

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO**

**IDROLOGIA E IDRAULICA**

**RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE**

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

N	N	1	X	0	0	D	0	9	R	I	I	D	0	0	0	1	0	0	1	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	C.CESALI 	Sett. 2020	F.CABAS 	Sett. 2020	M.D'AVINO 	Sett. 2020	A. STOZZI Sett. 2020 

ITALFERR S.p.A.  
Opere Civili e gestione delle varianti  
Dott. Ing. Angelo Vittozzi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno  
N° A20783

## INDICE

1	PREMESSA .....	6
1.1	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	7
2	INQUADRAMENTO GENERALE .....	8
3	CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DELL'AREA DI INTERVENTO.....	9
3.1	STUDI IDROLOGICI ESISTENTI.....	13
4	ANALISI PLUVIOMETRICA .....	14
4.1	GENERALITÀ .....	14
4.1.1	<i>Tempi di ritorno di riferimento.....</i>	<i>14</i>
4.2	ELABORAZIONE STATISTICA DELLE REGISTRAZIONI PLUVIOMETRICHE .....	15
4.3	METODOLOGIA VA.P.I. "PIOGGE" – REGIONE CAMPANIA.....	19
4.4	CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI PROGETTO E DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI DRENAGGIO DELLA PIATTAFORMA FERROVIARIA E STRADALE.....	22
5	STIMA DELLE PORTATE AL COLMO .....	25
5.1	FORMULA RAZIONALE.....	25
5.2	METODOLOGIE VA.P.I. "PORTATE" – REGIONE CAMPANIA .....	31
5.3	VALORI DI PROGETTO.....	34
5.4	DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE PROVVISORIALI .....	39
5.5	CONSIDERAZIONI DI SINTESI.....	40
6	DETERMINAZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA .....	41
7	EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI.....	43
8	BIBLIOGRAFIA .....	49

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO NN1X	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 3 di 49

## INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 - Inquadramento della linea ferroviaria in progetto su ortofoto.</i>	8
<i>Figura 2 – Individuazione dei bacini idrografici attraversati dalla linea ferroviaria in progetto.</i>	10
<i>Figura 3 – Stazioni pluviometriche di riferimento per l’area di intervento.</i>	15
<i>Figura 4 – Area di intervento e suddivisione in sottozone pluviometriche – Progetto VAPI – Regione Campania.</i>	22
<i>Figura 5 – Confronto tra le curve di possibilità pluviometrica relative alle stazioni di misura di riferimento e ricavate dall’applicazione della metodologia Va.P.I. – Regione Campania.</i>	23
<i>Figura 6 – Copertura del suolo all’interno dei bacini idrografici di interesse (fonte: CLC, Ispra, 2012).</i>	26
<i>Figura 7 – Carta dei Complessi idrogeologici (fonte: Piano Territoriale Regionale - Campania).</i>	28
<i>Figura 8 – Torrente Fuorni: idrogrammi di piena di progetto.</i>	41
<i>Figura 9 – Fiume Picentino: idrogrammi di piena di progetto.</i>	42
<i>Figura 10 – Torrente Asa: idrogrammi di piena di progetto.</i>	42
<i>Figura 11 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).</i>	44
<i>Figura 12 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).</i>	45
<i>Figura 13 – Stazione pluviometrica di Salerno: serie storica di dati di altezza di pioggia con durata pari a 24 ore.</i>	46
<i>Figura 14 – Stazione di Salerno: serie storica “virtuale” (al 2090) di dati di altezza di pioggia con durata pari a 24 ore.</i>	47

## INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 – Caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici di interesse.</i>	11
<i>Tabella 2 – Elenco delle opere di attraversamento e dei manufatti idraulici previste in progetto.</i>	12
<i>Tabella 3 – Portata al colmo, per differenti tempi di ritorno, per i corsi d'acqua Torrente Fuorni, Fiume Picentino, Torrente Asa (fonte: P.S.A.I. – ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele).</i>	13
<i>Tabella 4 – Tempi di ritorno di riferimento.</i>	14
<i>Tabella 5 – Stazione pluviometrica di Salerno: dati di pioggia (periodo di osservazione 1950-2018).</i>	16
<i>Tabella 6 – Stazione pluviometrica di Pontecagnano: dati di pioggia (periodo di osservazione 1957-2018).</i>	17
<i>Tabella 7 – Stazione pluviometrica di Salerno: valori dei parametri a e n, per differenti tempi di ritorno.</i>	18
<i>Tabella 8 – Stazione pluviometrica di Pontecagnano: valori dei parametri a e n, per differenti tempi di ritorno.</i>	19
<i>Tabella 9 - Parametri del modello TCEV per l'intera Regione Campania.</i>	21
<i>Tabella 10 - Valori del fattore <math>K_T</math> per la Regione Campania.</i>	21
<i>Tabella 11 – Stazione di Salerno: valori dei parametri a e n, per differenti tempi di ritorno, per durate inferiori all'ora.</i>	24
<i>Tabella 12 – Stazione di Pontecagnano: valori dei parametri a e n, per differenti tempi di ritorno, per durate inferiori all'ora.</i>	24
<i>Tabella 13 – Valori del Curve Number (CN) per le differenti coperture del suolo del CLC al 4° livello (Elaborazione ADIS).</i>	27
<i>Tabella 14 – Metodo SCS (Curve Number): categorie di suolo.</i>	27
<i>Tabella 15 – Valori medi di CN assunti per i bacini idrografici di interesse.</i>	29
<i>Tabella 16 – Valori di riferimento del tempo di corrivazione, assunti per i bacini idrografici di interesse.</i>	30
<i>Tabella 17: Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate in Campania.</i>	31
<i>Tabella 18: valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita <math>K_T</math> per le portate in Campania, per alcuni valori del periodo di ritorno T.</i>	31
<i>Tabella 19 – Metodologia A: valori di portata al colmo (<math>T_r = 30</math> e 100 anni), per i bacini idrografici di interesse.</i>	35
<i>Tabella 20 – Metodologia A: valori di portata al colmo (<math>T_r = 200</math> e 300 anni), per i bacini idrografici di interesse.</i>	35

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
	<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO <b>NN1X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>D 09 RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0001 001</b>	REV. <b>A</b>

<i>Tabella 21 – Metodologia B, “regressione empirica”: valori di portata al colmo, per i bacini idrografici di interesse.</i>	36
<i>Tabella 22 – Metodologia B, “metodo razionale”: valori dei parametri del modello, per i bacini idrografici di interesse.</i>	36
<i>Tabella 23 – Metodologia B, “metodo razionale”: valori di portata al colmo, per i bacini idrografici di interesse.</i>	37
<i>Tabella 24 – Metodologia B, “modello geomorfoclimatico”: valori dei parametri, per i bacini idrografici di interesse.</i>	37
<i>Tabella 25 – Metodologia B, “modello geomorfoclimatico”: valori di portata al colmo, per i bacini idrografici di interesse.</i>	38
<i>Tabella 26 – Valori di progetto delle portate al colmo, per i bacini idrografici di interesse.</i>	38
<i>Tabella 27 – Valori di riferimento della “portata di cantiere” (Tr = 3 anni), per i bacini idrografici di interesse.</i>	40
<i>Tabella 28 – Valori medi di variazione di precipitazione massima giornaliera previste nell’area di intervento (ISPRA, 2015).</i>	46
<i>Tabella 29 – Stazione pluviometrica di Salerno: valori dei parametri a e n, per differenti tempi di ritorno, previsti al 2090.</i>	47

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
	<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO <b>NN1X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>D 09 RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0001 001</b>	REV. <b>A</b>

## 1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del Progetto Definitivo “*LINEA SALERNO – PONTECAGNANO AEROPORTO, COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO, TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO*”. L’intervento ha una estensione di circa 9 km e sarà realizzato in affiancamento alla esistente linea ferroviaria *SALERNO-BATTIPAGLIA*.

Il completamento della Metropolitana di Salerno in progetto si sviluppa all’interno del Bacino Regionale *Destra Sele*, attraversando una serie di corsi d’acqua, maggiori e minori, per un totale di 17 bacini idrografici.

E’ stata condotta dunque l’analisi idrologica dell’area di intervento ai fini della determinazione delle portate di riferimento per la verifica idraulica delle opere (viadotti e tombini idraulici) in progetto sui corsi d’acqua attraversati, nonché delle curve di possibilità pluviometrica per il dimensionamento delle opere di drenaggio della piattaforma stradale e ferroviaria.

Nel dettaglio, lo studio idrologico è stato eseguito secondo le seguenti fasi:

- studio della cartografia, della topografia e individuazione delle principali interferenze tra la linea ferroviaria in progetto e l’idrografia superficiale;
- perimetrazione dei bacini idrografici sottesi in corrispondenza del nuovo tracciato ferroviario e studio delle loro caratteristiche morfometriche;
- valutazione delle caratteristiche dei bacini e calcolo dei tempi di corrivazione mediante l’utilizzo di diverse formulazioni disponibili in letteratura;
- calcolo delle altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno mediante due differenti modelli statistici:
  - curva probabilistica di Gumbel
  - metodo VaPi-CNR per la regione Campania
- calcolo delle massime portate dei bacini idrografici mediante il metodo razionale e le formulazioni definite nell’ambito del Va.P.I. – Campania;
- valutazione degli idrogrammi di piena, relativamente ai corsi d’acqua maggiori;
- definizione dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica necessarie per il dimensionamento delle opere di drenaggio della piattaforma stradale e ferroviaria.

Sono state prese in considerazione anche le previsioni sui “*cambiamenti climatici*” riportate nello studio “*Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali*” condotto dall’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, 2015).

Le analisi inoltre sono state condotte in conformità a quanto previsto nell’ambito del *Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (P.S.A.I.) - Rischio Alluvioni - dell’ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele* (agg. 2017) e del *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico dell’Appennino Meridionale* (II ciclo di pianificazione, agg. Aprile 2020).

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
	<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO <b>NN1X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>D 09 RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0001 001</b>	REV. <b>A</b>

## 1.1 Riferimenti normativi

I principali riferimenti normativi per il presente progetto sono rappresentati dai seguenti strumenti di pianificazione:

- *Regio Decreto del 08/05/1904, n.368*
- *Regio Decreto del 25/07/1904 n.523*
- *Legge n. 183/1989, “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”*
- *D.M. del 14 febbraio 1997 “Direttive tecniche per l’individuazione e perimetrazione da parte delle Regioni a rischio idraulico”*
- *D.L. n. 180/1998 (Decreto Sarno)*
- *Legge n. 365/2000 “Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 12 ottobre 2000, n. 279, recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile” (Legge Soverato)*
- *D.Lgs. n. 152/2006 “Norma in materia ambientale”*
- *D.Lgs. n. 49/2010 “Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvioni”*
- *Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (P.S.A.I.) - Rischio Alluvioni - dell’ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele (agg. 2017) e relative Norme Tecniche di Attuazione*
- *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico dell’Appennino Meridionale (II ciclo di pianificazione, agg. Aprile 2020) e relative Norme Tecniche di Attuazione (NTA)*
- *Nuove Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC2018)*
- *Circolare del 21 gennaio 2019, n.7 del C.S.LL.PP, esplicativa delle NTC 2018*
- *Manuale di Progettazione delle opere ferroviarie (RFI, 2020)*

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE

L'intervento di completamento della Metropolitana di Salerno in progetto si sviluppa per circa 9 km all'interno del Bacino Regionale *Destra Sele*, attraversando una serie di corsi d'acqua, maggiori e minori, per un totale di 17 bacini idrografici interferiti.

Tra questi, il *Torrente Fuorni* (alla prog. 1+591), il *Fiume Picentino* (alla prog. 3+590), il *Torrente Asa* (alla prog. 6+860), il *Torrente Diavoloni* (alla prog. 7+931) rappresentano i corsi d'acqua di maggiore rilievo, in corrispondenza dei quali è prevista la realizzazione di quattro viadotti, rispettivamente *VI01*, *VI02*, *VI03*, *VI04*.

