per le 3 sottosezioni omogenee

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nella individuazione di legami tra valori medi delle serie storiche ed i parametri geografici che caratterizzano le località in cui sono installate le stazioni di misura. Nel caso del compartimento di Ancona si fa riferimento ad una pioggia indice di durata  $t$  utilizzando una formulazione analoga alla classica curva di possibilità climatica del tipo:

$$\mu(h_t) = \mu(h_1) \cdot t^n \quad (3.3)$$

Con

$$n = (\ln[\mu(h_g)] - \ln[\mu(h_1)] - \ln(r)) / \ln(24) \quad (3.4)$$

Dove:

$\mu(h_t)$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione di durata  $t$  (ore)

$\mu(h_g)$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera

$\mu(h_1)$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione in 1 ora

$$r = \frac{\mu(h_g)}{\mu(h_{24})} = 0.89 \text{ nella regione esaminata}$$

I valori di  $\mu(h_1)$  e  $\mu(h_g)$  sono desunte da mappe isoparametriche per l'intero territorio di indagine per tutte le Sottozone Pluviometriche Omogenee e riportate nella Figura 4a) e Figura 4b).



Figura 4: Rispettivamente mappe isoparametriche di pioggia media giornaliera e pioggia media oraria per tutte le sottozone pluviometriche omogenee

I parametri delle relazioni (3.3) e (3.4), desunti dalle mappe sopra esposte sono riportati nella tabella 3 per la zona di interesse:

Valore Pioggia Media Giornaliera	Valore Pioggia Media Oraria
60.00	26.5

Tabella 3: Terzo livello di regionalizzazione: regionalizzazione delle piogge orarie. Elementi caratteristici delle aree pluviometriche omogenee

### 3.2.1.1 Verifica della regionalizzazione del metodo VAPI: Piogge brevi

Dato che la durata delle precipitazioni che mette in crisi i bacini in esame è generalmente inferiore alla giornaliera, per i bacini principali, e inferiore all'ora, per i bacini secondari, è di fondamentale importanza verificare il buon adattamento del modello di precipitazione intensa VAPI rispetto alle osservazioni pluviometriche di breve durata, aggiornate per tenere conto degli eventi più recenti fino al 2021.

Nelle figure dalla 5 alla 8 si mostrano gli adattamenti della distribuzione VAPI per le durate di 1, 3, 6 e 12 ore dei diversi pluviografi analizzati, significative per i bacini principali e secondari, con riferimento alle registrazioni aggiornate al 2021 delle altezze di pioggia di massima intensità e breve durata, riportate rispettivamente nelle tabelle dalla 4 alla 7.

Dalle figure si evince come la distribuzione VAPI per le piogge intense con il campione aggiornato, tenda a sottostimare i valori estremi, principalmente per le durate minori.

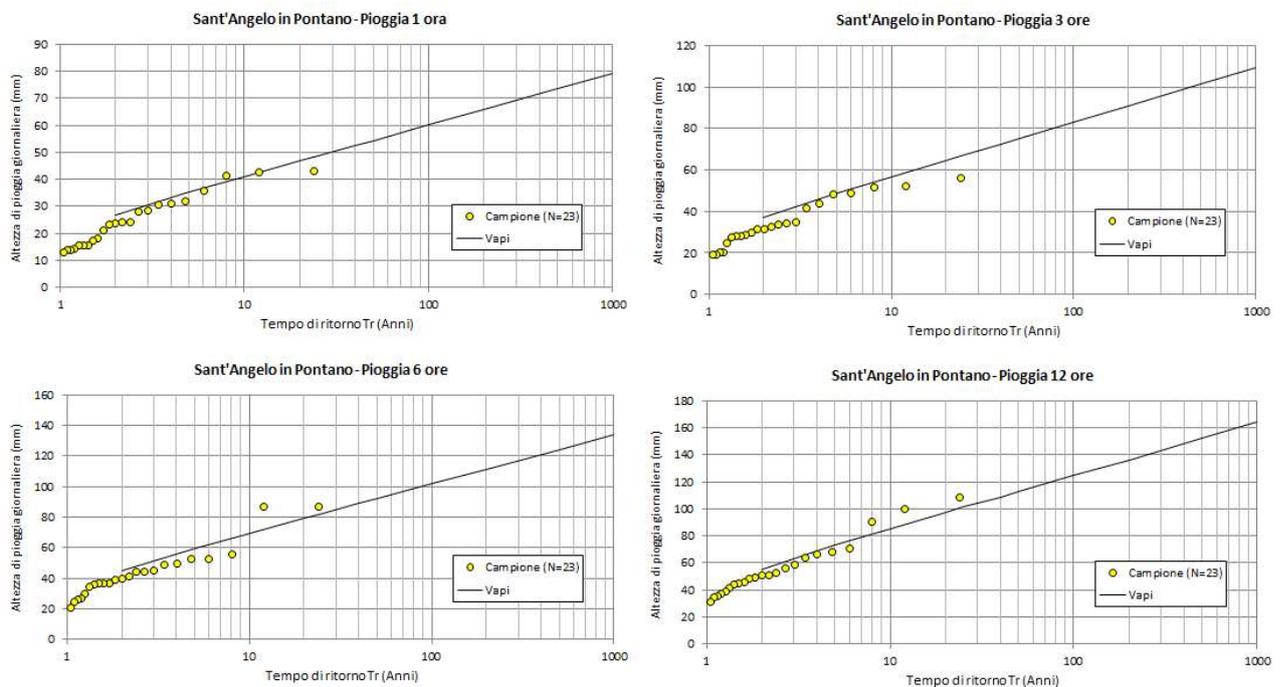


Figura 5: Adattamento della distribuzione regionale ai campioni empirici aggiornati delle massime intensità di 1, 3, 6 e

12 ore – Pluviografo di Sant'Angelo in Pontano

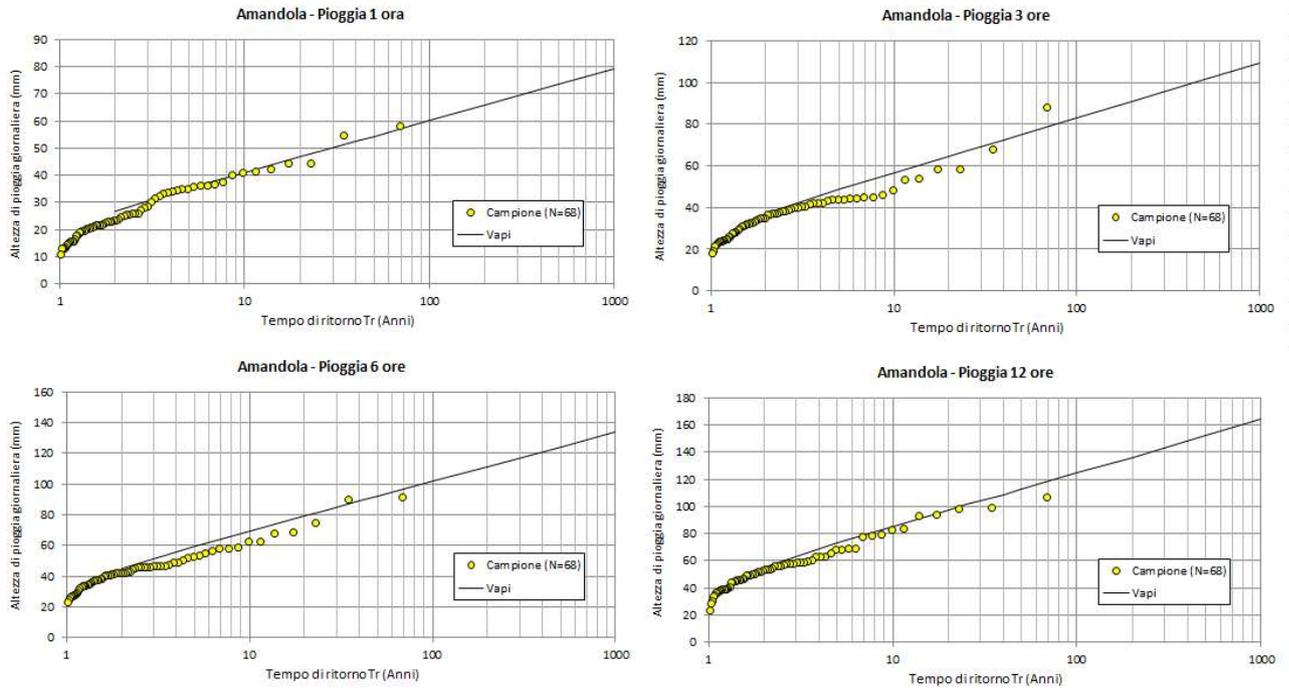


Figura 6: Adattamento della distribuzione regionale ai campioni empirici aggiornati delle massime intensità di 1, 3, 6 e 12 ore – Pluviografo di Amandola

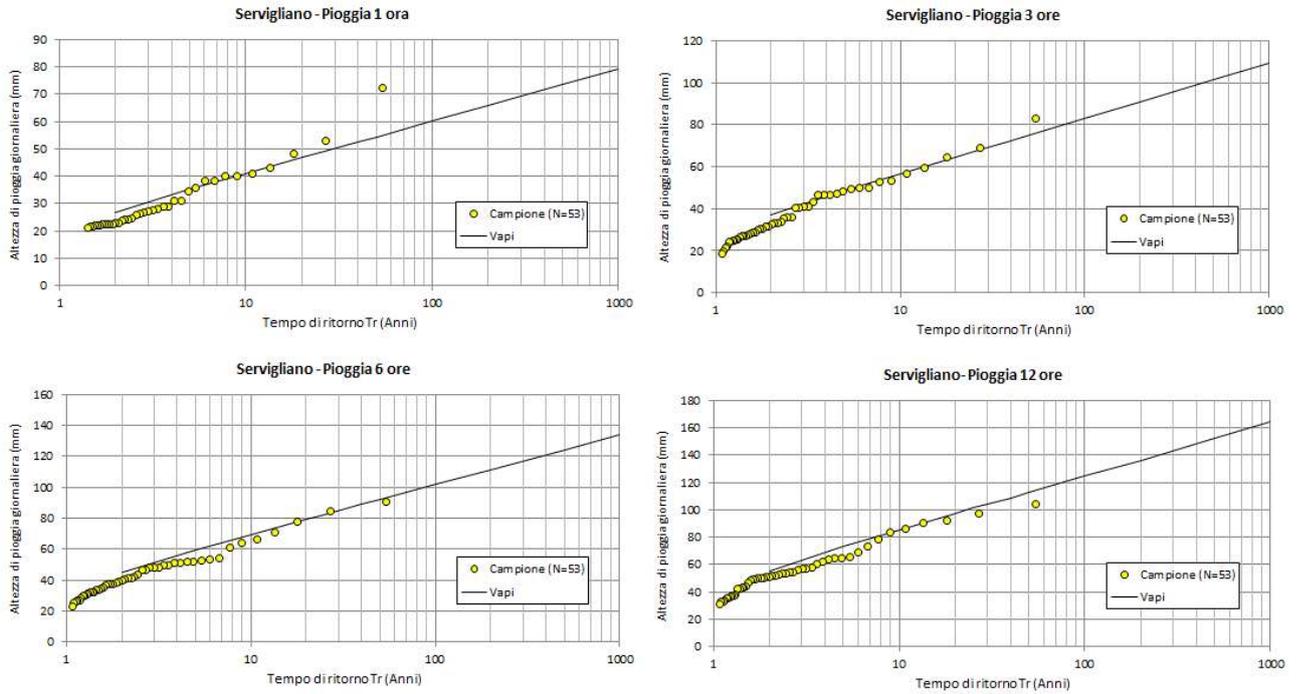


Figura 7: Adattamento della distribuzione regionale ai campioni empirici aggiornati delle massime intensità di 1, 3, 6 e 12 ore – Pluviografo di Servigliano

IMPRESA A.T.I.:

PROGETTISTA RTP:

MANDATARIA:

MANDANTE:

MANDATARIA:

MANDANTI:

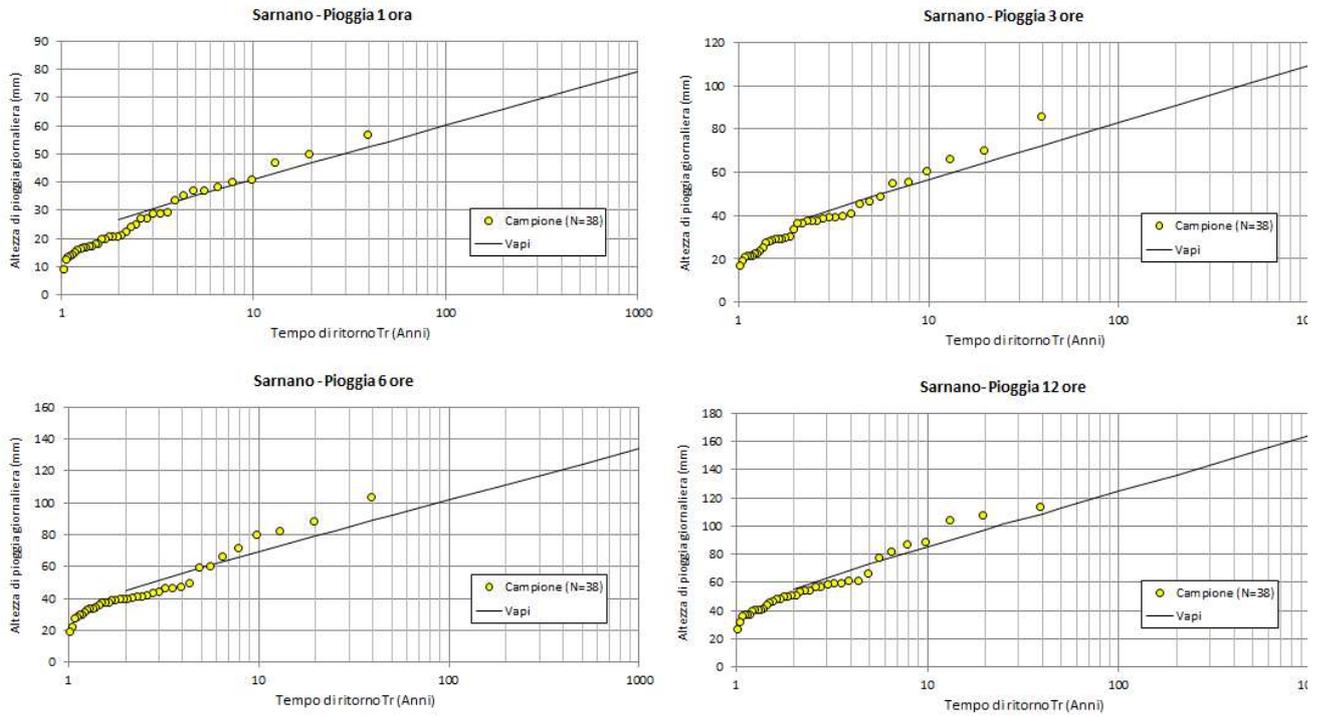


Figura 8: Adattamento della distribuzione regionale ai campioni empirici aggiornati delle massime intensità di 1, 3, 6 e 12 ore – Pluviografo di Sarnano