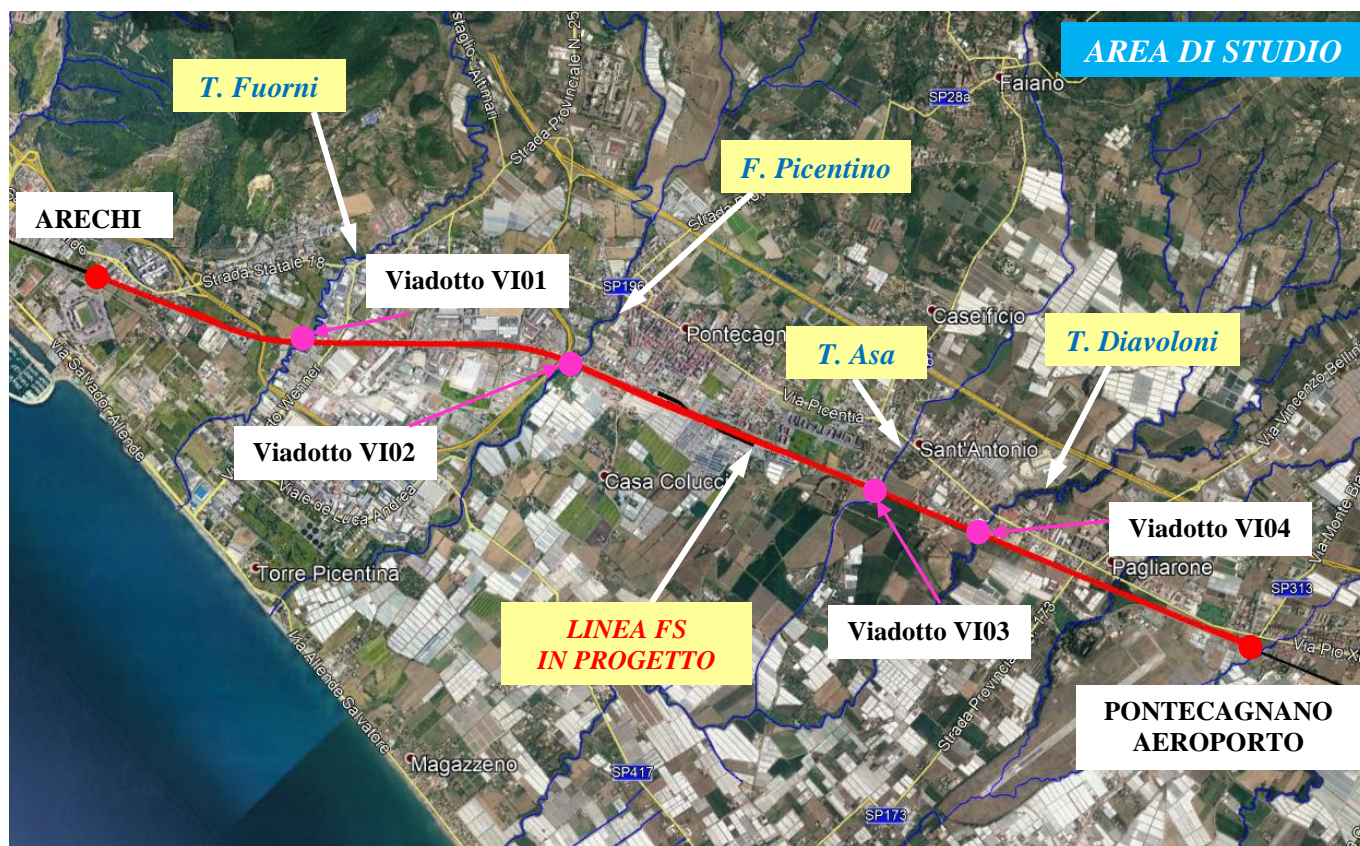


Figura 1 - Inquadramento della linea ferroviaria in progetto su ortofoto.



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
	<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO NN1X	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

### 3 CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DELL'AREA DI INTERVENTO

Dal punto di vista idrologico la linea ferroviaria in progetto interessa un territorio prevalentemente pianeggiante e/o collinare, a ridosso della linea di costa, in un ambito fortemente antropizzato/urbanizzato. Tale condizione ha richiesto un'attenta analisi delle aree di studio mirata all'individuazione delle grandezze idrologiche che meglio rappresentano la risposta attesa del bacino rispetto alle sollecitazioni meteoriche di progetto.

Come anzidetto, l'intervento si sviluppa all'interno del Bacino Regionale *Destra Sele*. Il principale corso d'acqua attraversato è il *Fiume Picentino*, che nasce alle falde del monte Accellica, una cima dei Monti Picentini, dalla Grotta dello Scalandrone. Lungo 25 km, dopo aver attraversato i comuni di Giffoni Valle Piana, Pontecagnano Faiano e Salerno, sfocia nel mare Tirreno. La superficie ( $S$ ) del bacino idrografico alla sezione di chiusura in corrispondenza della linea ferroviaria è pari a circa 140 km<sup>2</sup>.

Altri corsi d'acqua di rilievo sono il Torrente Fuorni ( $S = 30$  km<sup>2</sup> circa) e il Torrente Asa ( $S = 15$  km<sup>2</sup> circa).

Si segnala che negli ultimi anni il bacino del Torrente Fuorni è stato interessato da situazioni di dissesto idrogeologico e di degrado ambientale, conseguenti sia alle peculiari caratteristiche geologiche e geomorfologiche che lo caratterizzano, sia al forte carico antropico che, sempre più fortemente, insiste sul territorio, sia alla mancanza di idonei interventi di sistemazione idraulica ed idrogeologica, sia, infine, all'annosa carenza di interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, derivante, soprattutto, dalla scarsità delle risorse disponibili. In particolare, sia nel tratto medio che in quello vallivo del corso d'acqua si sono spesso verificati episodi di alluvione in occasione degli eventi meteorici più intensi, che hanno comportato danni considerevoli alle sponde e l'allagamento di ampie fasce di territorio, con conseguenti danni alle colture ed alle strutture delle aziende esistenti ai suoi margini.

I rimanenti corsi d'acqua attraversati dalla linea ferroviaria in progetto, ad eccezione del Torrente Frestola ( $S = 4$  km<sup>2</sup> circa) e del Torrente Diavoloni ( $S = 4$  km<sup>2</sup> circa), sono costituiti da piccoli impluvi con superficie scolante inferiore a 1 km<sup>2</sup>.

Al fine di ricostruire la complessa rete idrografica dell'area di studio e la delimitazione del bacino per ciascun attraversamento idraulico lungo la tratta ferroviaria oggetto di intervento si è fatto riferimento a:

- Cartografia Tecnica Regionale scala 1:5.000 in formato vettoriale;
- Rilievi celerimetrici dell'area
- Rilievo Lidar 1x1 m fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

L'analisi ha preso in considerazione anche la totalità delle opere idrauliche presenti lungo la linea esistente *Salerno- Battipaglia* al fine di garantirne la continuità idraulica. Le caratteristiche delle opere esistenti sono state desunte da rilievi topografici, ove disponibili; attività di sopralluogo, ove accessibile; database INRETE2000.

Nella figura seguente è riportata la delimitazione dei bacini idrografici attraversati dalla linea ferroviaria in progetto.



Figura 2 – Individuazione dei bacini idrografici attraversati dalla linea ferroviaria in progetto.

Nella tabella seguente sono invece riportate le caratteristiche morfometriche dei bacini di interesse (contraddistinti da un identificativo ID), ricavate dai dati cartografici sopra descritti, quali la lunghezza dell'asta principale ( $L$ ), la superficie ( $S$ ), la quota massima del bacino ( $H_{max}$ ), la quota in corrispondenza della sezione di chiusura ( $H_{min}$ ), la quota media ( $H_{med}$ ), la pendenza dell'asta principale ( $P_{med\_asta}$ ) e la pendenza media del bacino ( $P_{med\_bac}$ ).

Per maggiori dettagli, si rimanda all'elaborato grafico annesso, codificato NN1X00D09C3ID0001001A.

ID bacino	Corso d'acqua	S (km <sup>2</sup> )	L (km)	H <sub>max</sub> (m slm)	H <sub>min</sub> (m slm)	H <sub>med</sub> (m slm)	P <sub>med_bac</sub> (m/m)	P <sub>med_asta</sub> (m/m)
1		1.57	1.31	345	7	97.5	0.238	0.15
2	Torrente Fuorni	30.92	16.9	1175	17	398.9	0.369	0.044
3		0.24	0.7	33	19	25.98	0.015	0.0186
4		0.35	1	42	22	30.3	0.019	0.011
5		0.41	1.4	44	23	33.1	0.015	0.01
6		0.45	1.5	81	24	35.2	0.021	0.0113
7		0.89	2.1	88	24	38.3	0.032	0.0114
8	Fiume Picentino	141.7	25.4	1660	22	476.4	0.41	0.029
9		1.29	1.5	60	22	33.7	0.018	0.014
10		0.63	1.9	68	25	43.9	0.021	0.0142
11		0.95	2	109	25	43.9	0.027	0.0145
12		1.2	2.5	146	24	61	0.04	0.0176
13	Fosso Frestola	4.19	5.9	425	25	136.6	0.11	0.057
14		1.12	2	119	28	59	0.033	0.0135
15	Torrente Asa	14.81	8.8	585	25	177.41	0.14	0.052
16	Torrente Diavolone	3.97	5.8	225	38	89.5	0.065	0.022
17	T. Volta Ladri	1.57	1.4	80	44	59.8	0.02	0.01

Tabella 1 – Caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici di interesse.

Si precisa che dall'analisi dei dati e delle informazioni circa le opere presenti lungo la linea esistente *Salerno-Battipaglia* è emerso che per parte di queste (di ridotte dimensioni) non è stato possibile individuare l'incisione idraulica afferente, né delimitare il corrispondente bacino scolante. Si ritiene che siano opere che un tempo garantivano la continuità idraulica del reticolo minore (es. scoline di campo), ma che oggi hanno perso tale funzione per la mutata configurazione del territorio, conseguente all'urbanizzazione e all'antropizzazione dell'area.

Tuttavia, si riconosce a queste opere la funzione di trasparenza diffusa del rilevato della linea FS *Salerno-Battipaglia* e pertanto ne è stata salvaguardata in progetto l'esistenza, al fine di garantire al rilevato della "Metropolitana" un grado di trasparenza almeno pari a quello della linea ferroviaria esistente. Nello specifico, si tratta delle opere ricadenti nei bacini con ID pari a 1, 3, 4, 9, 10, 11, 13, riportate nella tabella seguente.

Inoltre, si precisa che, relativamente al bacino con ID = 17, il Torrente Volta Ladri non è attraversato dalla linea ferroviaria in progetto; tuttavia, è stato sviluppato lo studio idraulico al fine di verificare l'eventuale interferenza delle opere annesse alla limitrofa stazione "Aeroporto di Salerno" con le relative aree di esondazione.

Per maggiori dettagli, si rimanda agli elaborati specialistici NN1X00D78RIID0002002A, NN1X00D78RIID0002003A.

Bacino ID	Opera prevista in progetto
1	IN01 (tombino scatolare, pk 0+896)
	IN01bis (tombino circolare, pk 0+575)
	IN03 (tombino circolare, pk 1+055)
	IN04 (tombino scatolare, pk 1+253)
2	viadotto VI01 (Torrente Fuorni, pk 1+591)
3	IN05 (sifone, pk 1+851)
	IN06 (tombino, pk 1+871)
4	IN07 (sifone, pk 2+364)
	IN08 (tombino scatolare, pk 2+364)
5	IN09 (sifone, pk 2+653)
6	IN10 (sifone, pk 3+043)
7	IN11 (sifone, pk 3+210)
8	viadotto VI02 (Fiume Picentino, pk 3+590)
9	IN13 (tombino circolare, pk 3+974)
	IN14 (tombino circolare, pk 4+062)
	IN15 (tombino scatolare, pk 4+350)
	IN16 (tombino circolare, pk 4+578)
10	IN17 (sifone, pk 4+870)
	IN18 (sifone, pk 5+096)
11	IN19 (tombino circolare, pk 5+132)
	IN20 (tombino circolare, pk 5+143)
	IN21 (tombino scatolare, pk 5+439)
12	IN22 (tombino scatolare, pk 5+613)
13	IN23 (tombino scatolare, pk 5+855)
	IN24 (tombino scatolare, pk 6+042)
	IN28 (tombino scatolare, Fosso Frestola, pk 6+071)
	IN25 (tombino scatolare, pk 6+208)
	IN26 (tombino scatolare, pk 6+378)
14	IN27 (tombino scatolare, pk 6+605)
15	viadotto VI03 (Torrente Asa, pk 6+860)
16	viadotto VI04 (Torrente Diavoloni, pk 7+931)
17	nessuna opera - fuori intervento (Torrente Volta dei Ladri)

Tabella 2 – Elenco delle opere di attraversamento e dei manufatti idraulici previste in progetto.

### 3.1 Studi idrologici esistenti

Con riferimento ai documenti del *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.S.A.I.) - Rischio Alluvioni - dell'ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele*, si riportano nella tabella seguente, a titolo di confronto e verifica delle analisi idrologiche sviluppate nell'ambito del presente progetto descritte nel capitolo successivo, i valori di portata al colmo, per differenti tempi di ritorno ( $T_r$ ), disponibili per i corsi d'acqua *Torrente Fuorni*, *Fiume Picentino* e *Torrente Asa*.

Corso d'acqua	Portata (mc/s)			
	$T_r = 30$ anni	$T_r = 100$ anni	$T_r = 200$ anni	$T_r = 300$ anni
<i>Torrente Fuorni</i>	-	-	206	221
<i>Fiume Picentino</i>	327	432	-	529
<i>Torrente Asa</i>	151	200	-	244

Tabella 3 – Portata al colmo, per differenti tempi di ritorno, per i corsi d'acqua *Torrente Fuorni*, *Fiume Picentino*, *Torrente Asa* (fonte: P.S.A.I. – ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele).

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
	<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO <b>NN1X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>D 09 RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0001 001</b>	REV. <b>A</b>

## 4 ANALISI PLUVIOMETRICA

### 4.1 Generalità

L'analisi delle precipitazioni intense è stata eseguita mediante il confronto dei risultati derivanti dall'applicazione di due metodologie:

- procedura *Va.P.I.* “Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia”, in particolare “Sintesi del rapporto regionale Campania”;
- elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche disponibili mediante il metodo di Gumbel.

Nello specifico, il metodo *Va.P.I.* si basa sull'impiego di piogge estreme regionalizzate nell'ambito degli studi del GNDCI (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche) condotti tramite il modello probabilistico TCEV (Two- Component Extreme Value). I dati pluviometrici analizzati sono desunti dalle pubblicazioni del Servizio Idrografico Italiano (oggi SIMN) relative ai Compartimenti di Catanzaro, Bari e Napoli, e l'archivio dei dati pluviometrici, basato sulle citate pubblicazioni, e aggiornato al 1987. L'elaborazione statistica mediante il metodo di Gumbel prende in esame le serie storiche dei dati di pioggia, aggiornate alle recenti registrazioni (fino al 2018), riferite alle stazioni pluviometriche di interesse, fornite dal Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile della Regione Campania.

#### 4.1.1 Tempi di ritorno di riferimento

La scelta dei tempi di ritorno di riferimento per il calcolo delle portate di progetto delle varie tipologie di opere idrauliche è stata effettuata in conformità a quanto previsto nel Manuale di Progettazione Ferroviaria (RFI, 2020) e nelle Norme Tecniche delle Costruzioni (D.M. 17 Gennaio 2018), nonché nella relativa circolare esplicativa n. 7 del 21 gennaio 2019 “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”. L'ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele, ad oggi facente parte del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale, nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) e nelle relative Norme Tecniche di Attuazione (NTA) fa specifico riferimento a quanto riportato nelle “Norme Tecniche per le Costruzioni 2018”. La tabella seguente sintetizza la scelta effettuata per tipologia di opere.

	<b>Manuale di progettazione ferroviaria (RFI, 2020)</b>	<b>NTC 2018 e relativa circolare esplicativa (n.7/2019)</b>
<b>Drenaggio di piattaforma (cunette, tubazioni, etc)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piattaforma ferroviaria : <math>Tr = 100</math> anni</li> <li>• Piattaforma stradale e/o deviazioni stradali: <math>Tr = 25</math> anni</li> </ul>	-
<b>Manufatti di attraversamento (ponti/viadotti e tombini)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Linea ferroviaria: <math>Tr = 200</math> anni</li> <li>• Deviazioni stradali: <math>Tr = 200</math> anni</li> </ul>	$Tr = 200$ anni

Tabella 4 – Tempi di ritorno di riferimento.

Inoltre, in analogia alla definizione delle classi di pericolosità idraulica nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico - P.S.A.I. (per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato NN1X00D09RIID0002001A), per i bacini di interesse sono valutate anche le portate al colmo corrispondenti ai tempi di ritorno di **30, 100 e 300 anni**.

## 4.2 Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche

Sono prese in considerazione le registrazioni pluviometriche presso le stazioni di misura di *Salerno* e di *Pontecagnano*, di riferimento per l'area di intervento.

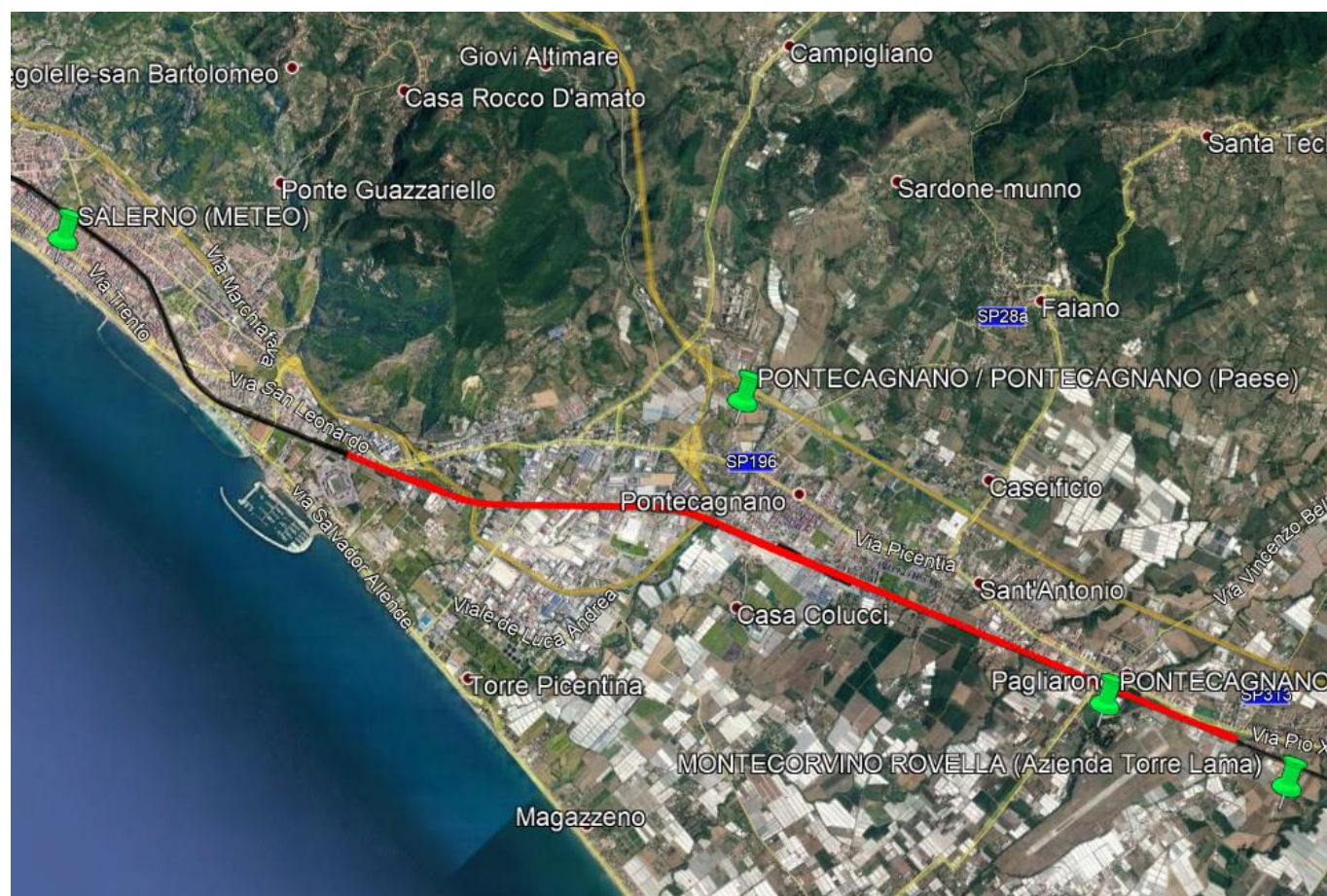


Figura 3 – Stazioni pluviometriche di riferimento per l'area di intervento.

Si è proceduto quindi all'elaborazione statistica delle serie storiche di altezza di pioggia per 1, 3, 6, 12, 24 ore, registrate e disponibili presso le stazioni di misura sopra individuate, secondo il modello di Gumbel.

Tale metodo prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale al campione di dati di precipitazione (nel caso specifico, **n. 57 osservazioni, nel periodo 1950-2018, per la stazione di misura di Salerno, e n. 27 osservazioni, nel periodo 1957-2018, per la stazione di Pontecagnano**) intesi come variabili indipendenti.

Nello specifico, la funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

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

Introducendo la variabile ridotta  $y$ :

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

si ha la forma canonica:

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

I parametri  $\alpha$  e  $u$  sono legati alla media e alla varianza della popolazione. Sfruttando le informazioni contenute nel campione a disposizione si procede alla loro stima seguendo diversi metodi. Si otterranno parametri diversi per ogni durata di precipitazione.

Stazione di Salerno											
Anno/ore	1	3	6	12	24	Anno/ore	1	3	6	12	24
1950	22.0	58.5	77.5	80.2	82.2	1983	16.0	28.6	31.6	31.6	53.8
1951	19.3	29.0	34.5	48.0	50.0	1984	35.0	36.0	46.0	46.0	72.0
1952	19.5	23.0	25.0	30.5	47.5	1985	60.0	120.0	160.0	210.0	236.6
1953	30.0	90.0	185.0	207.0	207.5	1986	38.6	45.6	46.4	53.0	81.0
1955	26.0	43.0	52.0	64.3	81.4	1988	80.8	97.0	102.2	123.8	153.6
1956	19.3	20.0	26.6	44.0	45.5	1990	37.4	59.6	60.4	79.6	89.4
1957	21.0	21.2	27.0	34.0	50.0	1993	18.6	27.8	46.0	50.2	74.8
1958	34.0	40.0	45.0	48.0	50.0	1995	30.2	41.6	42.6	52.2	71.0
1959	21.0	39.0	45.0	53.0	60.0	1996	44.0	79.8	84.8	108.8	134.4
1960	50.2	64.2	108.0	108.2	108.2	1997	24.4	29.8	40.0	58.8	76.6
1961	45.0	68.0	72.0	82.0	99.0	2001	22.6	37.2	59.8	82.6	84.8
1962	23.0	25.0	52.0	62.0	64.8	2002	30.2	38.2	47.0	64.2	81.6
1963	45.0	76.0	90.0	120.0	122.4	2003	47.6	63.8	99.4	122.8	128.0
1965	50.0	53.0	61.0	62.0	93.8	2004	42.6	51.8	71.8	81.4	103.2
1966	70.0	98.6	117.0	127.0	128.6	2005	35.0	66.4	77.2	78.8	80.2
1969	77.0	117.0	122.6	125.6	125.6	2006	38.0	54.8	71.8	100.2	138.2
1970	49.2	60.8	66.0	114.0	115.4	2007	38.8	71.6	75	75.8	76.2
1971	40.0	77.0	100.8	107.0	120.0	2008	23.4	36.6	41.2	44.2	69.8
1972	27.0	37.0	49.0	50.8	56.2	2009	37.6	68.6	75.8	76.2	77
1973	21.4	28.8	41.4	52.6	76.0	2010	33.0	44.6	48.0	62.4	76.2
1974	23.0	23.6	41.4	41.4	66.4	2011	30.6	40.2	43.6	69.0	82.8
1975	29.6	46.2	46.2	52.2	57.2	2012	42.0	51.4	56.0	64.4	86.0
1976	44.0	62.4	71.0	87.6	92.2	2013	25.8	41.8	46	57.6	62.8
1977	25.0	37.0	48.0	55.0	70.8	2014	41.2	61.2	70.2	77	90
1978	23.0	41.6	43.8	52.0	92.6	2015	35.6	50.8	54	93.6	108.4
1979	33.0	75.2	77.4	78.0	107.0	2016	36.8	41.4	55.6	76.6	78.8
1980	28.0	39.0	72.0	96.2	126.0	2017	22	38.8	47	68	90.4
1981	64.0	105.0	127.0	141.0	147.0	2018	35.2	36.6	42.0	58.2	58.2
1982	67.0	79.0	80.4	83.8	120.0						

Tabella 5 – Stazione pluviometrica di Salerno: dati di pioggia (periodo di osservazione 1950-2018).