Amandola											
Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1950	23	32.4	41.2	44.2	63.4	1993	28	42.2	46.2	46.2	48.2
1951	54.6	88	91.8	94	100.6	1994	24.8	40.4	42.6	65.6	91.4
1952	41.2	43	43	57.6	62.2	1995	25.4	32.8	38	38.4	49.2
1953	16.4	22.2	33.8	59	60.8	1996	15.4	32.2	33	38.2	63
1955	23.2	39.2	52.2	77.6	108	1997	20.8	27.6	35.4	50.8	61.6
1957	20.4	22.6	23	23.2	39.4	1998	20.2	37.2	46.4	57.8	71.8
1958	19.2	19.2	27.6	36	66	1999	21.8	36.8	50.6	58.4	86.8
1959	33	42.4	45.4	83.6	93.4	2000	36.2	44.2	54.6	54.6	65
1960	35	40.6	40.8	41	58	2001	12.8	23.6	24.2	30.2	46.2
1961	40	43.6	44	60.4	108.4	2002	27.2	53.6	89.6	107.2	120.6
1962	17.8	33.8	40.6	45.2	51.2	2003	20	30.8	42.4	52.4	67
1963	22	27.4	34	58	80	2004	26	44.8	74.8	83	87.6
1964	25.8	28	28.2	29	33.8	2005	20.8	36.8	53.8	56.4	69.6
1965	31.6	42.2	42.2	44.6	61.2	2006	34.6	37.2	37.2	37.2	44
1966	32.2	33	37.8	40.2	49.2	2007	22.6	29.8	45.6	62.6	66.8
1968	15	31.6	39.8	50	58	2008	21.6	32.2	34	45.4	64.2
1969	25	38	38.4	39	50.4	2009	19.6	23.6	36.8	53.4	77.6
1970	33.8	34.2	34.2	34.2	35.6	2010	17.6	26	27.6	50	70
1971	21.6	21.6	26.6	33.8	61.6	2011	25.8	37.4	37.8	57.4	100.4
1972	36.6	43.6	46.4	46.4	51.2	2012	23.2	44.4	69	98.6	132.4
1973	19.2	38	52.8	79.2	109.4	2013	23	39.8	56.8	99.2	164.4
1974	13	18.2	28.8	43.8	75.8	2014	10.8	24.4	32.4	56.2	76
1975	30.4	35	36	36.6	61.6	2016	34.2	44	57.8	78.8	93.2
1976	35.6	58.4	62.2	69.4	86.8	2017	41	41.6	41.8	62.6	113.4
1977	28.4	35	42.4	46	61	2018	37.4	54	58.4	58.6	98.6
1978	44.4	48.4	49.2	49.4	78.2	2019	58	67.8	68	68.2	76.6
1979	23.6	40	46.8	51.4	83.6	2020	42.4	58.6	62.4	62.8	96.4
1980	14.8	23.6	42	56.2	82	2021	13.2	28.4	47.2	68.4	90.4
1981	15.8	24.2	27	38.8	39.8						
1982	21	26	26.2	39	49						
1983	44.6	45.8	45.8	53.6	53.6						
1984	19.6	25	34.8	53.6	71.4						
1985	23	29	46.8	47	61.6						
1986	25.6	31	58	93	129						
1987	13.4	23	31	38.8	58						
1988	35	45	46	49	70.6						
1989	36.2	38.6	45.6	49.6	70.4						
1990	14.2	34.6	48.8	51.6	86.8						
1991	15.6	24.8	41.4	59.6	76.2						
1992	21.8	37	40.2	69	107.4						

Tabella 4: Altezze di pioggia (in mm) di massima intensità e breve durata registrate al pluviografo di Sarnano

Servigliano											
Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1950	16.4	18.2	22.8	29	31.8	2008	13.4	24.8	38.2	60.8	66.4
1951	24.8	30.6	33.4	35.4	44.8	2009	38.4	68.8	78	92.4	116.2
1952	21	21.2	26.8	47	75.6	2010	20.4	32.6	36.4	50.8	56.2
1953	19	36	52	73	113.8	2011	22	46.8	71.2	97.2	132.4
1954	72.2	82.8	84.4	86.2	86.2	2012	31.2	49.6	90.6	104.2	122
1955	24	26.8	28	49	63	2013	27	35.6	37.2	57.4	92
1956	18.4	18.8	29.6	37.2	54	2014	22.6	46.8	46.8	57.2	60.2
1957	19.8	25.2	26.2	33.4	42.4	2016	53.2	56.8	60.8	61.8	73
1958	23	28.8	30.8	35.4	46	2017	21.6	27.2	35.4	57.8	95.2
1960	34.4	49.8	49.8	50	50.2	2018	31	33.4	33.6	42.4	57
1961	21	26.2	46.4	90.6	118.6	2019	26.8	26.8	34.8	42.4	47.2
1962	36	41.2	41.6	44	57.6	2020	41	41	41	43.4	67.6
1964	29	31.6	32.4	33	45.8	2021	22.4	40.4	50.8	64.4	88.4
1965	38.2	50.2	51.6	51.6	51.8	2008	13.4	24.8	38.2	60.8	66.4
1966	40	53.2	53.2	53.2	63.4	2009	38.4	68.8	78	92.4	116.2
1967	24.4	28.6	31.8	52.4	70.6	2010	20.4	32.6	36.4	50.8	56.2
1968	29	59.6	66.6	78.6	89.2	2011	22	46.8	71.2	97.2	132.4
1969	22.4	25	26.6	31.6	58.2	2012	31.2	49.6	90.6	104.2	122
1970	15.2	16	18.6	24	25.2	2013	27	35.6	37.2	57.4	92
1971	23.8	30	43.8	50.6	54.6	2014	22.6	46.8	46.8	57.2	60.2
1972	40	52.8	52.8	54.4	65	2016	53.2	56.8	60.8	61.8	73
1973	21.4	33.8	51.2	83.4	84.2	2017	21.6	27.2	35.4	57.8	95.2
1990	16.8	28	40.6	64.2	103.2	2018	31	33.4	33.6	42.4	57
1991	26.2	40.4	49.4	65.2	65.2	2019	26.8	26.8	34.8	42.4	47.2
1992	22	47	48.2	56.2	73.4	2020	41	41	41	43.4	67.6
1993	16.4	19.8	23.4	32.8	40.2	2021	22.4	40.4	50.8	64.4	88.4
1994	48.4	64.4	64.4	64.6	81.2						
1995	16.8	21.8	32.4	37.8	60.2						
1996	18.6	24.2	39.8	50.2	58.2						
1997	17.8	27.6	37.4	53.6	58.6						
1998	25.8	36	41.8	54.2	74.2						
1999	28	46.4	54.4	69	79						
2000	22	30.4	37.2	43	43						
2001	13.2	15	19.8	25.6	37.4						
2002	22.4	43	48	49.8	65.8						
2003	43.2	48.4	48.4	48.4	50.8						
2004	27.8	31.6	31.6	49	68.4						
2005	22.8	24	29.8	36.2	56.8						
2006	22.4	25.6	25.6	37.4	40						
2007	19.4	33	38.8	52.2	60						

Tabella 5: Altezze di pioggia (in mm) di massima intensità e breve durata registrate al pluviografo di Servigliano

Sarnano					
Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1950	29.4	36.8	41	46	54.2
1954	16.8	29	33.6	50	60
1955	40	55	82.6	107.8	131.8
1956	14.4	21.2	22.6	41.4	52.2
1957	20	29	39.4	44	59
1958	17.2	29.6	37.6	61	78.8
1959	37.2	39	39	50.8	87.4
1960	14	21.2	34	59.6	80
1961	22.6	23.4	44	78	114.4
1962	15	30.2	46.4	54.8	58.4
1963	50	86	103.6	113.4	121
1964	20	34	34.6	36.6	46
1965	16.8	22.8	32.6	51.2	64.6
1966	57	70	79.8	81.6	82.4
1967	38.2	40	40	48	77
1968	16	28.8	35.6	57	83.6
1969	33.6	37.4	37.4	39.4	59.8
1970	40.8	41	41	41	41
1971	35.2	39.2	39.6	41	74
1972	20.6	27.8	43.8	50.2	63.6
1973	18	36.8	60	88.8	98.6
1991	13.4	17.2	19.4	26.8	38.6
1992	47	66.2	66.2	66.2	66.2
1993	12.4	19.2	31.4	36.8	53.4
1994	37	55.6	59.6	59.6	73.8
1995	24	39.4	42.2	54.6	82.2
1996	17.2	22.6	30.2	46.6	50.6
1997	18.2	37.8	37.8	53.2	59.8
1998	21.2	28.4	47	56.6	70
1999	28.8	37.8	40.8	40.8	53.6
2000	25.2	29.2	30.2	37	57.8
2001	9.2	21.2	27.4	32.2	54
2002	27.2	60.6	88.6	104.6	108.4
2003	27	46.6	49.8	58.8	59.4
2004	20.6	49	71.6	87.2	87.2
2005	28.8	45.4	46.4	48	79.2
2006	20.6	25.6	28.2	37.2	48.8
2007	16.6	20.6	39	61.4	62.4

Tabella 6: Altezze di pioggia (in mm) di massima intensità e breve durata registrate al pluviografo di Sarnano

Sant'Angelo in Pontano					
Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1999	35.6	56.2	86.6	90.2	99
2000	23.8	29.6	30	31.4	38.4
2001	15.4	19	20.8	35.4	42.2
2002	23.2	33.8	40	51.2	74.2
2003	43	48.4	49.2	49.2	49.4
2004	42.6	49	50	51	70.4
2005	21	28.4	38.8	52.6	71.6
2006	13.2	20.4	26.2	37.6	40.6
2007	14.4	24.8	36.8	48.2	50
2008	14	19.2	27.2	45.4	66
2009	17.2	28.8	44	56.4	83.8
2010	31	44	44.6	59	79.4
2011	18.2	27.6	41	67.8	125.8
2012	28.4	51.8	87.2	108.8	144.8
2013	24.2	41.6	55.4	99.8	147.4
2014	41.4	52.2	52.6	70.6	73.6
2015	24.4	28.2	35.8	45	64.2
2016	15.6	34.6	45.2	63.6	78.6
2017	15.6	20.2	24.4	34.6	58.8
2018	28.2	31.6	36.4	39	55
2019	30.8	31.4	34.4	41.4	51.4
2020	32	34.2	36.4	44.4	67.8
2021	13.8	32.4	52.4	66.6	82.8

Tabella 7: Altezze di pioggia (in mm) di massima intensità e breve durata registrate al pluviografo di Sant'Angelo in Pontano

### 3.2.2 Stima locale delle relazioni IDF

A seguito del confronto eseguito si è operato stimando anche localmente, nelle quattro stazioni pluviometriche considerate, un modello di distribuzione di probabilità alternativo a quello proposto nella regionalizzazione VAPI. In particolare nelle quattro stazioni si sono stimati due modelli che appartengono alla famiglia delle distribuzioni asintotiche dei valori estremi: di tipo I o di Gumbel e di tipo II o di Fréchet, caratterizzate entrambe da due parametri. L'assunzione di modelli a due parametri, che presentano una minore flessibilità (accuratezza) rispetto a modelli più complessi (tipo GEV, a tre parametri, o TCEV, a quattro parametri), è giustificato dalla limitata numerosità campionaria localmente disponibile; in tal modo si è voluto favorire la robustezza della stima nei confronti di eventi al di fuori dell'intervallo di osservazione (estrapolazione per i tempi di ritorno assunti nel progetto).

### 3.2.3 Legge Intensità-Durata-Frequenza

Per rappresentare le piogge di forte intensità e brevi durate si è adottata una legge intensità-durata-frequenza a tre parametri del tipo:

$$i_t(T) = \frac{a(T)}{(b + t)^m} \quad (3.5)$$

I parametri  $b$ ,  $m$  e  $a(T)$  sono stimati a partire dal campione di registrazione di  $N$  anni regolarizzando i casi critici registrati ai quattro pluviografi in esame e adattando un modello probabilistico alle intensità di precipitazione orarie regolarizzate. Per piogge di durata inferiore a un'ora Bell (1969) ha osservato che i rapporti  $r_t$  tra le piogge di durata  $t$  molto breve e la pioggia oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località. Quindi l'estrapolazione della regolarizzazione verso tali durate può essere determinata imponendo il passaggio della (3.5) per le altezze di breve durata ricavate dai rapporti  $r_t$  di letteratura ( $r_5 = h_5/h_{60} = 0.278$ , dove  $h_t$  indica l'altezza di pioggia relativa alla durata di  $t$  minuti), oppure mediante la determinazione di tale rapporto dai dati registrati ai pluviografi con osservazioni delle piogge di massima intensità per durate inferiori a un'ora, o, ancora ottenuti in zone pluviometricamente affini tramite tecniche di regionalizzazione. In questo modo risulta fissato il parametro  $b$  della trasformazione temporale.

Per la (3.5) devono essere quindi

$$r_{5'} = \left( \frac{b+1}{b+0.083} \right)^m ; \quad (3.6)$$

che si possono porre nella forma

$$r_{5'} - \left( \frac{b+1}{b+0.083} \right)^m = 0; \quad (3.6')$$

Dalla quale si ricava che

$$r_5 = \frac{h_5}{h_{60}} = \frac{h_{0.0833}}{h_{60}} = 0.278 \qquad r_5 = \frac{i_5}{i_{60}} = \frac{h_{0.0833}}{h_{60}} \cdot \frac{1}{0.0833} = \frac{0.278}{0.0833} = 3.336$$

I parametri della (3.6) sono stati determinati imponendo che sia minima la somma dei quadrati degli scarti tra i logaritmi dei valori calcolati con la (3.6) e quelli dei valori osservati ai pluviografi in esame per tutti i casi critici registrati. Indicando con  $j = 1, \dots, 5$  le durate  $t = 1, 3, 6, 12, 24$  (h), la funzione da minimizzare risulta dall'adattamento del modello IDF a tutti i casi critici assieme

$$S = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^5 [\ln a_i + m \ln(b + t_j) - \ln(i_{i,j})]^2 \quad (3.7)$$

dove l'indice  $i$  si riferisce al singolo  $i$ -esimo caso critico,  $i = 1, \dots, N$ . Annullando la derivata della (3.6) rispetto a  $m$ , si ottiene

$$m = \frac{-\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^5 [\ln(b' + t_j) - \ln(b + t_j)] \ln(i_{i,j})}{N \sum_{j=1}^5 [\ln(b' + t_j) - \ln(b + t_j)]^2} \quad (3.8)$$

dove

$$\ln(b' + t_j) = \frac{\sum_{j=1}^5 \ln(b + t_j)}{5} \quad (3.9)$$

e  $b$  è dato dalla soluzione della (3.6'). Annullando infine le derivate della (3.7) rispetto ai  $a_i$  con i valori definitivi di  $m$  dato dalla (3.8) e  $b$  dalla (3.6') si ottiene

$$\ln a_i = \ln (t_{i,j}) + m \ln (b' + t_j) \quad (3.10)$$

da cui si ricavano i parametri  $a_i$  dei singoli casi critici.