Per una data durata di precipitazione, si ordinano le N altezze di precipitazione in ordine crescente e si numerano da 1 ad N. Ad ogni altezza di precipitazione si associa la relativa frequenza cumulata di non superamento, calcolata con la formula di Weibull:



$$F_i = \frac{i}{N+1}$$

A denominatore si ha N+1 in luogo di N per evitare che il più grande evento verificatosi sia caratterizzato da una frequenza cumulata di non superamento pari a 1: valore che rappresenta l'evento impossibile da superare. Il metodo di Gumbel per la stima dei parametri della distribuzione si basa sull'ipotesi di confondere la probabilità di non superamento di una certa altezza di precipitazione (relativa ad una popolazione) con la sua frequenza cumulata di non superamento (che si riferisce, invece ad un campione della popolazione suddetta), cioè:

$$F(h_i) \cong F_i$$

Stazione di Pontecagnano											
Anno/ore	1	3	6	12	24	Anno/ore	1	3	6	12	24
1957	26.0	72.5	73.5	73.5	101.0	2006	31.0	46.2	60.0	85.4	99.6
1958	20.0	35.5	49.0	58.0	60.0	2007	30.8	49.0	53.4	55.0	60.2
1972	31.0	40.6	42.2	47.0	64.2	2008	20.0	29.2	31.2	38.8	55.0
1980	37.0	48.6	52.4	54.4	62.6	2009	35.0	46.6	50.0	54.6	72.2
1981	24.0	35.0	37.6	40.0	47.0	2010	53.6	112.8	141.4	150.0	158.2
1982	34.0	60.6	63.6	63.6	63.6	2011	39.0	52.8	70.2	76.6	89.0
1990	46.4	46.4	74.2	74.6	74.6	2012	31.4	41	63	69.6	71.4
1991	25.6	25.6	25.6	25.6	25.6	2013	43.4	81.8	82	82	82.2
1993	21.8	23.4	26.4	42.2	50.4	2014	28.8	30.8	39.6	46.8	70.2
1997	18.4	27.8	32.6	37.8	53.8	2015	46.4	76.2	91.8	101.2	123
2002	42.4	54.2	76.8	99.4	131.4	2016	30.0	43.2	55.2	79.4	96.6
2003	20.6	29.4	31.2	39.6	50.4	2017	33.6	41.0	48.2	57.2	63.2
2004	24.8	35.4	51	62.4	69.2	2018	45.6	54.2	69.8	71.0	71.6
2005	38.8	39.0	59.4	60.4	61.2						

Tabella 6 – Stazione pluviometrica di Pontecagnano: dati di pioggia (periodo di osservazione 1957-2018).

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

$$F(h_i) = F_i = F(y) = e^{-e^{-y}} \quad \text{e} \quad F_i = \frac{i}{N+1} \Rightarrow y_i = -\ln \left[ -\ln \left( \frac{i}{N+1} \right) \right]$$

Con questa assunzione, la variabile ridotta  $y$  dipende soltanto da  $h$  (= precipitazione) secondo la relazione lineare:

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

La stima dei parametri  $\alpha$  e  $u$  si ottiene sfruttando il metodo dei momenti, in base al quale i parametri della distribuzione vengono ottenuti eguagliando la media campionaria alla media della distribuzione della popolazione. Si ottengono quindi per  $\alpha$  e  $u$  le seguenti espressioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{S_h} \quad u = m_h - \frac{0.577}{\alpha}$$

Richiamando il concetto di tempo di ritorno,  $T_r$ , cioè il tempo che mediamente trascorre tra la realizzazione di un evento e di un altro di entità uguale o superiore, si riesce ad ottenere l'espressione che esprime le altezze di precipitazione in funzione del tempo di ritorno:

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

$$e^{-e^{-\alpha(h-u)}} = \frac{T_r - 1}{T_r} \Rightarrow h = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[ -\ln \left( \frac{T_r - 1}{T_r} \right) \right]$$

E' stata quindi ricavata l'espressione analitica della funzione  $h(T_r, \tau)$  che fornisce il valore di precipitazione ( $h$ ) in funzione del tempo di ritorno per una prefissata durata di precipitazione. Si vuole ora trovare un'espressione analitica che, per un dato tempo di ritorno, fornisca l'altezza di precipitazione in funzione della durata.

A questo scopo, si assegna alla funzione  $h(T_r, \tau)$  la seguente forma:

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

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica (o climatica). L'intensità di precipitazione  $j(T_r, \tau)$  è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

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

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

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

Nelle tabelle seguenti, sono dunque riportati i valori  $a$  e  $n$  (per durate di pioggia superiori all'ora), relativamente alle stazioni di misura considerate, per differenti tempi di ritorno ( $T_r$ ), in accordo alle normative e ai regolamenti attualmente in vigore.

Stazione di Salerno		
TR (anni)	a	n
25	71.1	0.296
30	73.5	0.296
100	89.2	0.296
200	98.2	0.296
300	103.4	0.296

Tabella 7 – Stazione pluviometrica di Salerno: valori dei parametri  $a$  e  $n$ , per differenti tempi di ritorno.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
	<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO NN1X	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

Stazione di Pontecagnano		
TR (anni)	a	n
25	57.9	0.288
30	59.6	0.289
100	70.5	0.295
200	76.7	0.298
300	80.4	0.299

Tabella 8 – Stazione pluviometrica di Pontecagnano: valori dei parametri a e n, per differenti tempi di ritorno.

### 4.3 Metodologia Va.P.I. “piogge” – Regione Campania

Il Progetto Va.P.I. sulla Valutazione delle Piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, ha come obiettivo quello di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali.

Scopo di tale studio è quello di fornire uno strumento ed una guida ai ricercatori ed ai tecnici operanti sul territorio, per comprendere i fenomeni coinvolti nella produzione delle portate di piena naturali e per effettuare previsioni sui valori futuri delle piene in una sezione di un bacino idrografico non regolato.

Il rapporto nazionale presenta, in maniera sintetica, i risultati ottenuti in diverse aree del territorio nazionale, per ognuna delle quali viene mostrato (attraverso una sintesi dei 'Rapporti Regionali') come utilizzare l'intera procedura sviluppata. Il risultato complessivo sembra indicare che l'uso del presente Rapporto permette di ottenere stime delle portate di piena di assegnata frequenza sufficientemente attendibili per scopi di progettazione e pianificazione del territorio.

Il modello sviluppato si basa sull'ipotesi di doppia componente dei valori estremi T.C.E.V. (Two Components Extreme Value) che è stato testato su quasi tutto il territorio nazionale, per il quale sono stati anche indicati i valori dei parametri della distribuzione.

L'adozione della distribuzione T.C.E.V. è fondata sull'ipotesi che agiscano due meccanismi differenti che generano eventi pluviometrici tra loro indipendenti:

- i primi, definiti appartenenti alla componente ordinaria o di base, risultano più frequenti ma con valori delle altezze di pioggia mediamente meno elevati;
- i secondi, appartenenti alla componente straordinaria, risultano meno frequenti ma con valori delle altezze di pioggia mediamente più elevati.

Si riportano nel seguito gli aspetti applicativi di tale metodo, da seguire per determinare la legge di crescita.

Indicati con:

- $k_t = h_t/\mu_t$  la variabile standardizzata, definita come rapporto tra il massimo annuale dell'altezza di pioggia  $h_t$ , di durata  $t$ , e il suo valore medio  $\mu_t$ ;
- $T$  il periodo di ritorno espresso in anni;
- $K_T$  il valore assunto dalla variabile standardizzata  $k_t$  per assegnato periodo di ritorno  $T$ , indicato come fattore di crescita;

la funzione di distribuzione di probabilità cumulata  $F\{K_T\}$  del modello T.C.E.V. risulta:

$$T = \frac{1}{1 - F\{K_T\}} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 \cdot e^{-\eta K_T} - \Lambda_* \cdot \Lambda_1^{1/\vartheta_*} \cdot e^{-\eta K_T / \vartheta_*})} \quad \text{Eq. 3-1}$$

in cui  $\Lambda_1$ ,  $\eta$ ,  $\Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\vartheta_*}}$  e  $\vartheta_* = \vartheta_2/\vartheta_1$  sono i parametri della distribuzione aventi il seguente significato fisico:

- $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  rappresentano il numero medio annuo di eventi pluviometrici indipendenti appartenenti, rispettivamente, alla componente base ed alla componente straordinaria;
- $\vartheta_1$  e  $\vartheta_2$  rappresentano il valore medio dell'altezza di pioggia di durata  $t$ , rispettivamente, per la componente base e per la componente straordinaria;
- $\eta$  dipende dai parametri precedentemente indicati.

In tale ottica, i parametri  $\Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\vartheta_*}}$  e  $\vartheta_* = \vartheta_2/\vartheta_1$ , sono parametri adimensionali dipendenti solo dai coefficienti di asimmetria e, pertanto, stimabili solo sulla base di indagini regionali ad amplissima scala (*Analisi Regionale di I° livello*).

Per la valutazione dei parametri  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$ , il metodo di regionalizzazione proposto dal programma VAPI della Regione Campania considera tre livelli di regionalizzazione, individuando:

- al primo livello, regioni omogenee rispetto ai parametri  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$ ;
- al secondo livello, zone omogenee anche rispetto al parametro  $\Lambda_I$ ;
- al terzo livello, sottozone omogenee rispetto alla dipendenza della media  $\mu_t$  da alcuni fattori locali (quota, distanza dal mare, orientamento dei versanti, ecc.).

I parametri ottenuti per l'intera Regione Campania sono riportati nella tabella seguente.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
	<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO <b>NN1X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>D 09 RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0001 001</b>	REV. <b>A</b>

$\vartheta^*$	$\Lambda^*$	$\Lambda_1$	$\eta$
2,136	0,224	41	4,688

Tabella 9 - Parametri del modello TCEV per l'intera Regione Campania.

Nella tabella seguente si riportano invece i corrispondenti valori del fattore di crescita  $K_T$ , in funzione del periodo di ritorno  $T$ , per i valori dei parametri sopra riportati:

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
$K_T$	0,93	1,22	1,43	1,65	1,73	1,90	1,98	2,26	2,55	2,95	3,26

Tabella 10 - Valori del fattore  $K_T$  per la Regione Campania.

Le leggi di probabilità pluviometriche definiscono come varia la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia su una fissata durata  $d$ ,  $m[I(d)]$ , con la durata stessa. Tali leggi devono essere strettamente monotone, in quanto mediamente l'intensità di pioggia media per una durata superiore deve essere necessariamente minore di quella per una durata inferiore. Inoltre, per una durata molto piccola devono raggiungere un valore finito, rappresentante al limite per  $d$  che tende a zero, la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia istantanea. Per la Regione Campania è stata adottata una espressione del tipo:

$$m[I(d)] = m(I_0) / \left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^\beta$$

in cui  $d$  e  $d_c$  vanno espressi in ore,  $m[I_0]$  e  $m[I(d)]$  in mm/ora e  $\beta$  vale:

$$\beta = C - D * Z$$

con  $Z$  pari all'altitudine o alla quota media di riferimento.

La tratta ferroviaria in progetto, così come i bacini idrografici attraversati, si colloca nella sottozona "A2", come mostrato nella figura seguente.

I parametri per la stima delle leggi di pioggia di progetto possono essere così agevolmente individuati:

Area omogenea	n. staz.	$\mu(h_0)$ (mm/ora)	$d_c$ (ore)	C	$D * 10^5$
1	21	77.08	0.3661	0.7995	8.6077
2	18	83.75	0.3312	0.7031	7.7381
3	11	116.7	0.0976	0.7360	8.7300
4	7	78.61	0.3846	0.8100	24.874
5	12	231.8	0.0508	0.8351	10.800
6	28	87.87	0.2205	0.7265	8.8476

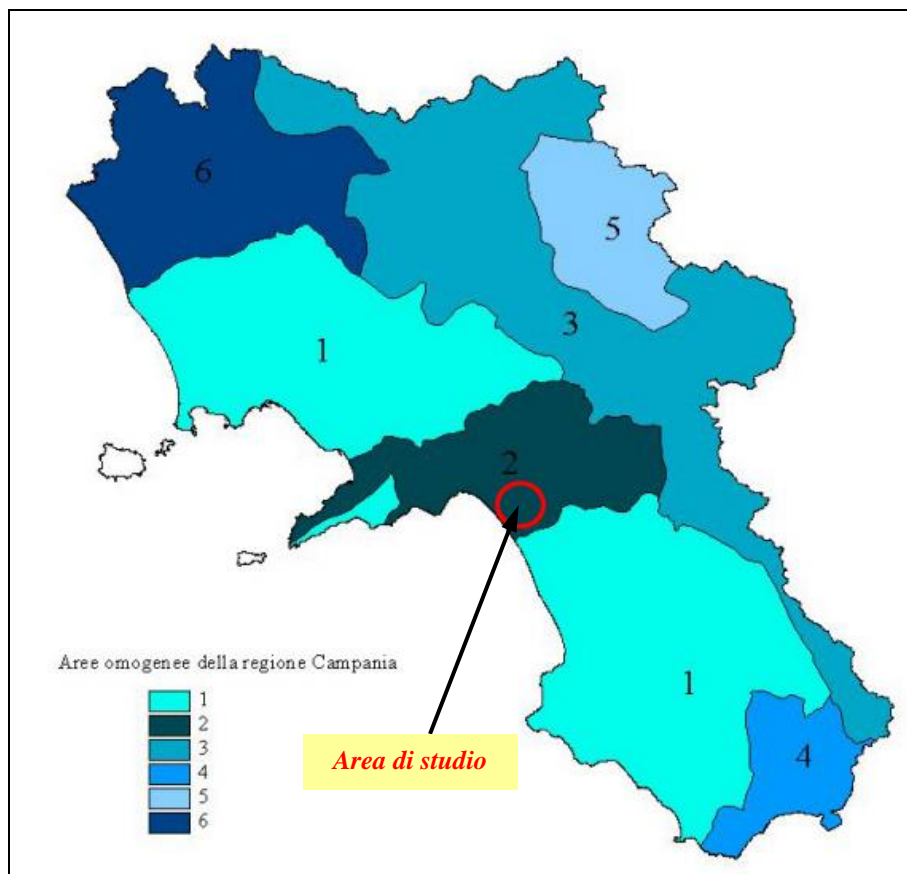


Figura 4 – Area di intervento e suddivisione in sottozone pluviometriche – Progetto VAPI – Regione Campania.

#### 4.4 Curve di possibilità pluviometrica di progetto e di riferimento per il dimensionamento delle opere di drenaggio della piattaforma ferroviaria e stradale

Di seguito, si riporta il confronto (a titolo esemplificativo per un tempo di ritorno di 200 anni) tra le curve di possibilità pluviometrica (per durate superiori all'ora) relative alle stazioni di misura considerate e ricavate dall'applicazione della metodologia Va.P.I. "piogge" – Regione Campania.

Nello specifico, le curve di possibilità pluviometrica (CPP) relative alla stazione di misura di Salerno restituiscono valori dell'altezza di pioggia simili a quelli ottenuti dalle CPP dedotte dalla metodologia Va.P.I. "piogge" – Regione Campania, più cautelativi inoltre di quelli ricavabili dalle CPP relative alla stazione di misura di Pontecagnano.

Ai fini del dimensionamento delle opere di drenaggio della piattaforma ferroviaria e stradale, in ragione della ridotta estensione dell'intervento, si è fatto riferimento alle curve di possibilità pluviometrica (sito-specifiche) delle stazioni di misura di riferimento, i cui parametri sono riportati in Tabella 7 e Tabella 8.

Come sopra specificato, tali parametri (e quindi le corrispondenti CPP) sono applicabili per eventi con durate superiori all'ora. In bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di concentrazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni che interessano sono in realtà le piogge intense di durata breve con tempi inferiori all'ora. Tale aspetto assume una notevole importanza nel dimensionamento dei sistemi di drenaggio di piattaforma. L'utilizzo delle leggi di pioggia valide per durate maggiori dell'ora risulta spesso troppo cautelativa e poco rappresentativa.

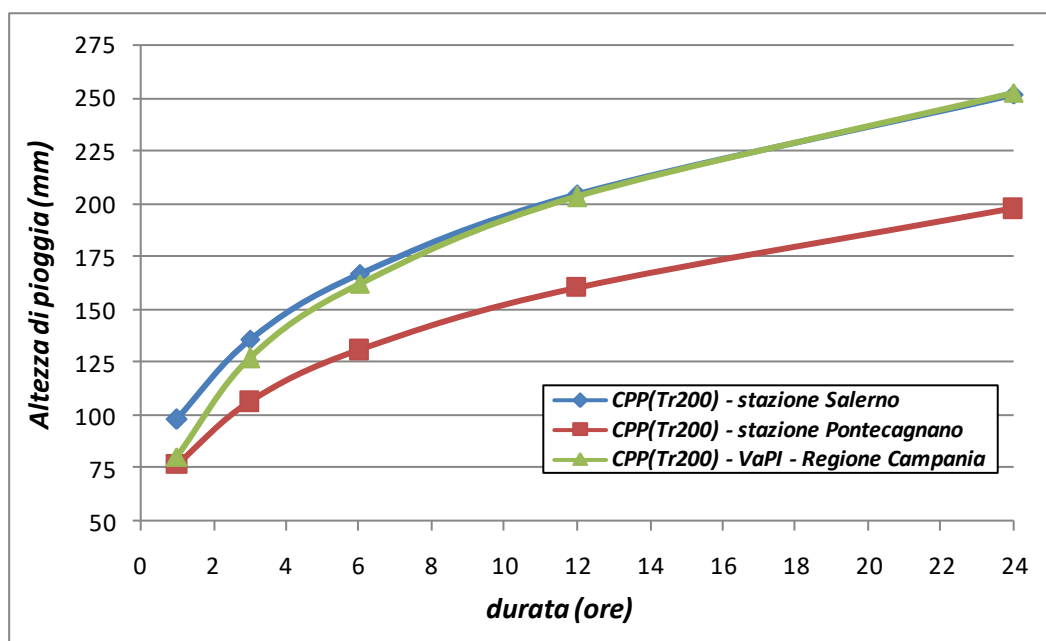


Figura 5 – Confronto tra le curve di possibilità pluviometrica relative alle stazioni di misura di riferimento e ricavate dall'applicazione della metodologia Va.P.I. – Regione Campania.

Nel caso in esame, non sono disponibili dati storici relativi a registrazioni di eventi meteorici di breve durata (inferiori all'ora) e forte intensità, da poter rielaborare statisticamente.

E' necessario quindi ricorrere a relazioni disponibili nella letteratura tecnica. Nello specifico, si è fatto riferimento allo studio condotto da Ferro & Bagarello (1996), secondo il quale per la Regione Campania è possibile ricorrere alla seguente relazione

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

con  $h_t$  = altezza di pioggia di durata pari a  $t$ ;  $h_{60}$  = altezza di pioggia oraria;  $s = 0.310$  (valore tipico per la Regione Campania).

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
	<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO <b>NN1X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>D 09 RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0001 001</b>	REV. <b>A</b>

Rielaborando quindi le *CPP* determinate per durate superiori all'ora mediante la relazione proposta da Ferro & Bagarello (1996), si ottengono le seguenti *CPP* (parametri *a* e *n*) valide per durate inferiori all'ora.

Stazione di Salerno		
<i>TR (anni)</i>	<i>a</i>	<i>n</i>
25	66.53	0.310
30	68.70	0.310
100	82.88	0.310
200	91.00	0.310
300	95.74	0.310

Tabella 11 – Stazione di Salerno: valori dei parametri *a* e *n*, per differenti tempi di ritorno, per durate inferiori all'ora.

Stazione di Pontecagnano		
<i>TR (anni)</i>	<i>a</i>	<i>n</i>
25	51.99	0.310
30	53.37	0.310
100	62.37	0.310
200	67.53	0.310
300	70.54	0.310
500	74.33	0.310

Tabella 12 – Stazione di Pontecagnano: valori dei parametri *a* e *n*, per differenti tempi di ritorno, per durate inferiori all'ora.

Per maggiori dettagli circa la scelta delle curve di possibilità pluviometrica di riferimento, nonché per il dimensionamento delle opere di drenaggio della piattaforma ferroviaria e stradale, si rimanda all'elaborato specialistico NN1X00D78RIID0002003A.



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
	<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO <b>NN1X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>D 09 RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0001 001</b>	REV. <b>A</b>

## 5 STIMA DELLE PORTATE AL COLMO

### 5.1 Formula razionale

La formula razionale o il metodo cinematico costituisce una delle metodologie più comuni e utilizzate per il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione incidente su un determinato bacino. Il metodo si basa sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

1. la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
2. la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
3. il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è valutata come:

$$Q_{\max} = 278 \frac{\varphi \cdot S \cdot h}{\tau_c}$$

in cui  $Q_{\max}$  = portata di piena [m<sup>3</sup>/sec];  $\varphi$  = coefficiente di deflusso;  $h$  = pioggia netta [m];  $S$  = area del bacino [km<sup>2</sup>];  $\tau_c$  = tempo di corrivazione [ore].

Il coefficiente di deflusso è valutato applicando il metodo del *Curve Number* (SCS – CN method), sulla base della copertura del suolo (all'interno dei singoli bacini in esame) riportata nel Corine Land Cover (CLC) al 4° Livello (Ispra, 2012): in particolare, ad ogni codice del CLC relativo ad una specifica copertura del suolo (Figura 6) è stato assegnato il relativo CN, dedotto da tabelle di conversione disponibili in letteratura, di seguito riportate (vedi Tabella 13).

Il corrispondente coefficiente di deflusso ( $\varphi$ ) può essere dunque valutato come:

$$\varphi = \frac{P_e}{P}$$

con  $P$  = altezza di pioggia di progetto corrispondente ad un tempo di ritorno  $Tr$  e una durata  $\tau_c$ ,  $P = a \cdot \tau_c^n$ ;  $P_e$  = pioggia efficace, dipendente dal CN, valutabile come:  $P_e = (P - 0.2 \cdot S)^2 / (P + 0.8 \cdot S)$ ;  $S = 254 \cdot (100 / CN - 1)$ .

Per la definizione della categoria di suolo in accordo alla classificazione riportata in Tabella 14, si è fatto riferimento alla mappa dei *Complessi Idrogeologici del Piano Territoriale Regionale* (PTR) della Campania (Figura 7).

Nello specifico, il suolo che caratterizza i bacini idrografici di interesse è riconducibile essenzialmente a tre complessi idrogeologici: “*Complesso alluvionale costiero*”, “*Complesso dolomitico-marnoso dell'unità Picentino-Taburno*” e “*Complesso argilloso-calcareo dell'unità Sicilidi*”.

Tali complessi idrologici sono caratterizzati rispettivamente da permeabilità mediamente variabile (categoria di suolo B o C), permeabilità elevata per fessurazione e carsismo (categoria di suolo A) e permeabilità bassa (categoria di suolo D).

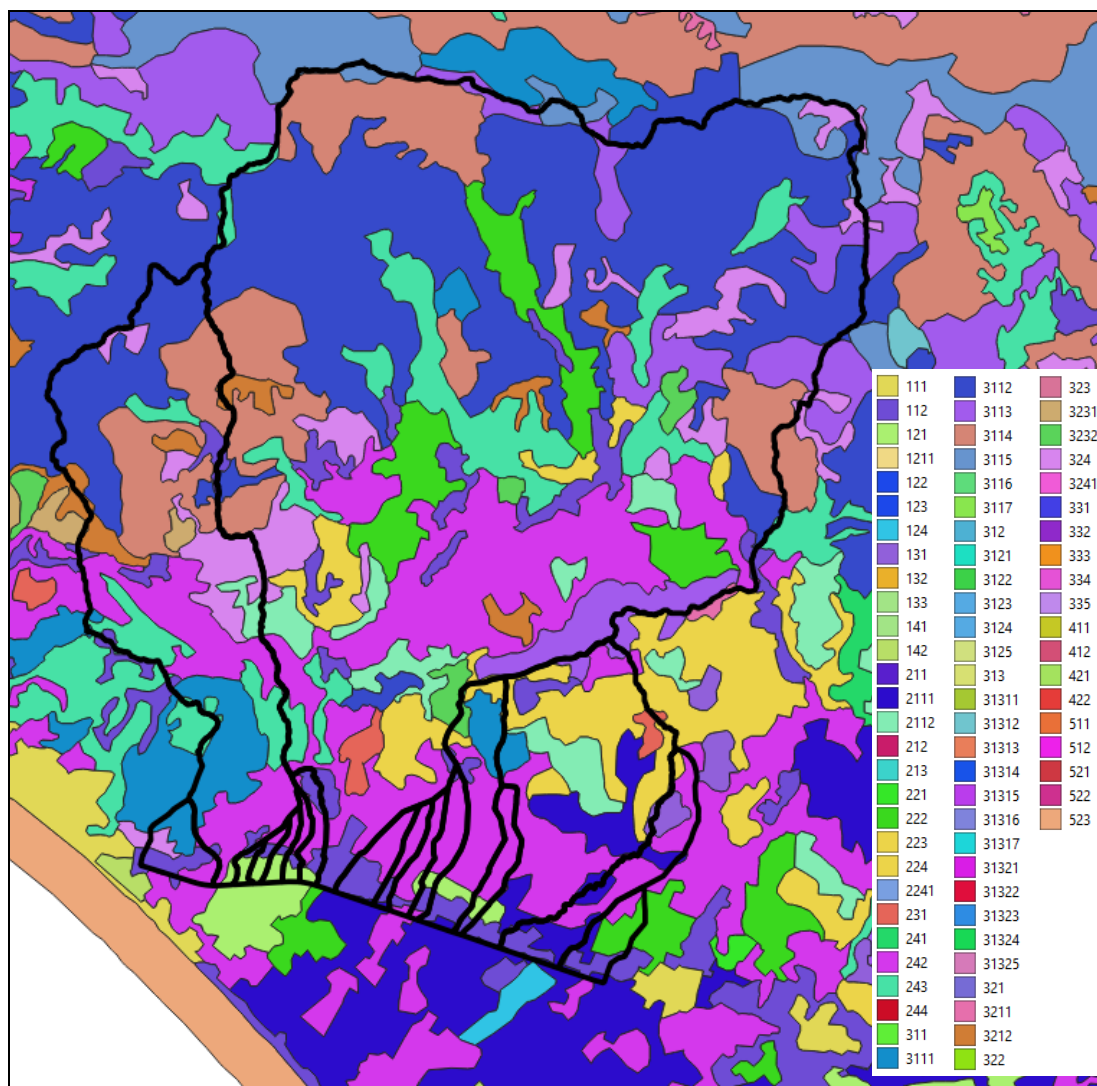


Figura 6 – Copertura del suolo all'interno dei bacini idrografici di interesse (fonte: CLC, Ispra, 2012).