### 3.2.4 Distribuzione di probabilità dell'intensità di pioggia oraria

Per determinare la legge IDF, all'intensità di pioggia oraria stimata con la procedura mostrata nel paragrafo precedente e rappresentata dai rapporto  $i_{1,i} = a_i / (b + 1)^m$  per  $i = 1, \dots, N$ , si sono adattate due distribuzioni di probabilità:

- la distribuzione di Gumbel, o dei valori estremi di tipo I, la cui probabilità cumulata si esprime come

$$P(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\varepsilon)}} \quad (3.11)$$

dove i due parametri valgono

$$\alpha = 1.2825/\sigma \quad (3.12)$$

$$\varepsilon = \mu - 0.45006\sigma \quad (3.13)$$

in cui  $\mu$  e  $\sigma$  sono rispettivamente la media e la deviazione standard della generica variabile casuale  $x$  (in questo caso l'intensità di pioggia oraria  $i_1$ ).

- la distribuzione di Fréchet, o dei valori estremi di tipo II, la cui probabilità cumulata si esprime come

$$P(x) = e^{-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\kappa} \quad (3.14)$$

dove i due parametri valgono

$$\kappa = 1.2825/\sigma \ln \quad (3.15)$$

$$\delta = \mu_{ln} - 0.45006\sigma_{ln} \quad (3.16)$$

in cui  $\mu_{ln}$  e  $\sigma_{ln}$  sono rispettivamente la media e la deviazione standard del logaritmi della variabile  $x$ .

I parametri delle distribuzioni (3.11) e (3.14) sono stati stimati con il metodo dei momenti, ossia sostituendo ai momenti teorici i corrispondenti momenti campionari nelle (3.12) - (3.13) e (3.15) - (3.16).

### 3.2.5 Risultati della stima locale

Per i pluviografi in esame nelle tabelle da 8 a 11 e da 12 a 15 si riportano rispettivamente i valori dei parametri  $a_i$ ,  $b$  ed  $m$  stimati con la regolarizzazione dei casi critici empirici e i valori dei parametri delle  $P(i_1)$  di Gumbel e Fréchet assieme ai rispettivi valori  $a(T)$  e  $i_1(T)$  per prefissati tempi di ritorno.

Nella figura 9 si riporta il confronto tra le  $P$  di Gumbel e Fréchet e la frequenza cumulata  $F$ , mostrato in carta probabilistica di Gumbel, dove sull'asse delle ordinate è rappresentata la variabile standardizzata  $y = \alpha(i_1 - \varepsilon)$ .

Sant'Angelo in Pontano	
<b>b = 0.098</b>	<b>m = 0.669</b>
<i>i-esimo C.C.</i>	<i>a<sub>i</sub></i>
1	46.69
2	44.91
3	38.85
4	33.49
5	31.35
6	30.10
7	29.11
8	26.68
9	25.97
10	24.72
11	23.86
12	23.45
13	22.82
14	21.67
15	20.53
16	19.86
17	19.07
18	18.33
19	17.11
20	15.77
21	14.87
22	14.29
23	13.28

Tabella 8: Regolarizzazione dei casi critici al pluviografo di Sant'Angelo in Pontano

Amandola			
b = 0.112		m = 0.693	
<i>i-esimo C.C.</i>	<i>a<sub>i</sub></i>	<i>i-esimo C.C.</i>	<i>a<sub>i</sub></i>
1	58.36	37	24.81
2	51.35	38	24.63
3	45.91	39	24.32
4	44.07	40	23.96
5	42.25	41	23.76
6	40.07	42	23.58
7	39.07	43	23.39
8	37.59	44	22.98
9	36.83	45	22.61
10	36.02	46	22.44
11	34.95	47	22.39
12	34.48	48	22.03
13	34.02	49	21.77
14	33.48	50	21.47
15	33.13	51	21.20
16	32.35	52	20.83
17	31.91	53	20.37
18	31.56	54	20.06
19	30.92	55	19.33
20	30.55	56	18.94
21	30.22	57	18.53
22	29.64	58	18.21
23	29.05	59	17.85
24	28.73	60	17.44
25	28.31	61	17.17
26	27.88	62	16.94
27	27.63	63	16.52
28	27.51	64	15.88
29	27.32	65	15.38
30	27.06	66	14.83
31	26.41	67	13.82
32	26.17	68	12.38
33	25.80		
34	25.68		
35	25.27		
36	25.10		

Tabella 9: Regolarizzazione dei casi critici al pluviografo di Amandola

Servigliano			
b = 0.137		m = 0.734	
<i>i-esimo C.C.</i>	<i>a<sub>i</sub></i>	<i>i-esimo C.C.</i>	<i>a<sub>i</sub></i>
1	61.77	37	22.45
2	53.56	38	22.00
3	50.26	39	21.89
4	47.12	40	21.40
5	44.93	41	20.59
6	42.70	42	20.25
7	40.99	43	19.73
8	38.52	44	19.38
9	37.58	45	18.93
10	36.57	46	18.53
11	35.70	47	17.59
12	34.57	48	17.35
13	34.17	49	16.75
14	33.23	50	16.15
15	32.64	51	15.24
16	31.44	52	13.30
17	30.89	53	12.18
18	30.60		
19	30.13		
20	29.46		
21	28.56		
22	27.85		
23	27.35		
24	26.82		
25	26.60		
26	26.11		
27	25.78		
28	25.20		
29	25.04		
30	24.73		
31	24.54		
32	24.36		
33	23.97		
34	23.70		
35	23.33		
36	22.70		

Tabella 10: Regolarizzazione dei casi critici al pluviografo di Servigliano

<b>Sarnano</b>			
<b>b = 0.107</b>		<b>m = 0.685</b>	
<i>i-esimo C.C.</i>	<i>a<sub>i</sub></i>	<i>i-esimo C.C.</i>	<i>a<sub>i</sub></i>
<b>1</b>	56.55	<b>37</b>	14.02
<b>2</b>	49.86	<b>38</b>	11.93
<b>3</b>	47.20		
<b>4</b>	42.86		
<b>5</b>	40.15		
<b>6</b>	37.64		
<b>7</b>	35.53		
<b>8</b>	33.68		
<b>9</b>	31.43		
<b>10</b>	30.11		
<b>11</b>	28.80		
<b>12</b>	28.54		
<b>13</b>	28.10		
<b>14</b>	27.43		
<b>15</b>	26.77		
<b>16</b>	26.07		
<b>17</b>	25.47		
<b>18</b>	24.65		
<b>19</b>	23.94		
<b>20</b>	23.27		
<b>21</b>	22.56		
<b>22</b>	22.23		
<b>23</b>	21.85		
<b>24</b>	21.68		
<b>25</b>	21.10		
<b>26</b>	20.92		
<b>27</b>	20.25		
<b>28</b>	19.76		
<b>29</b>	19.00		
<b>30</b>	18.60		
<b>31</b>	18.31		
<b>32</b>	17.86		
<b>33</b>	17.00		
<b>34</b>	16.74		
<b>35</b>	16.28		
<b>36</b>	15.75		

Tabella 11: Regolarizzazione dei casi critici al pluviografo di Sarnano

Servigliano							
Gumbel				Fréchet			
$\alpha = 0.1229$		$\varepsilon = 23.5506$		$\kappa = 3.6485$		$\delta = 22.6732$	
T	P[i(1)]	a(T)	i(1)	T	P[i(1)]	a(T)	i(1)
anni				anni			
1.1	0.091	21.13	19.23	1.1	0.091	17.84	16.23
3	0.667	35.60	32.39	3	0.667	29.04	26.42
5	0.800	40.46	36.82	5	0.800	34.20	31.12
10	0.900	46.57	42.38	10	0.900	42.01	38.23
15	0.933	50.01	45.51	15	0.933	47.18	42.94
20	0.950	52.43	47.71	20	0.950	51.18	46.57
25	0.960	54.28	49.40	25	0.960	54.48	49.58
30	0.967	55.80	50.78	30	0.967	57.33	52.17
35	0.971	57.07	51.93	35	0.971	59.84	54.46
40	0.975	58.17	52.94	40	0.975	62.10	56.51
45	0.978	59.14	53.82	45	0.978	64.16	58.39
50	0.980	60.01	54.61	50	0.980	66.07	60.12
60	0.983	61.51	55.97	60	0.983	69.48	63.23
70	0.986	62.77	57.12	70	0.986	72.51	65.98
80	0.988	63.87	58.12	80	0.988	75.23	68.46
90	0.989	64.83	59.00	90	0.989	77.71	70.72
100	0.990	65.69	59.78	100	0.990	80.00	72.80
150	0.993	69.01	62.80	150	0.993	89.44	81.39
200	0.995	71.36	64.93	200	0.995	96.80	88.09
300	0.997	74.66	67.94	300	0.997	108.21	98.47
400	0.998	77.01	70.08	400	0.998	117.10	106.56
500	0.998	78.83	71.73	500	0.998	124.49	113.29
1000	0.999	84.47	76.87	1000	0.999	150.56	137.01

Tabella 12: Parametri delle distribuzioni di probabilità (Gumbel e Fréchet) e valori di  $i(1)$  (mm/h) e  $a(T)$  (mm) per prefissati tempi di ritorno  $T$  nella stazione pluviometrica di Servigliano

Sarnano							
Gumbel				Fréchet			
$\alpha = 0.1247$		$\varepsilon = 21.7878$		$\kappa = 3.5673$		$\delta = 21.0469$	
T	P[i(1)]	a(T)	i(1)	T	P[i(1)]	a(T)	i(1)
anni				anni			
1.1	0.091	19.40	18.09	1.1	0.091	16.471	15.354
3	0.667	33.66	31.38	3	0.667	27.107	25.270
5	0.800	38.45	35.85	5	0.800	32.047	29.875
10	0.900	44.47	41.46	10	0.900	39.551	36.870
15	0.933	47.87	44.62	15	0.933	44.534	41.516
20	0.950	50.25	46.84	20	0.950	48.393	45.113
25	0.960	52.08	48.55	25	0.960	51.592	48.095
30	0.967	53.57	49.94	30	0.967	54.350	50.666
35	0.971	54.82	51.11	35	0.971	56.789	52.940
40	0.975	55.91	52.12	40	0.975	58.985	54.987
45	0.978	56.87	53.01	45	0.978	60.989	56.856
50	0.980	57.72	53.81	50	0.980	62.837	58.578
60	0.983	59.20	55.19	60	0.983	66.164	61.679
70	0.986	60.44	56.35	70	0.986	69.109	64.425
80	0.988	61.52	57.35	80	0.988	71.763	66.899
90	0.989	62.47	58.24	90	0.989	74.186	69.158
100	0.990	63.32	59.03	100	0.990	76.422	71.242
150	0.993	66.59	62.08	150	0.993	85.661	79.856
200	0.995	68.90	64.23	200	0.995	92.877	86.583
300	0.997	72.16	67.27	300	0.997	104.082	97.027
400	0.998	74.47	69.43	400	0.998	112.836	105.188
500	0.998	76.27	71.10	500	0.998	120.128	111.986
1000	0.999	81.83	76.28	1000	0.999	145.912	136.022

Tabella 13: Parametri delle distribuzioni di probabilità (Gumbel e Fréchet) e valori di  $i(1)$  (mm/h) e  $a(T)$  (mm) per prefissati tempi di ritorno  $T$  nella stazione pluviometrica di Sarnano

Amandola							
Gumbel				Fréchet			
$\alpha = 0.1430$		$\varepsilon = 22.9703$		$\kappa = 4.0234$		$\delta = 22.2414$	
T	P[i(1)]	a(T)	i(1)	T	P[i(1)]	a(T)	i(1)
anni				anni			
1.1	0.091	20.89	19.40	1.1	0.091	17.90	16.62
3	0.667	33.32	30.95	3	0.667	27.84	25.85
5	0.800	37.50	34.83	5	0.800	32.29	29.99
10	0.900	42.74	39.70	10	0.900	38.91	36.14
15	0.933	45.71	42.45	15	0.933	43.23	40.15
20	0.950	47.78	44.38	20	0.950	46.53	43.22
25	0.960	49.37	45.86	25	0.960	49.25	45.74
30	0.967	50.67	47.07	30	0.967	51.58	47.91
35	0.971	51.77	48.08	35	0.971	53.63	49.81
40	0.975	52.72	48.96	40	0.975	55.46	51.51
45	0.978	53.55	49.74	45	0.978	57.13	53.06
50	0.980	54.29	50.43	50	0.980	58.66	54.48
60	0.983	55.58	51.62	60	0.983	61.41	57.03
70	0.986	56.67	52.63	70	0.986	63.82	59.28
80	0.988	57.61	53.50	80	0.988	65.99	61.29
90	0.989	58.44	54.27	90	0.989	67.96	63.12
100	0.990	59.18	54.96	100	0.990	69.78	64.81
150	0.993	62.02	57.61	150	0.993	77.21	71.71
200	0.995	64.04	59.48	200	0.995	82.95	77.04
300	0.997	66.88	62.12	300	0.997	91.76	85.23
400	0.998	68.90	63.99	400	0.998	98.57	91.55
500	0.998	70.46	65.44	500	0.998	104.20	96.78
1000	0.999	75.31	69.95	1000	0.999	123.81	114.99

Tabella 14: Parametri delle distribuzioni di probabilità (Gumbel e Fréchet) e valori di  $i(1)$  (mm/h) e  $a(T)$  (mm) per prefissati tempi di ritorno  $T$  nella stazione pluviometrica di Amandola

Sant'Angelo in Pontano							
Gumbel				Fréchet			
$\alpha = 0.1409$		$\epsilon = 20.9795$		$\kappa = 3.6683$		$\delta = 20.1820$	
T	P[i(1)]	a(T)	i(1)	T	P[i(1)]	a(T)	i(1)
anni				anni			
1.1	0.091	18.87	17.72	1.1	0.091	15.90	14.93
3	0.667	31.49	29.57	3	0.667	25.81	24.24
5	0.800	35.73	33.55	5	0.800	30.38	28.53
10	0.900	41.05	38.56	10	0.900	37.27	35.01
15	0.933	44.06	41.38	15	0.933	41.83	39.29
20	0.950	46.16	43.36	20	0.950	45.35	42.59
25	0.960	47.79	44.88	25	0.960	48.27	45.33
30	0.967	49.10	46.12	30	0.967	50.77	47.69
35	0.971	50.22	47.16	35	0.971	52.99	49.76
40	0.975	51.18	48.06	40	0.975	54.98	51.64
45	0.978	52.02	48.86	45	0.978	56.80	53.34
50	0.980	52.78	49.57	50	0.980	58.47	54.91
60	0.983	54.09	50.80	60	0.983	61.48	57.74
70	0.986	55.19	51.83	70	0.986	64.14	60.23
80	0.988	56.14	52.73	80	0.988	66.53	62.48
90	0.989	56.98	53.52	90	0.989	68.71	64.53
100	0.990	57.74	54.22	100	0.990	70.73	66.42
150	0.993	60.63	56.94	150	0.993	79.03	74.22
200	0.995	62.67	58.86	200	0.995	85.50	80.30
300	0.997	65.56	61.57	300	0.997	95.51	89.70
400	0.998	67.60	63.49	400	0.998	103.31	97.03
500	0.998	69.19	64.98	500	0.998	109.80	103.12
1000	0.999	74.11	69.61	1000	0.999	132.66	124.59

Tabella 15: Parametri delle distribuzioni di probabilità (Gumbel e Fréchet) e valori di  $i(1)$  (mm/h) e  $a(T)$  (mm) per prefissati tempi di ritorno  $T$  nella stazione pluviometrica di Amandola

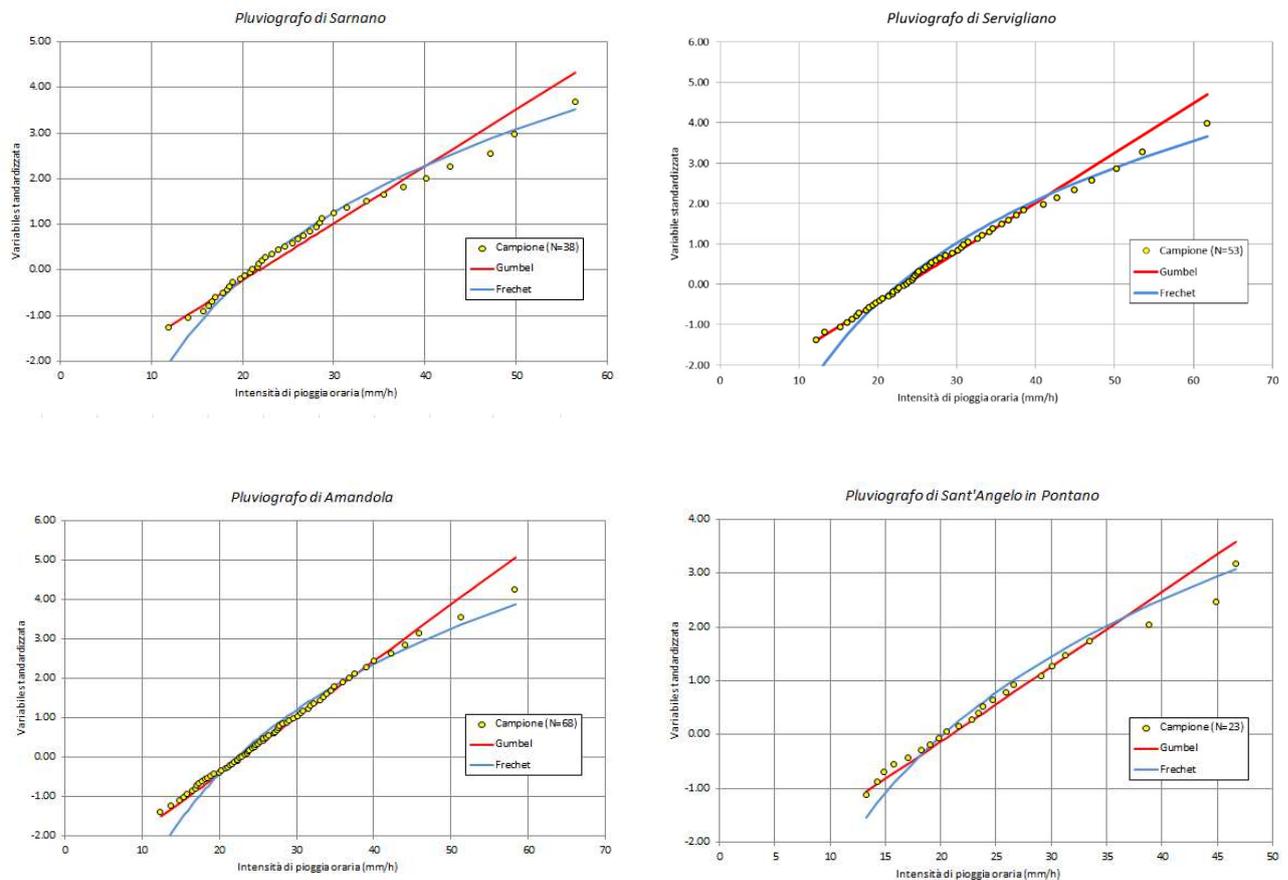


Figura 9: Distribuzioni di probabilità di Gumbel e Fréchet e frequenze empiriche dell'intensità oraria regolarizzata

Nelle figure da 10 a 13 invece si mostrano gli adattamenti delle distribuzioni regionale (VAPI) e locali (Gumbel e Fréchet) ai valori registrati delle piogge intense di durata di 1, 3, 6 e 12 ore (significative per i bacini d'interesse). Fermo restando quanto già espresso sulla distribuzione regionale VAPI, le figure mostrano come nel pluviografo in esame la distribuzione locale di Gumbel tenda a fornire stime per i valori estremi comparabili con la distribuzione VAPI, mentre la distribuzione di Fréchet si adatta meglio ai campioni empirici, anche se tende a sovrastimare le piogge sui valori estremi le durate comparabili al tempo di corrivazione del bacino del Fiume Tenna.

Si è quindi scelto di assumere come curve di possibilità pluviometriche di progetto quelle desunte dalla distribuzione di Gumbel (tabelle da 12 a 15) onde evitare un'eccessiva sovrastima delle portate attese.

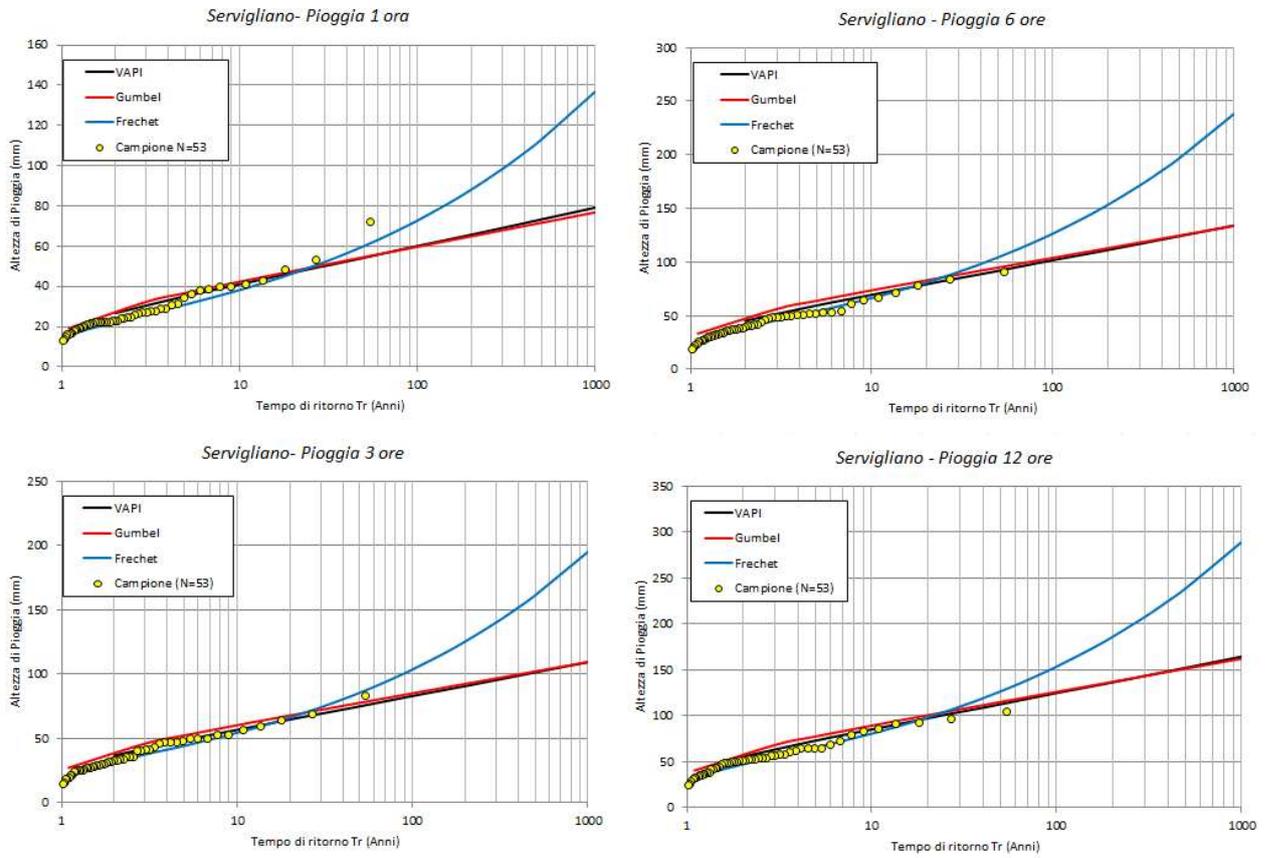


Figura 10: Adattamento delle distribuzioni regionale (VAPI) e locale (Gumbel e Fréchet) ai campioni osservati (i1, i3, i6 e i12) per le durate di 1, 3, 6 e 12 ore per la stazioni pluviometriche di Servigliano

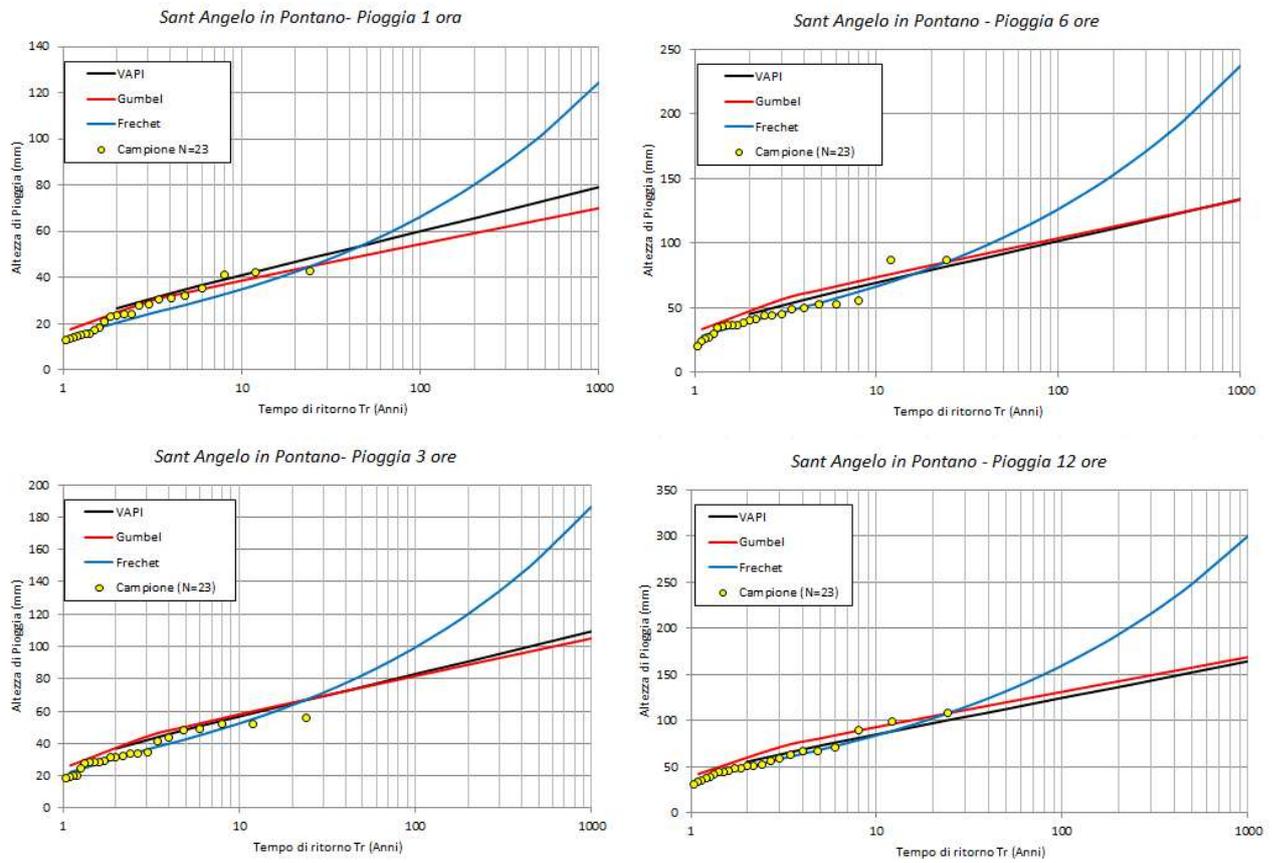


Figura 11: Adattamento delle distribuzioni regionale (VAPI) e locale (Gumbel e Fréchet) ai campioni osservati (i1, i3, i6 e i12) per le durate di 1, 3, 6 e 12 ore per la stazioni pluviometriche di Sant'Angelo in Pontano