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D	Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
AREE PORTUALI	123	98	98	98	98	PRATI ARTIFICIALI. COLTURE					
AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	124	92	93	94	95	FORAGGERE OVE SI PUÒ RICONOSCERE					
AREE ESTRATTIVE	131	89	92	94	95	UNA SORTA DI AVVICENDAMENTO CON I					
DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI	132	90	92	94	95	SEMINATIVI E UNA CERTA					
CANTIERI	133	90	92	94	95	PRODUTTIVITÀ. SONO SEMPRE					
AREE VERDI URBANE	141	65	74	81	84	POTENZIALMENTE RICONVERTITI A					
CIMITERI	143	57	77	85	89	SEMINATIVO. POSSONO ESSERE					
VIGNETI	221	72	81	88	91	RICONOSCIBILI MURETTI O MANUFATTI	2112	67	71	81	89
FRUTTEI E FRUTTI MINORI	222	67	78	85	89	SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE					
OLIVETI	223	72	81	88	91	ORTICOLE A PIENO CAMPO	2121	66	77	85	89
ARBORICOLTURA CON ESSENZE						RISAIE	2122	98	98	98	98
FORESTALI	224	67	78	85	89	VITIVI	2123	66	77	85	89
PRATI STABILI	231	67	71	81	89	COLTURA IN SERRA	2124	98	98	98	98
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE A						COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE					
COLTURE PERMANENTI	241	59	74	82	86	ALL'OLIVO	2411	59	74	82	86
SISTEMI CULTURALI E PARTICELLARI						COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL					
COMPLESSI	242	63	73	82	88	VIGNETO	2412	59	74	82	86
AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA						COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD					
COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI						ALTRE COLTURE PERMANENTI (PASCOLI					
SPAZI NATURALI IMPORTANTI	243	62	71	78	81	E SEMINATIVI ARBORATI CON					
AREE AGROFORESTALI	244	45	66	77	83	COPERTURA DELLA SUGHERA DAL 5 AL					
BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGIE	313	39	51	63	70	25%)	2413	59	74	82	86
AREE A PASCOLO NATURALE	321	67	71	81	89	BOSCO DI LATIFOGIE	3111	39	51	63	70
SPIAGGE DUNE E SABBIE	331	56	73	82	86	ARBORICOLTURA CON ESSENZE					
PARETI ROCCIOSE E FALESIE	332	98	98	98	98	FORESTALI (LATIFOGIE)	3112	39	51	63	70
AREE CON VEGETAZIONE RADA	333	70	75	84	90	BOSCHI DI CONIFERE	3121	39	51	63	70
PALUDI INTERNE	411	100	100	100	100	CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO	3122	39	51	63	70
PALUDI SALMASTRE	421	100	100	100	100	FORMAZIONI VEGETALI BASSE E CHIUSE.					
SALINE	422	100	100	100	100	STABILI. COMPOSTE PRINCIPALMENTE DI					
ZONE INTERTIDALI	423	98	98	98	98	CESPUGLI, ARBUSTI E PIANTE ERBACEE					
LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI	521	100	100	100	100	(ERICHE, ROVI, GINESTRE, GINEPRI NANI					
MARI	523	100	100	100	100	ECC.)	3221	51	58	73	80
TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E						FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	3222	51	58	73	80
DENSO	1111	89	92	94	96	MACCHIA MEDITERRANEA	3231	51	58	73	80
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	1112	78	80	85	87	GARIGA	3232	51	58	73	80
TESSUTO RESIDENZIALE RADO E						AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE					
NUCLEIFORME A CARATTERE						AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE					
RESIDENZIALE E SUBURBANO	1121	74	75	78	80	SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3311	56	73	82	86
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE SPARSO E						AREE DUNALI NON COPERTE DA					
FABBRICATI RURALI A CARATTERE						VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE					
TIPICAMENTE AGRICOLO O RURALE	1122	65	67	70	72	A 25M	3312	56	73	82	86
INSEDIAMENTI INDUSTRIALI/ARTIG. E						AREE DUNALI CON COPERTURA					
COMM. E SPAZI ANNESSI	1211	89	92	94	95	VEGETALE CON AMPIEZZA SUPERIORE A					
INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI						25 M	3313	56	73	82	86
SERVIZI	1212	89	92	94	95	LETTI ASCIUTTI DI TORRENTI DI					
RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI						AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3315	56	73	82	86
(SVINCOLI, STAZIONI DI SERVIZIO, AREE						FIUMI, TORRENTI E FOSSI	5111	100	100	100	100
DI PARCHEGGIO ECC.)	1221	98	98	98	98	CANALI E IDROVIE	5112	100	100	100	100
RETI FERROVIARIE COMPRESSE LE						BACINI NATURALI	5121	100	100	100	100
SUPERFICI ANNESSE (STAZIONI,						BACINI ARTIFICIALI	5122	100	100	100	100
SMISTAMENTI, DEPOSITI ECC.)	1222	96	96	96	96	LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI A					
GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO						PRODUZIONE ITTICA NATURALE	5211	100	100	100	100
E SMISTAMENTO MERCI (INTERPORTI E						ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E					
SIMILI)	1223	92	93	94	95	STAGNI COSTIERI	5212	100	100	100	100
IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI						ESTUARI E DELTA	5213	100	100	100	100
DISTRIBUZIONE						AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA					
(TELECOMUNICAZIONI/ENERGIA/IDRICHE)	1224	92	93	94	95	NATURALE	5231	100	100	100	100
DISCARICHE	1321	90	92	94	95	ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	5232	100	100	100	100
DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO,						PIOPPETTI, SALICETTI, EUCALITTETI ECC.					
CIMITERI DI AUTOVEICOLI	1322	90	92	94	95	ANCHE IN FORMAZIONI MISTE	31121	39	51	63	70
AREE RICREATIVE E SPORTIVE	1421	70	78	83	88	SUGHERETE	31122	39	51	63	70
AREE ARCHEOLOGICHE	1422	49	69	79	84	CASTAGNETI DA FRUTTO	31123	39	51	63	70
SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	2111	58	72	81	85	ALTRO	31124	39	51	63	70

Tabella 13 – Valori del Curve Number (CN) per le differenti coperture del suolo del CLC al 4° livello (Elaborazione ADIS).

Gruppo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità d'infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Tabella 14 – Metodo SCS (Curve Number): categorie di suolo.

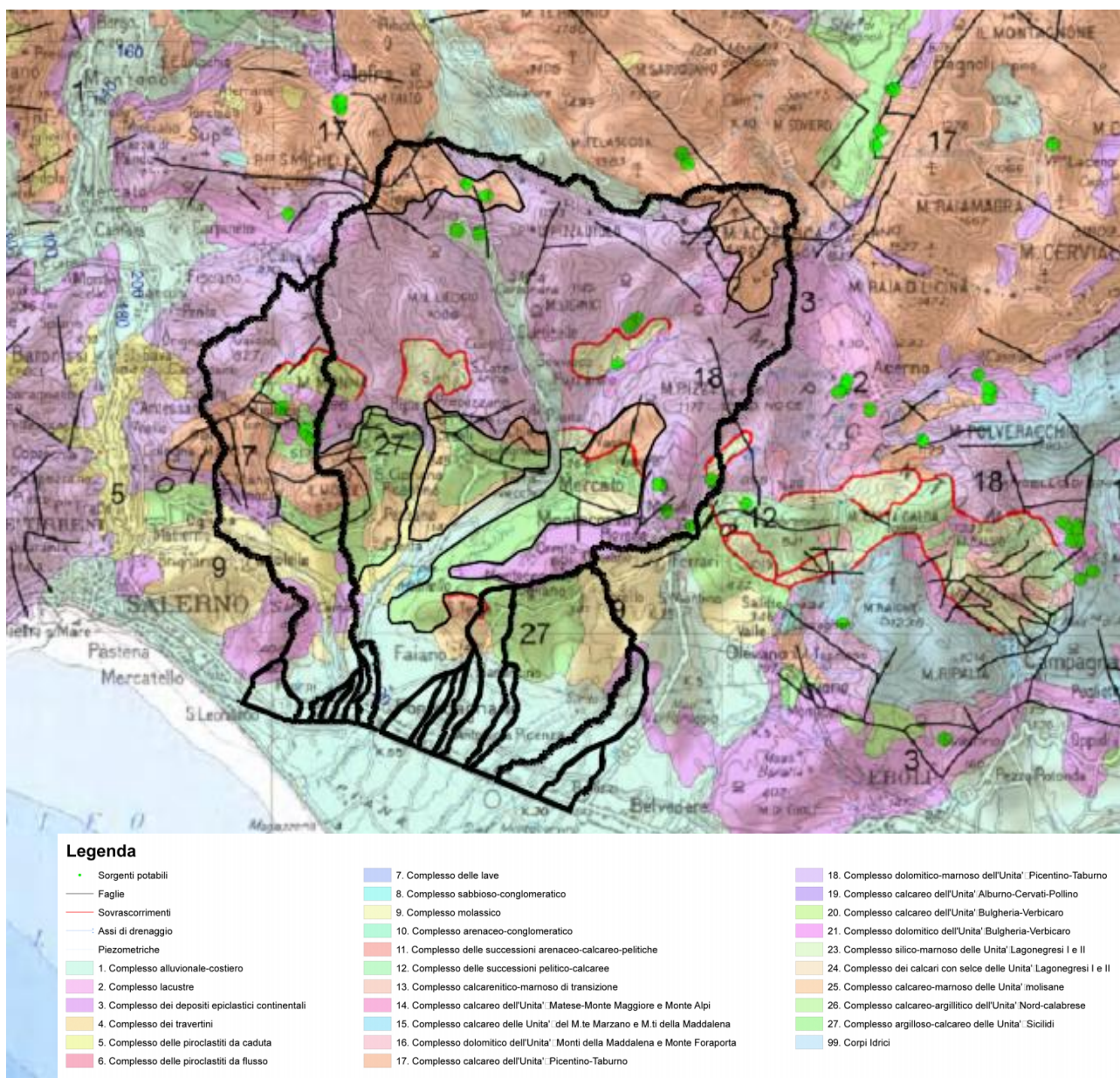


Figura 7 – Carta dei Complessi idrogeologici (fonte: Piano Territoriale Regionale - Campania).

Nella seguente Tabella 15 sono riportati i valori medi di CN assunti per i bacini idrografici di interesse.

La determinazione del tempo di corrivazione può effettuarsi mediante alcune classiche formule empiriche di uso comune; in particolare, per i bacini di elevata estensione (come nel caso del Fiume Picentino) si può fare riferimento alla relazione di Giandotti:

$$\tau_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_m - h_0}}$$

con  $S$  = area del bacino [km<sup>2</sup>];  $L$  = lunghezza dell'asta principale [km];  $h_m$  = altitudine media del bacino imbrifero sotteso [m s.m.m.];  $h_0$  = quota della sezione di chiusura del bacino [m s.m.m.].

ID bacino	Corso d'acqua	CN
1		78
2	Torrente Fuorni	69
3		90
4		90
5		90
6		72
7		85
8	Fiume Picentino	65
9		81
10		85
11		89
12		87
13	Fosso Frestola	88
14		81
15	Torrente Asa	89
16	Torrente Diavolone	86
17	F. Volta Ladri	85

Tabella 15 – Valori medi di CN assunti per i bacini idrografici di interesse.

Per bacini di media o modesta estensione possono essere applicate le seguenti formulazioni:

– Ventura

$$\tau_c = 0.127 \sqrt{\left(\frac{A}{p}\right)}$$

con  $A$  = area (km<sup>2</sup>),  $p$  = pendenza media dell'asta;

– *Pasini*

$$\tau_c = 0.108 \frac{(AL)^{0.33}}{\sqrt{p}}$$

con  $A$  = area (km<sup>2</sup>),  $L$  = lunghezza asta principale (Km),  $p$  = pendenza media dell'asta;

– *Kirpich*

$$\tau_c = 0.93 \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{H_{\max} / L}} \right)^{0.77}$$

$L$  = lunghezza asta principale (Km),  $H_{\max}$  = altitudine massima bacino (m).

In tal caso, il tempo di corrivazione di riferimento è valutato in via cautelativa come il valore minimo ottenuto dall'applicazione delle differenti formulazioni sopra introdotte.

Nella tabella seguente sono riportati i valori di riferimento del tempo di corrivazione assunti per i bacini idrografici di interesse.