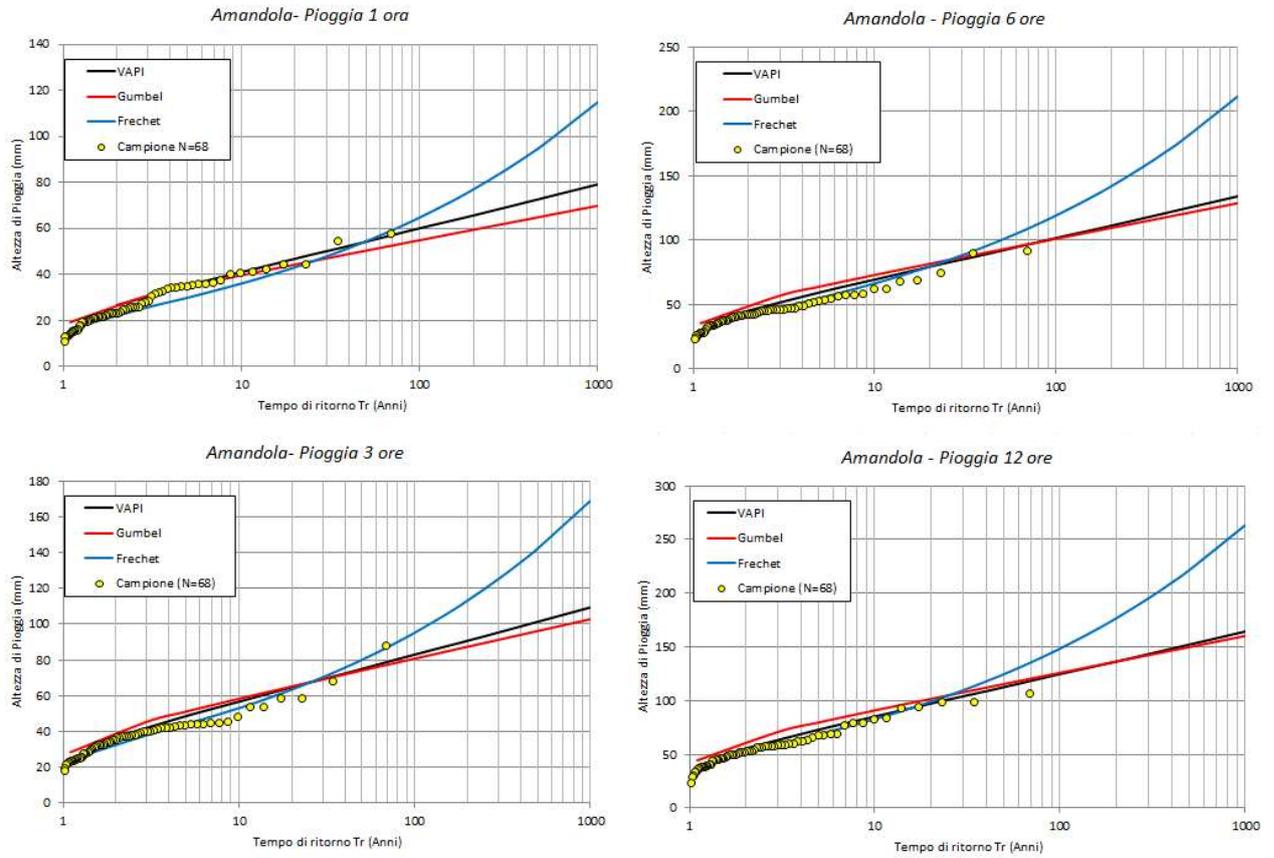


Figura 12: Adattamento delle distribuzioni regionale (VAPI) e locale (Gumbel e Fréchet) ai campioni osservati (i1, i3, i6 e i12) per le durate di 1, 3, 6 e 12 ore per la stazioni pluviometriche di Amandola

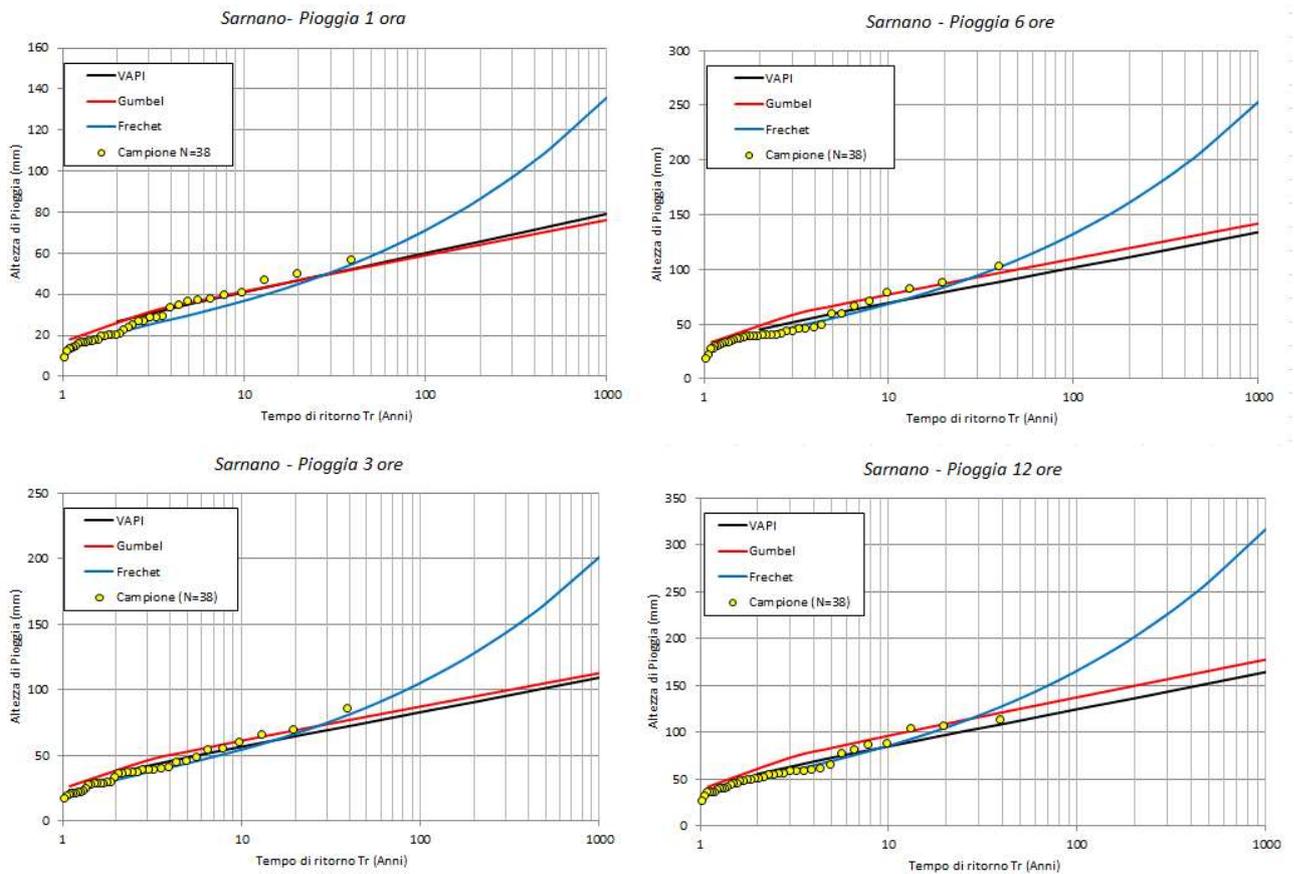


Figura 13: Adattamento delle distribuzioni regionale (VAPI) e locale (Gumbel e Fréchet) ai campioni osservati (i1, i3, i6 e i12) per le durate di 1, 3, 6 e 12 ore per la stazioni pluviometriche di Sarnano

Nella figura 14 e 15 sono riportati rispettivamente la suddivisione in sottobacini del fiume Tenna ed i topoieti tracciati per l'area d'interesse e si osserva come le differenti zone del bacino del fiume Tenna siano interessate dalle diverse stazioni pluviometriche considerate.

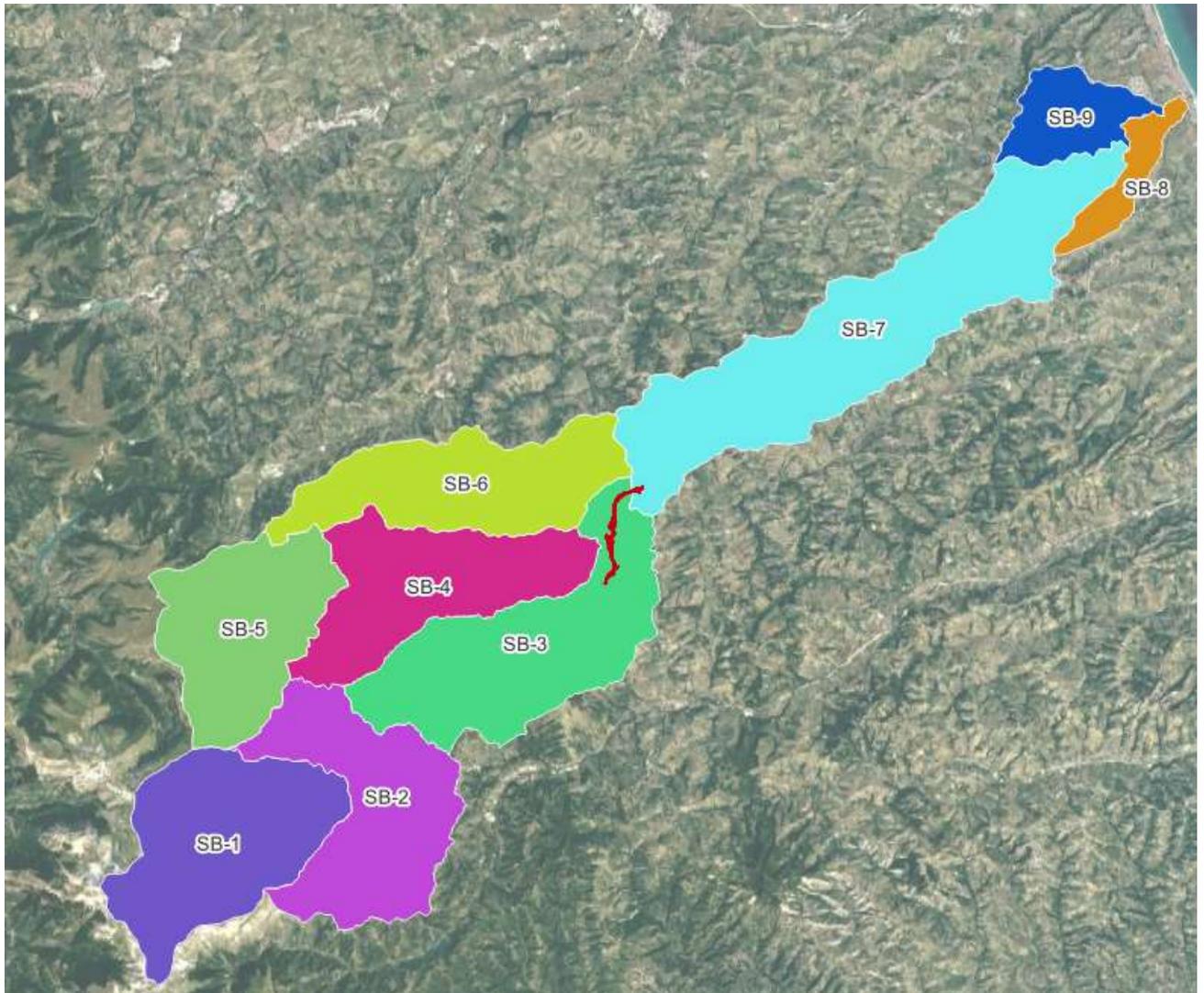


Figura 14: Suddivisione ed identificazione dei sottobacini del Fiume Tenna

IMPRESA A.T.I.:

PROGETTISTA RTP:

MANDATARIA:

MANDANTE:

MANDATARIA:

MANDANTI:

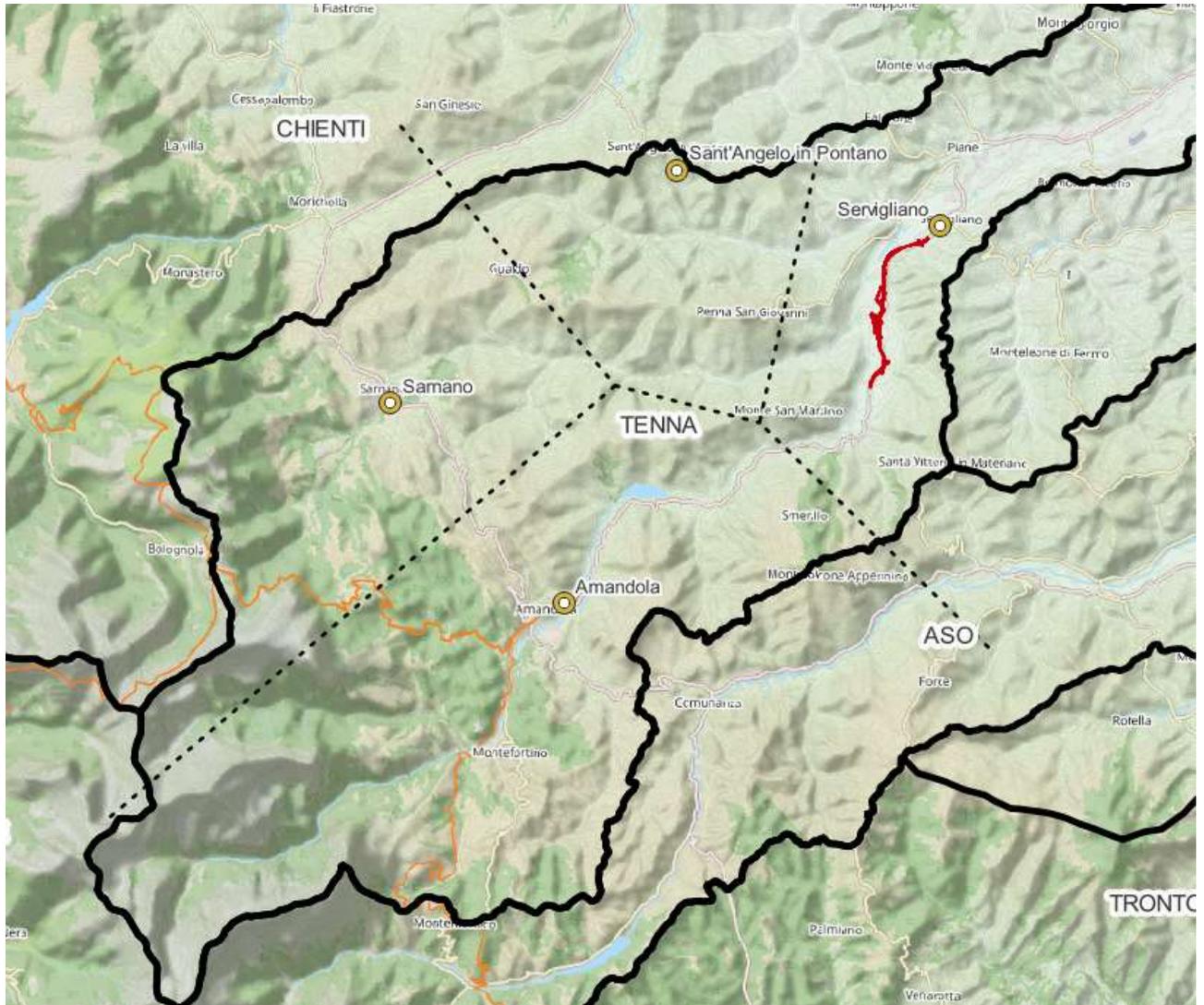


Figura 15: Pluviometri registratori e relativi topoieti per il bacino del Fiume Tenna

IMPRESA A.T.I.:

PROGETTISTA RTP:

MANDATARIA:

MANDANTE:

MANDATARIA:

MANDANTI:

## 4 CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA DI PROGETTO

### 4.1 Modello Afflussi-Deflussi

Il modello afflussi-deflussi utilizzato per la stima delle portate di progetto è il modello cinematico, in cui la portata al colmo di piena  $Q(T)$  è calcolata con la formula razionale:

$$Q(T) = 278 \cdot \phi(T) \cdot A_b \cdot i(\tau_b, T) \cdot r(A_b, \tau_b) \quad (4.1)$$

in cui:

$T$  è il tempo di ritorno medio, in anni;

$Q(T)$  è la massima portata al colmo dell'anno relativa al tempo di ritorno  $T$ , in  $m^3/s$ ;

$A_b$  è l'area del bacino, in  $km^2$ ;

$\tau_b$  è il tempo di concentrazione, in ore, parametro che regola la concentrazione dei deflussi;

$i(\tau_b, T)$  è l'intensità di pioggia di durata  $\tau_b$  con tempo di ritorno  $T$ , in  $m/ora$ ;

$\phi$  è il coefficiente di deflusso relativo al tempo di ritorno  $T$ , parametro che rappresenta le perdite idrologiche;

$r(A_b, \tau_b)$  è il coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area (posto cautelativamente pari a 1).

#### 4.1.1 Tempo di concentrazione

Per il calcolo del tempo di concentrazione, ritenendo valide per bacini superiori a 75 km<sup>2</sup> la formula di Giandotti e per bacini inferiori a 1 km<sup>2</sup> la formula di Kirpich, nel caso di bacini di estensione compresa tra questi due valori, si è adottata un'interpolazione lineare tra le due formule, come mostrato in seguito:

- per  $A_b \geq 75$ :

$$\tau_b = \tau_{bG} = \frac{5\sqrt{A_b} + 1,875L_b}{\sqrt{y_m}} \quad (4.2)$$

- per  $A_b \leq 1$ :

$$\tau_b = \tau_{bK} = 0,93 \left( \frac{L_b}{\sqrt{y_{max}/L_b}} \right)^{0,77} \quad (4.3)$$

- per  $1 < A_b < 75$ :

$$\tau_b = \tau_{bG} \frac{(A_b - 1)}{74} + \tau_{bK} \frac{(75 - A_b)}{74} \quad (4.4)$$

con:

$A_b$  area del bacino, in km<sup>2</sup>;

$L_b$  lunghezza dell'asta principale del bacino, in km;

$y_m$  altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura, in m;

$y_{max}$  altezza del punto più elevato del bacino rispetto alla sezione di chiusura, in m.

#### 4.1.2 Curve Number

Il SCS-CN fornisce, anche nel caso di input pluviometrici a intensità costante nel tempo, una pioggia netta variabile; l'altezza di precipitazione cumulata netta  $H_p(t)$  si ricava a partire dalla corrispondente pioggia lorda  $H(t)$  tramite la seguente relazione

$$H_p(t) = \frac{(H(t) - I_a)^2}{(H(t) - I_a + S)} \quad (4.3)$$

in cui  $S$  è la massima ritenzione potenziale successiva all'inizio del deflusso (mm) e  $I_a$  la capacità di assorbimento iniziale (mm). L'intensità di pioggia netta si ricava dall'altezza di pioggia cumulata derivando rispetto al tempo.

La capacità di assorbimento iniziale,  $I_a$ , rappresenta tutte le perdite precedenti all'inizio del deflusso, la trattenuta nelle depressioni superficiali, l'intercettazione della vegetazione, l'evaporazione e l'infiltrazione.  $I_a$  è fortemente variabile, ma in genere è correlata ai parametri che descrivono il suolo e la copertura. In generale si assume  $I_a = 0.2S$ , dove  $S$  dipende dalla combinazione di due fattori: la natura del terreno e l'uso del suolo. L'effetto combinato di questi due fattori è rappresentato dal parametro adimensionale  $CN$  attraverso la relazione

$$S = 254(100/CN - 1) \quad (4.4)$$

Il parametro  $CN$  varia tra 0 e 100 ed è essenzialmente legato alla natura del suolo, al tipo di copertura del terreno e alle condizioni di umidità del suolo precedenti l'evento di pioggia.

Laddove non siano disponibili osservazioni di portata per effettuate una calibrazione del modello, il parametro  $CN$  può essere stabilito in base a valori di letteratura che dipendono dalla classe idrologica, funzione sia del tipo di suolo (geolitologia), sia dell'uso del suolo.

Il metodo SCS classifica le tipologie di suolo in quattro gruppi idrologici (A, B, C e D) in funzione della minima capacità di infiltrazione che si ottiene per un suolo asciutto dopo imbibizione prolungata. Per i bacini in esame la natura del terreno è stata ricavata dalla carta geolitologica della Regione Marche. La classificazione in gruppi idrologici, combinata con la tipologia di uso del suolo (Corine Land Cover) consente di ottenere il valore del parametro  $CN$  corrispondente a ciascuna porzione omogenea in cui è suddivisa la superficie di bacino considerato. Il valore globale per l'intero bacino si ottiene dalla media dei singoli valori attribuiti a ciascuna porzione di bacino, pesati ciascuno in funzione dell'area di pertinenza.

Il valore del CN così calcolato viene infine modificato in funzione delle condizioni di umidità antecedente (Antecedent Moisture Conditions, AMC), ossia dalle piogge precedenti l'evento, ripartite in tre categorie (I, II e III) come indicato nella tabella 16.

Classe AMC	Altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I – asciutta	< 12,7	< 35,5
II – media	12,7 ÷ 28,0	35,5 ÷ 53,3
III - umida	> 28,0	> 53,3

Tabella 16: Classi AMC per il calcolo del CNII

Per questo studio è stato adottato il valore nominale del CNIII, ricavato per confronto fra la tipologia del suolo in sito e la copertura o utilizzo dello stesso. La pioggia netta calcolata con il metodo SCS è quindi trasformata in portata nella sezione di chiusura del bacino.

#### 4.1.3 Determinazione del CN

Nella figura 16 sono rappresentate le classi geolitologiche affioranti sui bacini principali perimetrati dalla Regione Marche interferenti con l'infrastruttura in progetto. Le aree di ciascuna classe geolitologica ricadenti in ciascun bacino sono indicate nella tabella 17.

Nella tabella 18 sono riportate le classi idrologiche dei vari suoli fornite dal Soil Conservation Service, cui sono state attribuite nella tabella 19 le classi geolitologiche che compaiono nei bacini in oggetto.

I valori di CNII attribuiti a ciascuna classe idrologica dipendono dall'uso del suolo. L'intersezione delle aree delle classi di uso del suolo (Corine Land Cover) con i diversi bacini sono rappresentate nella figura 17. Le aree di ciascuna classe d'uso del suolo ricadenti nei diversi bacini sono indicate nella tabella 20. Per le classi di uso del suolo presenti nei bacini d'interesse, in funzione della classe idrologica, sono stati assunti i valori di CN indicati nella tabella 21.

Classe Geolitologica			Area (km2)						
Cod.	Descrizione	Classe Idrologica	SB-1	SB-2	SB-3	SB-4	SB-5	SB-6	SB-7
1	Detriti, depositi alluvionali e fluviolacustri, spiagge attuali	B	0.00	0.00	4.89	0.30	0.00	0.86	62.70
4	Detriti, alluvioni terrazzate, fluviolacustri e fluvioglaciali	B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Argille	D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.95
14	Sabbie e conglomerati	A	0.00	0.00	4.57	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Argille e marne talvolta con olistostromi	D	0.00	0.00	16.00	3.39	0.00	9.92	28.74
18	Arenarie ed argille (subordinati calcari ed evaporiti)	D	0.00	32.67	44.55	47.80	9.83	41.33	0.00
19	Formazione Gessoso-solfifera	C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	Arenarie e conglomerati, talora torbiditici	B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	Marne talora con selce, di facies pelagica	D	2.06	18.51	0.00	1.01	11.80	0.00	0.00
26	Unità arenacee e arenaceo-mamose	B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	Marne e marne calcaree detritiche di facies pelagica	D	8.56	4.76	0.00	0.00	8.90	0.00	0.00
35	Unità argillose e argilloso-calcaree (torbiditiche)	D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	Calcari e calcari marnosi pelagici	A	12.48	1.56	0.00	0.00	4.88	0.00	0.00
52	Calcari micritici e micriti argillose pelagiche	A	24.47	0.66	0.00	0.00	11.67	0.00	0.00
56	Calcari e talvolta dolomie dolomitici neritici e di piattaforma	A	5.74	0.00	0.00	0.00	2.06	0.00	0.00
58	Calcari, calcari marnosi e marne, selciferi, pelagici	A	9.33	0.00	0.00	0.00	2.08	0.00	0.00
110	Graniti e granodioriti	C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
114	Filladi, porfiroidi, marmi e scisti verdi (metamorfiti di basso grado)	D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	Micascisti e paragneiss, filladi, marmi (metamorfiti di medio grado)	B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
117	Granuliti, gneiss con marmi e anfiboliti (metamorfiti di alto grado)	A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 17: Aree (km<sup>2</sup>) delle classi delle formazioni geologiche ricadenti nel bacino del Fiume Tenna

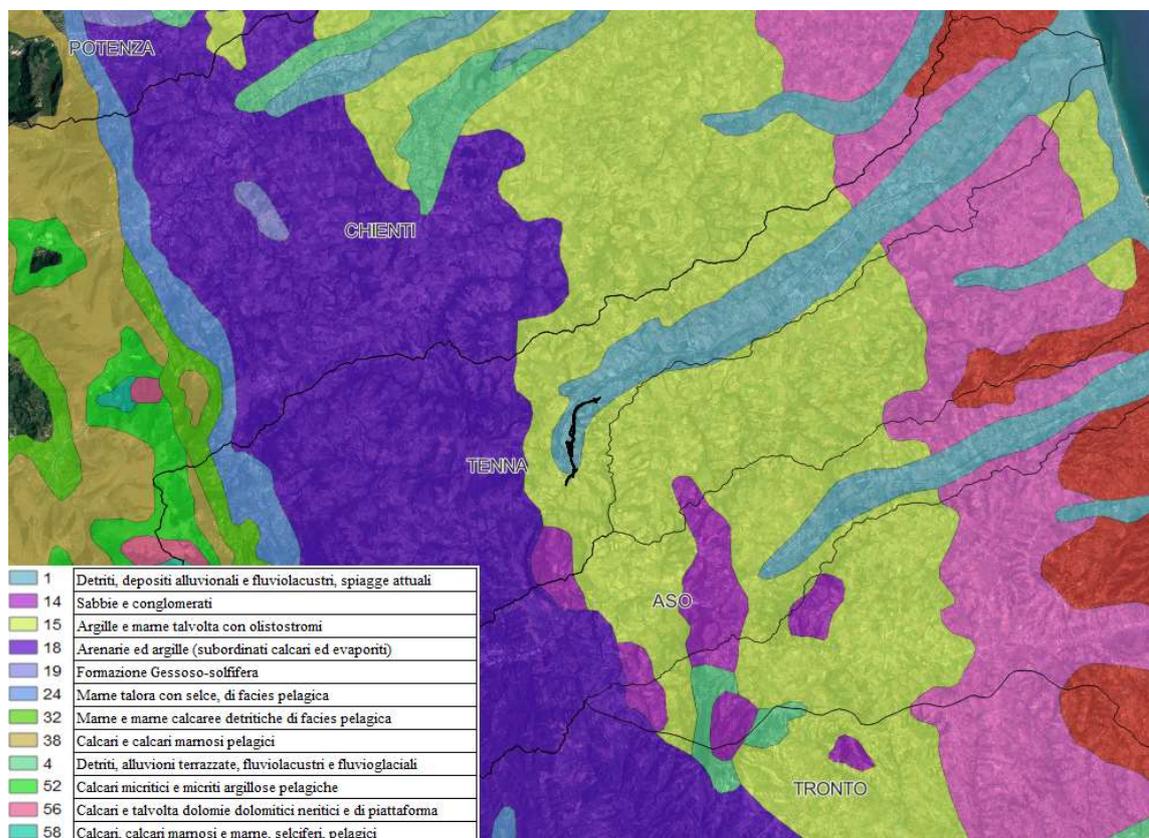


Figura 16: Classi geolitologiche affioranti nei bacini principali di interesse

Classe Idrologica	Caratteristiche dei gruppi di suolo
A	Suoli che hanno alti tassi d'infiltrazione, anche quando completamente bagnati. Principalmente costituiti da strati drenanti profondi o da sabbie o ghiaie molto drenanti. Suoli con tasso di filtrazione elevato.
B	Suoli che hanno tassi d'infiltrazione moderati quando completamente bagnati. Principalmente costituiti da strati drenanti, da moderatamente profondi a profondi. Suoli con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana. Suoli con tasso di filtrazione moderato.
C	Suoli che hanno bassi tassi d'infiltrazione quando completamente bagnati. Principalmente costituiti da uno strato che impedisce il movimento verso il basso dell'acqua. Suoli con tessitura moderatamente fine. Suoli con basso tasso di filtrazione.
D	Suoli che hanno tassi d'infiltrazione molto bassi quando completamente bagnati. Principalmente costituiti da terreni argillosi con un alto potenziale di rigonfiamento o da terreni in cui il livello della falda si mantiene permanentemente alto. Suoli costituiti da uno strato argilloso, oppure con argille in corrispondenza o in prossimità della superficie. Suoli poco profondi con substrato quasi impermeabile. Suoli con un bassissimo tasso di filtrazione.