ID bacino	Corso d'acqua	Tempo corrivazione (ore)				Valore di riferimento, $\tau_c$ (ore)
		Giandotti	Pasini	Kirpich	Ventura	
1		-	0.35	0.28	0.41	0.28
2	Torrente Fuorni	-	4.15	1.71	3.37	1.71
3		-	0.44	0.51	0.46	0.44
4		-	0.73	0.61	0.72	0.61
5		-	0.90	0.86	0.81	0.81
6		-	0.89	0.80	0.80	0.80
7		-	1.25	0.88	1.12	0.88
8	Fiume Picentino	5.03	-	-	-	5.03
9		-	1.14	0.85	1.22	0.85
10		-	0.96	0.96	0.85	0.85
11		-	1.11	0.91	1.03	0.91
12		-	1.17	0.93	1.05	0.93
13	Fosso Frestola	-	1.32	1.21	1.09	1.09
14		-	1.22	0.84	1.16	0.84
15	Torrente Asa	-	2.40	1.51	2.15	1.51
16	Torrente Diavolone	-	2.07	1.47	1.71	1.47
17	F. Volta Ladri	-	1.40	0.77	1.59	0.77

Tabella 16 – Valori di riferimento del tempo di corrivazione, assunti per i bacini idrografici di interesse.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
	<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO NN1X	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

## 5.2 Metodologie Va.P.I. “portate” – Regione Campania

Similmente a quanto previsto per le piogge, il progetto Va.P.I. ha sviluppato un'analisi statistica anche per le portate dei corsi d'acqua.

Al primo livello di regionalizzazione, Fiorentino et al. [1987] hanno mostrato che l'Italia Appenninica, inclusa la Sicilia ed esclusa parte della Liguria, può essere considerata una zona omogenea. Utilizzando una procedura di stima di Massima Verosimiglianza (MV), sono state utilizzate 28 serie di piena annuale (SPA) aventi un numero di osservazioni  $n \geq 35$  anni, per un totale di 1091 anni-stazione, ottenendo, per l'intero compartimento di Napoli i seguenti valori:

Portate	$\theta^* = 2.634$	$\Lambda^* = 0.350$	$\Lambda_1 = 13$	$\eta = 3.901$
---------	--------------------	---------------------	------------------	----------------

Tabella 17: Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate in Campania.

Di seguito si riportano i valori di  $K_T$  ottenuti con i parametri precedenti, per alcuni valori del periodo di ritorno.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
$K_T$ (portate)	0.87	1.29	1.63	2.03	2.17	2.47	2.61	3.07	3.53	4.15	4.52

Tabella 18: valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$  per le portate in Campania, per alcuni valori del periodo di ritorno  $T$ .

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; di seguito, sono riportati i principali metodi applicativi.

Regressione empirica. 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:

$$\mu(Q) = a A_{rid}^b$$

in cui con  $A_{rid}$  si intende l'area del bacino ridotta delle sue parti carbonatiche con copertura boschiva, espressa in  $km^2$ , mentre  $\mu(Q)$  è in  $m^3/s$ , ed i parametri  $a$  e  $b$  valgono

$$a = 3.2160$$

$$b = 0.7154$$

Modelli concettuali: L'area interessata è stata suddivisa in tre tipologie idrogeomorfologiche:

- $A_1$  la superficie carbonatica del bacino non coperta da bosco
- $A_2$  la superficie non carbonatica del bacino;
- $A_3$  la superficie carbonatica del bacino con copertura boschiva

in ognuna delle quali vengono considerate costanti alcune delle grandezze utilizzate per l'analisi regionale della piene media annua utilizzando due diversi modelli concettuali, i cui risultati sono nel seguito sintetizzati.

1) *Metodo o formula razionale*, rielaborato/a rispetto alla relazione precedentemente introdotta nella seguente forma:

$$\mu(Q) = C^* K_A(t_r) \mu[I(t_r)] A / 3.6$$

in cui i parametri  $C^*$  (coefficiente di piena) e  $t_r$  (tempo di ritardo del bacino) possono essere valutati tramite le seguenti relazioni:

$$C^* = C^*_1 \frac{A_1}{A} + C^*_2 \frac{A_2}{A}$$

$$t_r = \frac{C^*_1 A_1}{C^* A} \frac{1.25 \sqrt{A_1}}{3.6 c_1} + \frac{C^*_2 A_2}{C^* A} \frac{1.25 \sqrt{A_2}}{3.6 c_2}$$

con:

$$C^*_1 = 0.29$$

$$C^*_2 = 0.36$$

$$c_1 = 0.23 \text{ m/s}$$

$$c_2 = 1.87 \text{ m/s}$$

in cui le aree sono espresse in  $\text{km}^2$ ,  $t_r$  in ore,  $\mu[I(t_r)]$  in mm/ora ed  $\mu(Q)$  in  $\text{m}^3/\text{s}$ .



2) **Modello geomorfoclimatico.** Il modello geomorfoclimatico è il modello i cui parametri possiedono maggiore significato fisico; purtroppo, la sua applicazione è anche quella che richiede il maggiore impegno elaborativo.

In sintesi, tale modello conduce alla seguente espressione:

$$\mu(Q) = C_f S(d^*) K_A(d^*) \mu[I(d^*)] A$$

in cui  $d^*$  è la durata critica delle precipitazioni sul bacino che dipende in maniera complessa sia dalle caratteristiche geomorfologiche della risposta del bacino, sia dalle caratteristiche climatiche delle precipitazioni intense sul bacino stesso: in particolare, dipende dal *tempo di ritardo* del bacino,  $t_r$ ;  $C_f$  è il *coefficiente di afflusso di piena* del bacino, che tiene conto delle trasformazione della pioggia totale precipitata sul bacino nell'aliquota netta efficace ai fini dei deflussi superficiali di piena: le perdite sono essenzialmente dovute all'infiltrazione e all'intercettazione da parte dell'apparato fogliare. Infine,  $S(d^*)$  è il *coefficiente di attenuazione* della portata al colmo di piena, che tiene conto delle attenuazioni indotte sul picco di piena dalla propagazione e laminazione dell'onda all'interno del reticolo dei canali.

In prima approssimazione, la precedente può anche essere riscritta come:

$$\mu(Q) = C_f q K_A(t_r) \mu[I(t_r)] A / 3.6$$

in cui  $q$  è il *coefficiente di attenuazione corretto del colmo di piena* e dipende in maniera complessa da tutti i parametri caratteristici del modello, ma che può essere valutato, in prima approssimazione, come:

$$q = \begin{cases} 0.60 & \text{se } 0.25 \leq n' = 1 + k_1 A - \frac{\beta t_r / d_c}{1 + t_r / d_c} \leq 0.45 \\ 0.65 & \text{se } 0.45 \leq n' = 1 + k_1 A - \frac{\beta t_r / d_c}{1 + t_r / d_c} \leq 0.65 \end{cases}$$

in cui  $\beta$  e  $d_c$  sono i parametri della legge di probabilità pluviometrica per l'area omogenea considerata sopra introdotti, mentre  $k_1$  è un coefficiente numerico pari a:

$$k_1 = 1.44 \cdot 10^{-4}$$

se le aree sono in km<sup>2</sup>, le durate in ore e le intensità di pioggia in mm/ora.

L'equazione precedente consente il calcolo della piena media annua, noti i valori dei parametri della legge di probabilità pluviometrica sul bacino, l'area del bacino ed i valori dei parametri della risposta del bacino, che

sono il coefficiente di afflusso  $C_f$  ed il tempo di ritardo  $t_r$  del bacino, valutabili attraverso le seguenti espressioni:

$$C_f = C_{f1} \frac{A_1}{A} + C_{f2} \frac{A_2}{A}$$

$$t_r = \frac{C_{f1} A_1}{C_f A} \frac{1.25 \sqrt{A_1}}{3.6 c_1} + \frac{C_{f2} A_2}{C_f A} \frac{1.25 \sqrt{A_2}}{3.6 c_2}$$

in cui:

$$C_{f1} = 0.42$$

$$C_{f2} = 0.56$$

$$c_1 = 0.23 \text{ m/s}$$

$$c_2 = 1.87 \text{ m/s}$$

### 5.3 Valori di progetto

Nelle tabelle seguenti, si riportano i valori di portata al colmo, per i tempi di ritorno precedentemente definiti, ottenuti applicando le differenti metodologie sopra descritte.

Nello specifico,

- A. *Formula razionale e curve di possibilità pluviometrica derivanti dall'elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche presso la Stazione di Salerno (più cautelative)*
- B. *Procedura Va.P.I. - Regione Campania*
  - *“Metodo regressione empirica”*
  - *“Metodo razionale”*
  - *“Modello geomorfoclimatico”*

METODOLOGIA A

ID bacino	$\varphi$	$i$ (mm/h)	$Q_{30}$ (mc/s)	$\varphi$	$i$ (mm/h)	$Q_{100}$ (mc/s)
1	0.21	164.0	15.32	0.27	197.9	23.65
2	0.26	50.3	113.50	0.33	61.0	171.13
3	0.56	121.6	4.55	0.62	146.7	6.02
4	0.59	96.7	5.56	0.64	116.7	7.30
5	0.62	79.1	5.56	0.67	95.5	7.25
6	0.21	80.1	2.15	0.27	96.6	3.31
7	0.48	74.9	8.97	0.54	90.4	12.14
8	0.31	23.6	285.95	0.37	28.6	419.65
9	0.39	76.9	10.64	0.45	92.8	14.92
10	0.48	77.0	6.47	0.54	92.9	8.77
11	0.60	73.5	11.56	0.65	88.7	15.15
12	0.54	72.5	13.08	0.60	87.4	17.40
13	0.60	69.2	48.55	0.66	83.9	64.05
14	0.39	77.5	9.29	0.45	93.5	13.02
15	0.66	55.1	148.69	0.70	66.9	193.53
16	0.58	56.1	35.73	0.63	68.1	47.45
17	0.47	82.0	16.85	0.53	98.9	22.90

Tabella 19 – Metodologia A: valori di portata al colmo ( $T_r = 30$  e 100 anni), per i bacini idrografici di interesse.

ID bacino	$\varphi$	$i$ (mm/h)	$Q_{200}$ (mc/s)	$\varphi$	$i$ (mm/h)	$Q_{300}$ (mc/s)
1	0.30	217.3	28.88	0.32	228.6	32.07
2	0.36	67.2	206.87	0.38	70.8	228.52
3	0.64	161.1	6.88	0.65	169.5	7.39
4	0.67	128.1	8.31	0.68	134.8	8.91
5	0.69	104.8	8.24	0.70	110.3	8.82
6	0.31	106.1	4.05	0.32	111.6	4.49
7	0.57	99.2	14.02	0.59	104.4	15.13
8	0.40	31.5	501.57	0.42	33.2	550.92
9	0.48	101.8	17.49	0.50	107.1	19.03
10	0.57	102.0	10.14	0.58	107.3	10.95
11	0.67	97.3	17.25	0.68	102.4	18.49
12	0.62	96.0	19.94	0.64	101.0	21.45
13	0.68	92.4	73.11	0.69	97.3	78.44
14	0.48	102.7	15.27	0.49	108.0	16.62
15	0.73	73.6	219.60	0.74	77.5	234.92
16	0.66	74.9	54.32	0.67	78.9	58.38
17	0.56	108.6	26.50	0.57	114.3	28.63

Tabella 20 – Metodologia A: valori di portata al colmo ( $T_r = 200$  e 300 anni), per i bacini idrografici di interesse.

**METODOLOGIA B**

*“Metodo regressione empirica”*

ID bacino	A (kmq)	$\mu(Q)$ [m <sup>3</sup> /s]	Q30 (m <sup>3</sup> /s)	Q100 (m <sup>3</sup> /s)	Q200 (m <sup>3</sup> /s)	Q300 (m <sup>3</sup> /s)
1	1.57	4.44	10.0	13.65	15.75	16.97
2	30.92	37.45	84.5	115.15	132.80	143.12
3	0.24	1.16	2.6	3.56	4.11	4.43
4	0.35	1.52	3.4	4.67	5.38	5.80
5	0.41	1.70	3.8	5.23	6.03	6.49
6	0.45	1.82	4.1	5.59	6.44	6.94
7	0.89	2.96	6.7	9.10	10.49	11.31
8	141.7	111.28	251.1	342.16	394.61	425.29
9	1.29	3.86	8.7	11.86	13.68	14.75
10	0.63	2.31	5.2	7.11	8.19	8.83
11	0.95	3.10	7.0	9.53	10.99	11.85
12	1.2	3.66	8.3	11.27	12.99	14.00
13	4.19	8.96	20.2	27.56	31.78	34.26
14	1.12	3.49	7.9	10.72	12.37	13.33
15	14.81	22.12	49.9	68.01	78.43	84.53
16	3.97	8.62	19.5	26.52	30.58	32.96
17	1.57	4.44	10.0	13.65	15.75	16.97

Tabella 21 – Metodologia B, “regressione empirica”: valori di portata al colmo, per i bacini idrografici di interesse.