Tabella 18: Classi Idrologiche (Soil Conservation Service)

IMPRESA A.T.I.:

PROGETTISTA RTP:

MANDATARIA:

MANDANTE:

MANDATARIA:

MANDANTI:

Classe Geolitologica		Classe Idrologica
Codice	Descrizione	
1	Detriti, depositi alluvionali e fluviolacustri, spiagge attuali	B
4	Detriti, alluvioni terrazzate, fluviolacustri e fluvioglaciali	B
12	Argille	D
14	Sabbie e conglomerati	A
15	Argille e marne talvolta con olistostromi	D
18	Arenarie ed argille (subordinati calcari ed evaporiti)	D
19	Formazione Gessoso-solfifera	C
21	Arenarie e conglomerati, talora torbiditici	B
24	Marne talora con selce, di facies pelagica	D
26	Unita'arenacee e arenaceo-marnose	B
32	Marne e marne calcaree detritiche di facies pelagica	D
35	Unita'argillose e argilloso-calcaree (torbiditiche)	D
38	Calcari e calcari marnosi pelagici	A
52	Calcari micritici e micriti argillose pelagiche	A
56	Calcari e talvolta dolomie dolomitici neritici e di piattaforma	A
58	Calcari, calcari marnosi e marne, selciferi, pelagici	A
110	Graniti e granodioriti	C
114	Filladi, porfiroidi, marmi e scisti verdi (metamorfiti di basso grado)	D
115	Micasisti e paragneiss, filladi, marmi (metamorfiti di medio grado)	B
117	Granuliti, gneiss con marmi e anfiboliti (metamorfiti di alto grado)	A

Tabella 19: Classi idrologiche attribuite alle classi geolitologiche dei sottobacini

Uso Suolo		Area (km2)						
Codice	Descrizione	SB-1	SB-2	SB-3	SB-4	SB-5	SB-6	SB-7
111	Tessuto Urbano continuo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
112	Tessuto Urbano discontinuo	0.00	0.46	0.10	0.28	0.75	0.50	7.71
121	Aree industriali o commerciali	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	3.10
122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
123	Aree estrattive	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
131	Aree sportive e ricreative	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.67
142	Seminativi in aree non irrigue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
211	Vigneti	0.05	5.17	19.43	17.99	1.60	18.35	60.57
221	Frutteti e frutti minori	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70
222	Oliveti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
223	Pascoli	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
231	Colture annuali associate a colture permanenti	1.07	1.63	0.95	0.09	2.49	0.00	0.00
241	Sistemi colturali e particellari complessi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
242	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali	2.33	13.21	21.64	12.26	9.15	12.88	21.03
243	Boschi di latifoglie	0.80	9.61	13.64	5.45	8.79	8.41	2.77
311	Boschi di conifere	20.79	22.38	11.05	10.01	21.70	10.45	1.74
312	Boschi misti	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
313	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	0.00	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
321	Aree a vegetazione sclerofilla	24.26	2.09	0.00	0.00	2.96	0.00	0.00
323	Area a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
324	Spiagge, dune, sabbie (più larghe di 100m)	7.76	1.33	2.57	6.43	2.52	1.51	5.11
331	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
333	Aree con vegetazione rada	3.49	0.01	0.00	0.00	1.26	0.00	0.00
512	Corpi d'acqua	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
523	Mari ed oceani	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabella 20: Aree (km2) delle classi di uso del suolo ricadenti nei bacini principali in esame

Uso suolo		CNII			
Codice	Descrizione	A	B	C	D
111	Tessuto Urbano continuo	77	85	90	92
112	Tessuto Urbano discontinuo	57	72	81	86
122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	98	98	98	98
131	Aree estrattive	46	69	79	84
142	Aree sportive e ricreative	39	61	74	80
211	Seminativi in aree non irrigue	70	80	86	90
221	Vigneti	45	66	77	83
222	Frutteti e frutti minori	45	66	77	83
223	Oliveti	45	66	77	83
231	Pascoli	30	58	71	78
241	Colture annuali associate a colture permanenti	58	73	82	87
242	Sistemi colturali e particellari complessi	58	73	82	87
243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali	52	70	80	85
311	Boschi di latifoglie	36	60	73	79
312	Boschi di conifere	36	60	73	79
313	Boschi misti	36	60	73	79
321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	49	69	79	84
323	Aree a vegetazione sclerofilla	49	69	79	84
324	Area a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	36	60	73	79
331	Spiagge, dune, sabbie (più larghe di 100m)	76	85	89	91
333	Aree con vegetazione rada	49	69	79	84
523	Mari ed oceani	100	100	100	100

Tabella 21: Valori del CNII per gruppi idrologici e di uso del suolo

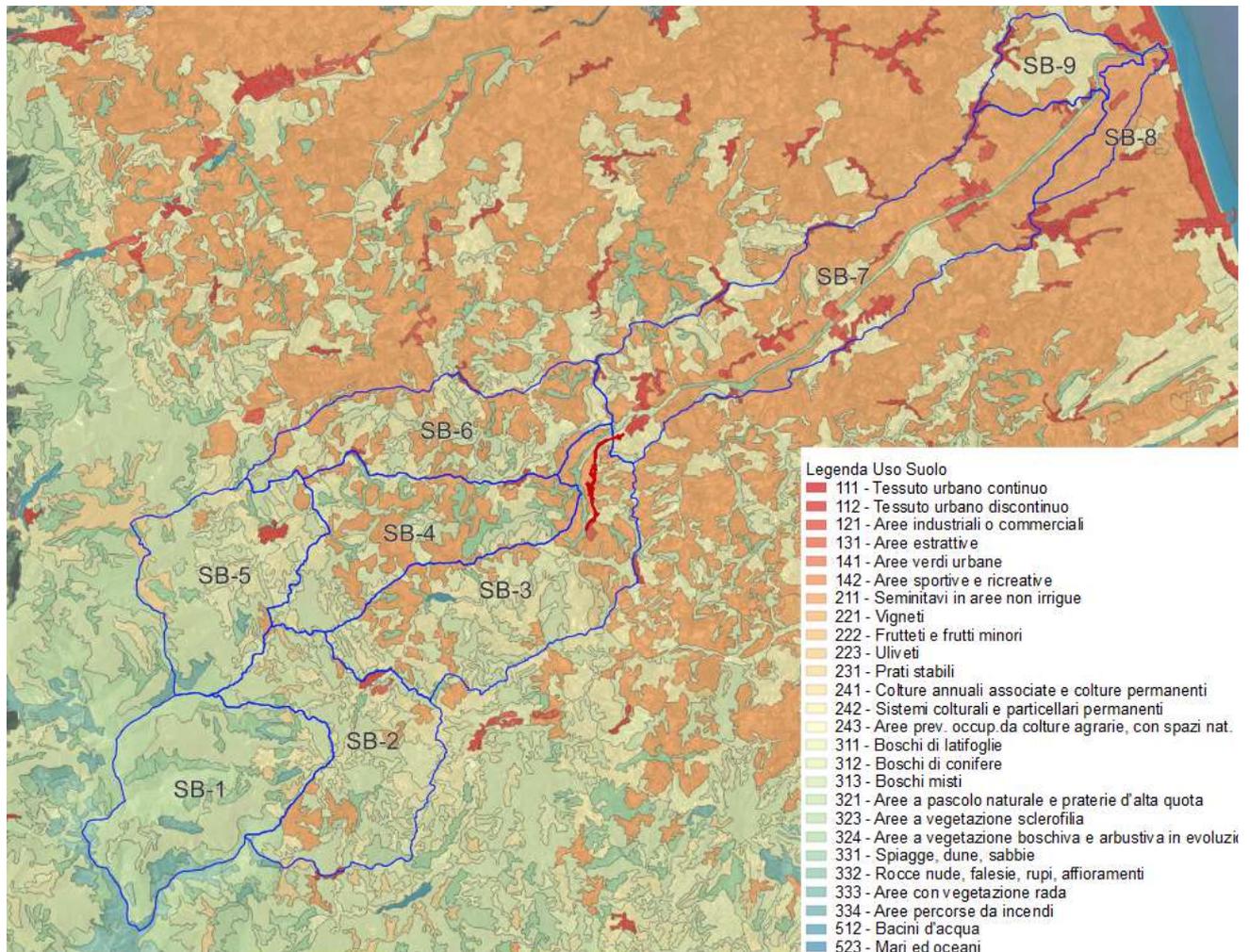


Figura 17: Classi di uso del suolo nei bacini principali

I valori medi dei CNIII adottati nei bacini principali in esame sono indicati nella tabella 22.

Sottobacino	CNIII Nominale
SB-1	81
SB-2	82
SB-3	85
SB-4	85
SB-5	81
SB-6	85
SB-7	88

Tabella 22: CNIII nominale per i diversi sottobacini di studio

#### 4.1.4 Coefficienti di deflusso

In base ai valori dei CNIII calcolati per i sottobacini, indicati in tabella 4.8, sono stati assunti dei coefficienti di deflusso  $\phi$  sulla base delle caratteristiche di permeabilità dei suoli presenti, riportati in tabella 15.

Sottobacino	Coefficiente di deflusso $\phi$
SB-1	0.65
SB-2	0.65
SB-3	0.65
SB-4	0.65
SB-5	0.65
SB-6	0.65
SB-7	0.65

Tabella 23: Coefficienti di deflusso adottati per i bacini principali di studio

#### 4.1.5 Intensità di pioggia e portate di progetto

Il calcolo dell'intensità di pioggia di progetto è stato realizzato con la curva intensità-durata-frequenza espressa dalla formula (3.5), i cui parametri sono riportati nelle tabelle del precedente capitolo.

Nella tabella 16 si riportano le caratteristiche dei sottobacini che compongono il bacino idrografico del Fiume Tenna. I valori indicati fanno riferimento alle relative sezioni di chiusura e di cui se ne mostra la conformazione in figura 18. E' bene sottolineare che, ai fini della presente trattazione, i sottobacini posti a valle del tracciato non rivestono particolare interesse, ragione per la quale se ne omettono i dettagli.

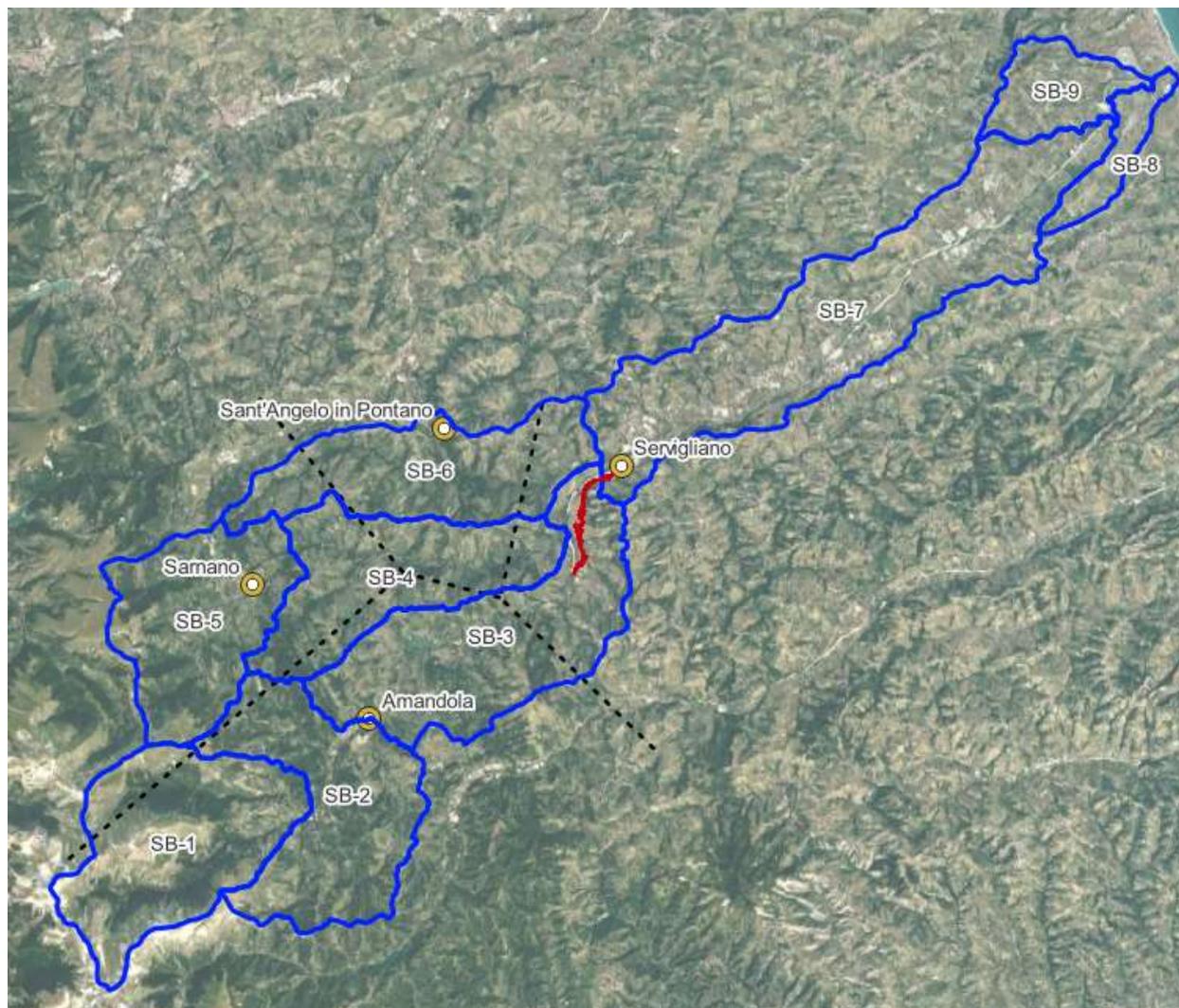


Figura 18: Sottobacini del bacino idrografico del Fiume Tenna ed infrastruttura di progetto

IMPRESA A.T.I.:

PROGETTISTA RTP:

MANDATARIA:

MANDANTE:

MANDATARIA:

MANDANTI:

ID	Area <i>km<sup>2</sup></i>	L asta <i>km</i>	Hmax <i>m</i>	Hmin <i>m</i>	Pend media <i>m/m</i>	$\tau_{corr}$ <i>h</i>	$\tau_{c>75km}$ <i>h</i>	$\tau_{c<75km}$ <i>h</i>	$T_{c<1km}$ <i>h</i>
SB-1	62.64	11.25	1000.00	510.50	0.04	3.41	3.88	3.41	1.07
SB-2	58.15	8.37	635.00	423.00	0.03	4.24	5.23	4.24	0.90
SB-3	70.01	16.78	441.00	196.00	0.01	6.33	6.62	6.33	2.32
SB-4	52.50	12.35	400.00	225.00	0.01	4.93	6.35	4.93	1.69
SB-5	51.22	8.90	705.00	381.00	0.04	3.10	4.12	3.10	0.93
SB-6	52.10	17.45	500.00	204.50	0.02	4.62	5.66	4.62	2.31
SB-7	103.39	26.75	196.00	26.00	0.01	10.95	10.95	13.08	5.43

Tabella 24: Parametri caratterizzanti i sottobacini del Fiume Tenna

ID	Area <i>km<sup>2</sup></i>	$\tau_{corr}$ <i>h</i>	CN -	$\phi$ -	Contributi				i <sub>200</sub> <i>mm/h</i>	Q <sub>c</sub> <i>m<sup>3</sup>/s</i>
					Sarnano	Amandola	Servigliano	Pontano		
SB-1	62.64	3.41	81	0.65	10%	90%	0%	0%	26.99	305.29
SB-2	58.15	4.24	82	0.65	5%	95%	0%	0%	23.19	243.51
SB-3	70.01	6.33	85	0.65	0%	60%	40%	0%	17.81	225.08
SB-4	52.50	4.93	85	0.65	35%	15%	15%	35%	21.83	206.93
SB-5	51.22	3.10	81	0.65	100%	0%	0%	0%	31.01	286.82
SB-6	52.10	4.62	85	0.65	15%	0%	15%	70%	22.59	212.48
SB-7	103.39	10.95	88	0.65	0%	0%	100%	0%	12.20	227.67

Tabella 25: Parametri caratterizzanti i sottobacini del Fiume Tenna e relative portate attese

L'infrastruttura di progetto, come si evince dalle mappe sopra esposte, è localizzata a valle del sottobacino SB3 ed il valore massimo di portata attesa per un'evento bicentenario sarà data dalla portata generata dal bacino stesso e dai contributi provenienti dai sottobacini da SB-1 a SB-5 per un valore massimo atteso pari a **1267.63 m<sup>3</sup>/s**

## 5 ANALISI IDRAULICA – STRALCIO 1 LOTTO 2

### 5.1 Riferimenti normativi

In Italia i riferimenti normativi ai quali si deve attenere il progettista degli attraversamenti fluviali sono contenuti nel Decreto Ministeriale del 2 agosto 1980 e in quello del 4 maggio 1990, ai quali ha fatto seguito la Circolare n. 34233 emanata in data 25 febbraio 1991 dal Ministero dei Lavori Pubblici, recante "Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali".

Recentemente il DM 17/01/18 più noto come "Norme Tecniche per le Costruzioni" e successivamente la Circolare esplicativa n. 7 del 21-01-2019 ha integrato in alcune parti, riguardanti prevalentemente le azioni da prevedere per i calcoli statici, le norme dei precedenti decreti.

Le norme prescrivono di assumere normalmente quale portata di progetto quella corrispondente a un tempo di ritorno non inferiore a duecento anni per la quale i calcoli idraulici dovranno verificare la sussistenza di un franco minimo tra il livello di massima piena e l'impalcato del ponte (di 1,5 m).

Per quanto riguarda l'inserimento dell'opera di attraversamento nell'ambito delle aree di pertinenza del corso d'acqua le norme prevedono che il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d'acqua attivo e, se arginato, i corpi arginali. Qualora eccezionalmente fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce minima tra pile contigue, misurata ortogonalmente al filone principale della corrente, non dovrà essere inferiore a 40 metri. Soluzioni con luci inferiori potranno essere autorizzate dall'Autorità competente, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nel caso di pile e/o spalle in alveo cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni dell'alveo e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle.

Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.

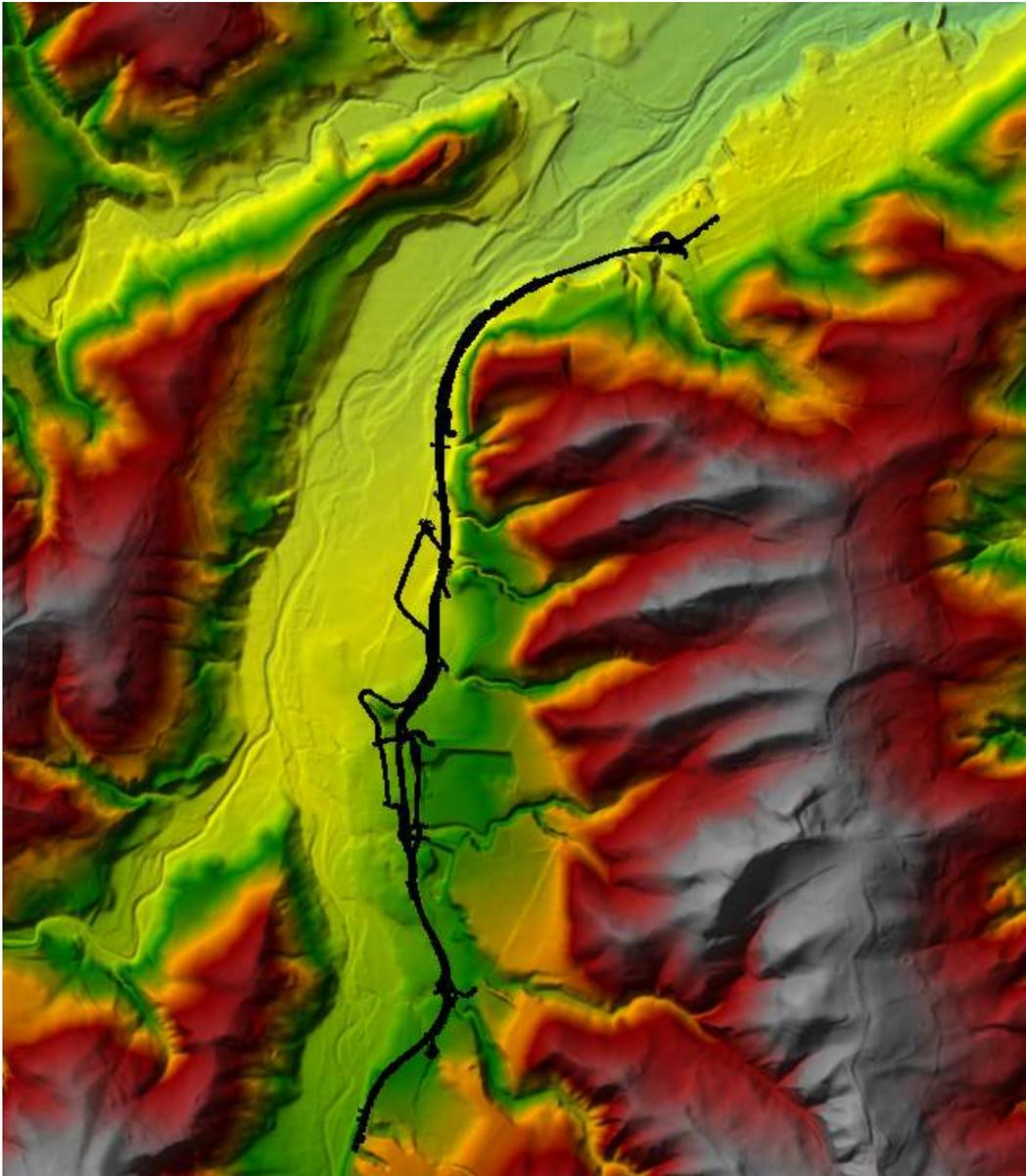
## 5.2 Idraulica fluviale

L'infrastruttura viaria in progetto non attraversa l'asta fluviale del Fiume Tenna ma lungo il suo tracciato si mantiene all'incirca parallela allo stesso. Lo studio del comportamento del Fiume Tenna e la valutazione di eventuali aree inondabili nelle zone ad esso adiacente, tramite l'implementazione di un modello idraulico monodimensionale in regime stazionario, risultano di fondamentale importanza ai fini della progettazione e del dimensionamento di eventuali protezioni idrauliche a servizio dell'infrastruttura di progetto.

Come descritto nel capitolo dedicato all'analisi idrologica, in tali elaborazioni sono state cautelativamente assunte le portate di progetto relative al tempo di ritorno di 200 anni, ricavate dalla distribuzione di probabilità di Fréchet stimata localmente.

## 5.3 Sezioni idrauliche di calcolo e campagna rilievi

Ai fini dell'implementazione dei modelli numerici per la modellazione del Fiume Tenna sono state utilizzate le informazioni fornite dal DTM a passo 1x1 m fornito dal MATTM (Lidar 2008-2010) integrato, laddove necessario, del rilievo celerimetrico realizzato lungo il tracciato dell'infrastruttura viaria in progetto. Data la scarsa vegetazione in prossimità delle sponde che rende chiara l'incisione dell'alveo, il dato fornito può ritenersi più che attendibile per l'estrapolazione delle sezioni idrauliche del modello direttamente dal DTM.



*Figura 19: Modello DTM fornito dal MATTM*

IMPRESA A.T.I.:

PROGETTISTA RTP:

MANDATARIA:

MANDANTE:

MANDATARIA:

MANDANTI:

**MONACO** Sp.A.  
Costruzioni generali

**IRCOPI**  
Costruzioni generali

**S.T.E.** s.r.l.  
Structure and Transport Engineering

**E.D.IN.** s.r.l.  
Società di Ingegneria

Dott. Geol.  
MARIA BRUNO

PAG. 56 DI 58

## 5.4 Modello idraulico

Nelle simulazioni idrauliche condotte si è utilizzato il codice di calcolo HEC-RAS (versione 6.3.1) River Analysis System, sviluppato presso l'Hydrologic Engineering Center, dall'United States Army Corps of Engineers, che consente il calcolo dei profili idraulici di moto permanente gradualmente vario, in reti di canali naturali o artificiali. Con tale modello possono essere simulate condizioni di moto subcritico (corrente lenta), supercritico (corrente veloce) e misto (entrambi i moti), e possono essere valutati gli effetti di immissioni o emissioni laterali di portata, briglie e salti di fondo, paratoie, brevi condotti in pressione, ponti, ostacoli al flusso e costruzioni nelle zone golenali. Le simulazioni idrauliche sono state realizzate in condizioni di moto permanente monodimensionale (1D) in regime di corrente mista. Si rimanda al manuale tecnico di HEC-RAS per approfondimenti.

I parametri dei modelli, calibrati o assunti, sono specificati successivamente nei paragrafi dedicati.

### 5.4.1 Condizioni al contorno

Il modello idraulico implementato per il corso d'acqua si estende fino a circa 500 m a monte ed a valle dell'infrastruttura di progetto. Si è quindi imposta cautelativamente come condizione al contorno di valle un'altezza di moto uniforme uguale o maggiore di quella corrispondente alla pendenza media terminale del corso d'acqua modellato.

Come condizione al contorno di monte è stata invece adottata l'altezza critica della sezione di monte del corso d'acqua in esame.

### 5.4.2 Coefficienti di scabrezza

Per l'alveo del Fiume Torto si è assunto cautelativamente un valore del coefficiente di scabrezza di Manning pari a  $0,032 \text{ sm}^{-1/3}$  nella sezione incisa (alveo attivo) e  $0,04 \text{ sm}^{-1/3}$  nelle aree inondabili golenali.

## 5.5 Risultati delle modellazioni

Come si evince dallo stralcio al seguito riportato, così come nell'elaborato dedicato, il PAI indica una vasta zona di pericolosità in sinistra idraulica, zona che risulterebbe essere di minore estensione e non interferente con il tracciato di progetto. Dalle analisi condotte non sussiste interferenza fra il tracciato di progetto ed eventuali zone di espansione della piena duecentennale del Fiume Torto evidenziando come, in caso di materializzazione dello scenario previsto, non sia necessario proteggere l'infrastruttura di progetto dalla piena attesa.

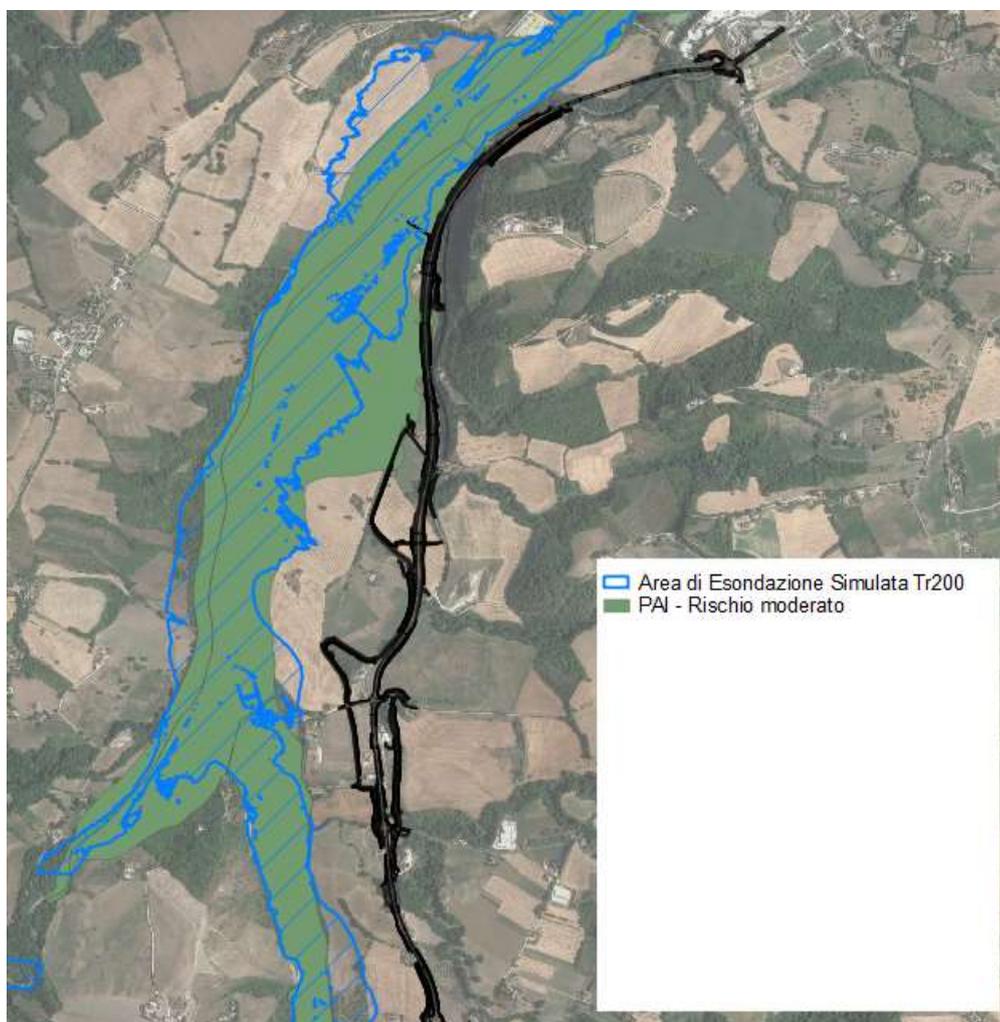


Figura 20: Sottobacini del bacino idrografico del Fiume Tenna ed infrastruttura di progetto