*“Metodo razionale”*

ID bacino	A (kmq)	A <sub>1</sub> (kmq)	A <sub>2</sub> (kmq)	$\beta$	C*	t <sub>r</sub> (ore)	$\mu(I(tr))$ [mm/h]	KA	$\mu(Q)$ [m <sup>3</sup> /s]
1	1.57	0.36	1.21	0.696	0.344	0.34	51.25	0.998	7.67
2	30.92	11.90	19.02	0.672	0.333	2.28	20.88	0.967	57.78
3	0.24	0.02	0.22	0.701	0.354	0.10	70.10	1.000	1.65
4	0.35	0.16	0.19	0.701	0.328	0.29	53.76	1.000	1.71
5	0.41	0.19	0.22	0.701	0.328	0.32	52.08	0.999	1.94
6	0.45	0.30	0.15	0.700	0.313	0.54	42.62	0.999	1.67
7	0.89	0.57	0.32	0.700	0.315	0.71	37.44	0.999	2.91
8	141.7	59.00	82.70	0.666	0.331	5.30	12.68	0.885	146.06
9	1.29	0.7	0.56	0.700	0.320	0.73	37.08	0.998	4.25
10	0.63	0.5	0.16	0.700	0.308	0.75	36.61	0.999	1.97
11	0.95	0.6	0.33	0.700	0.314	0.76	36.41	0.999	3.02
12	1.2	1.0	0.20	0.698	0.302	1.23	28.41	0.999	2.85
13	4.19	1.5	2.70	0.693	0.335	0.78	36.26	0.995	14.07
14	1.12	0.9	0.21	0.699	0.303	1.14	29.58	0.999	2.79
15	14.81	0.0	14.81	0.689	0.360	0.71	37.91	0.981	55.09
16	3.97	1.0	3.00	0.696	0.343	0.56	41.97	0.995	15.79
17	1.57	0.8	0.80	0.698	0.326	0.67	38.62	0.998	5.47

Tabella 22 – Metodologia B, “metodo razionale”: valori dei parametri del modello, per i bacini idrografici di interesse.

ID bacino	Q30 (m <sup>3</sup> /s)	Q100 (m <sup>3</sup> /s)	Q200 (m <sup>3</sup> /s)	Q300 (m <sup>3</sup> /s)
1	17.3	23.58	27.20	29.31
2	130.3	177.65	204.88	220.81
3	3.7	5.09	5.87	6.32
4	3.9	5.27	6.08	6.55
5	4.4	5.97	6.89	7.42
6	3.8	5.13	5.92	6.38
7	6.6	8.96	10.33	11.14
8	329.5	449.10	517.94	558.22
9	9.6	13.07	15.07	16.24
10	4.4	6.06	6.99	7.53
11	6.8	9.27	10.70	11.53
12	6.4	8.77	10.12	10.90
13	31.7	43.25	49.88	53.76
14	6.3	8.56	9.88	10.65
15	124.3	169.39	195.35	210.54
16	35.6	48.54	55.98	60.33
17	12.3	16.83	19.41	20.92

Tabella 23 – Metodologia B, “metodo razionale”: valori di portata al colmo, per i bacini idrografici di interesse.

“Modello geomorfoclimatico”

ID bacino	C*	t <sub>r</sub> (ore)	μ(l(tr)) [mm/h]	n'	q	KA	μ(Q) [m <sup>3</sup> /s]
1	0.528	0.33	51.66	0.65	0.65	0.998	7.71
2	0.506	2.21	21.26	0.42	0.60	0.967	53.63
3	0.548	0.10	70.16	0.84	0.65	1.000	1.67
4	0.496	0.28	54.31	0.68	0.65	1.000	1.70
5	0.495	0.31	52.63	0.66	0.65	0.999	1.93
6	0.467	0.52	43.07	0.57	0.65	0.999	1.63
7	0.470	0.70	37.90	0.53	0.65	0.999	2.86
8	0.502	5.14	12.92	0.39	0.60	0.884	135.39
9	0.481	0.71	37.60	0.52	0.65	0.998	4.20
10	0.456	0.74	36.96	0.52	0.65	0.999	1.91
11	0.469	0.74	36.85	0.52	0.65	0.999	2.96
12	0.443	1.21	28.63	0.45	0.65	0.999	2.75
13	0.510	0.76	36.79	0.52	0.65	0.995	14.12
14	0.446	1.12	29.82	0.46	0.65	0.999	2.69
15	0.560	0.71	37.91	0.53	0.65	0.981	55.70
16	0.526	0.55	42.41	0.57	0.65	0.995	15.90
17	0.491	0.65	39.17	0.54	0.65	0.998	5.44

Tabella 24 – Metodologia B, “modello geomorfoclimatico”: valori dei parametri, per i bacini idrografici di interesse.

ID bacino	Q30 (m <sup>3</sup> /s)	Q100 (m <sup>3</sup> /s)	Q200 (m <sup>3</sup> /s)	Q300 (m <sup>3</sup> /s)
1	17.4	23.72	27.35	29.48
2	121.0	164.89	190.17	204.96
3	3.8	5.12	5.91	6.37
4	3.8	5.23	6.03	6.50
5	4.3	5.93	6.84	7.37
6	3.7	5.02	5.79	6.24
7	6.5	8.80	10.14	10.93
8	305.5	416.31	480.13	517.46
9	9.5	12.92	14.90	16.06
10	4.3	5.88	6.79	7.31
11	6.7	9.10	10.49	11.31
12	6.2	8.44	9.74	10.49
13	31.9	43.43	50.09	53.98
14	6.1	8.26	9.53	10.27
15	125.7	171.27	197.52	212.88
16	35.9	48.89	56.38	60.77
17	12.3	16.74	19.31	20.81

Tabella 25 – Metodologia B, “modello geomorfoclimatico”: valori di portata al colmo, per i bacini idrografici di interesse.

La **portata di progetto** corrispondente ad un determinato bacino idrografico, per un dato tempo di ritorno, è stata scelta come il massimo valore ottenuto dall’applicazione delle metodologie adottate (Tabella 26).

ID bacino	Corso d'acqua	Q30 (mc/s)	Q100 (mc/s)	Q200 (mc/s)	Q300 (mc/s)
1		17.4	23.7	28.9	32.1
2	Torrente Fuorni	130.3	177.7	206.9	228.5
3		4.5	6.0	6.9	7.4
4		5.6	7.3	8.3	8.9
5		5.6	7.2	8.2	8.8
6		4.1	5.6	6.4	6.9
7		9.0	12.1	14.0	15.1
8	Fiume Picentino	329.5	449.1	517.9	558.2
9		10.6	14.9	17.5	19.0
10		6.5	8.8	10.1	10.9
11		11.6	15.2	17.3	18.5
12		13.1	17.4	19.9	21.4
13	Fosso Frestola	48.6	64.1	73.1	78.4
14		9.3	13.0	15.3	16.6
15	Torrente Asa	148.7	193.5	219.6	234.9
16	Torrente Diavolone	35.9	48.9	56.4	60.8
17	F. Volta Ladri	16.8	22.9	26.5	28.6

Tabella 26 – Valori di progetto delle portate al colmo, per i bacini idrografici di interesse.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
	<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO <b>NN1X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>D 09 RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0001 001</b>	REV. <b>A</b>

#### 5.4 Determinazione delle portate di riferimento per il dimensionamento delle opere provvisionali

Per la determinazione del tempo di ritorno dell'evento di riferimento da considerare nel dimensionamento di opere provvisionali, o comunque potenzialmente interessate dai livelli idrici, in mancanza di una specifica analisi di rischio, viene assunta una probabilità di accadimento, nel periodo di esistenza/permanenza in alveo, usualmente **pari al 5÷10%** (Da Deppo et al. 2004).

Come è noto, la probabilità di accadimento  $R_{n,Tr}$  del verificarsi in un numero  $n$  di anni dell'evento  $X(T_r)$  caratterizzato da frequenza di superamento  $P[X(T_r)] = 1/T_r$  è, per la probabilità di eventi statisticamente indipendenti, ottenibile come segue:

$$R_{n,Tr} = 1 - P[X(T_r)]^n = 1 - (1 - 1/T_r)^n$$

Fissato pertanto il valore  $R_{n,Tr} = \mathbf{0.10}$  (**10%**) e il numero di anni ( $n$ ) di permanenza delle opere in alveo, è immediato definire dall'equazione precedente il tempo di ritorno dell'evento a base del dimensionamento delle opere provvisionali.

$$T_r = [1 - (1 - R_{n,Tr})^{1/n}]^{-1}$$

Nello specifico, in relazione alla fasizzazione delle lavorazioni necessarie alla realizzazione delle opere di attraversamento fluviale o dei manufatti idraulici previsti in progetto, nonché delle relative opere di fondazione, la durata dei lavori e/o il periodo di permanenza in alveo è pari al massimo a circa 3 mesi ( $n = 3/12 = 0.25$  anni), da cui un tempo di ritorno dell'evento di riferimento pari a  $T_r = \mathbf{3}$  **anni**.

Si è proceduto quindi al calcolo della cosiddetta “portata di cantiere” per ognuno dei bacini idrografici attraversati dalla linea ferroviaria in progetto, tramite la formula razionale considerando le curve di possibilità pluviometrica (CPP) con tempo di ritorno di 3 anni relative alla Stazione di misura di Salerno (risultate più cautelative come dimostrato in precedenza). A tal proposito, i parametri della CPP con  $Tr = 3$  *anni* relativa alla stazione di Salerno assumono i seguenti valori:  $a = \mathbf{41.5}$  **mm/h<sup>n</sup>**,  $n = \mathbf{0.297}$ .

Nella tabella seguente, i valori della “portata di cantiere” così determinati.

Con riferimento al Fiume Picentino, come meglio descritto nella relazione idraulica annessa (NN1X00D09RIID0002001A), oltre alla verifica idraulica (in regime di moto permanente) per la portata con tempo di ritorno pari a 3 anni (finalizzata alla valutazione dell'eventuale interferenza delle opere di scavo necessarie per la realizzazione delle fondazioni del nuovo viadotto VI02), è stata effettuata anche la simulazione numerica (in regime di moto permanente) della propagazione della piena con tempo di ritorno pari a **2 anni**, corrispondente (fissato  $R_{n,Tr} = 10\%$ ) ad una durata dei lavori o di permanenza in alveo pari a **2 mesi** ( $n = 2/12 = 0.167$  anni), relativa alla fasizzazione definita per le lavorazioni necessarie alla realizzazione delle opere di sistemazione idraulica previste in progetto. Analogamente, considerando quindi le curve di possibilità pluviometrica (CPP) con tempo di ritorno di 2 anni relative alla Stazione di misura di Salerno ( $a = \mathbf{34.6}$  **mm/h<sup>n</sup>**,  $n = \mathbf{0.297}$ ) ed applicando la formula razionale, per il Fiume Picentino, la portata con  $T_r = 2$  *anni* è pari a **38.6 mc/s**.

ID bacino	Corso d'acqua	Q3(mc/s)
1		2.87
2	Torrente Fuorni	36.60
3		1.80
4		2.28
5		2.34
6		0.40
7		3.24
8	Fiume Picentino	69.9
9		3.30
10		2.32
11		4.76
12		5.07
13	Fosso Frestola	19.30
14		2.87
15	Torrente Asa	62.50
16	Torrente Diavolone	13.80
17	F. Volta Ladri	5.97

Tabella 27 – Valori di riferimento della “portata di cantiere” ( $Tr = 3$  anni), per i bacini idrografici di interesse.

## 5.5 Considerazioni di sintesi

I valori di portata determinati sono conformi alle indicazioni riportate nei documenti della pianificazione di bacino vigente. Nello specifico, con riferimento ai corsi d’acqua Torrente Fuorni, Fiume Picentino, Torrente Asa, nelle tabelle seguenti si riporta nel dettaglio il confronto tra i valori di portata calcolati nel presente studio e quelli riportati nel P.S.A.I./P.G.R.A.:

Portata (mc/s) – Torrente Fuorni				
Riferimento	$Tr = 30$ anni	$Tr = 100$ anni	$Tr = 200$ anni	$Tr = 300$ anni
Studi P.S.A.I./P.G.R.A.	-	-	206	221
Presente studio	130.4	177.7	206.9	228.5
Portata (mc/s) – Fiume Picentino				
Riferimento	$Tr = 30$ anni	$Tr = 100$ anni	$Tr = 200$ anni	$Tr = 300$ anni
Studi P.S.A.I./P.G.R.A.	327	432	-	529
Presente studio	329.5	449.1	517.9	558.2
Portata (mc/s) – Torrente Asa				
Riferimento	$Tr = 30$ anni	$Tr = 100$ anni	$Tr = 200$ anni	$Tr = 300$ anni
Studi P.S.A.I./P.G.R.A.	151	200	-	244
Presente studio	148.7	193.5	219.6	234.9



## 6 DETERMINAZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA

Con riferimento alla relazione idraulica annessa (NN1X00D09RIID0002001A), per i corsi d'acqua Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa è stato implementato un modello numerico bidimensionale, in regime di moto vario, ai fini della determinazione delle corrispondenti aree potenzialmente inondabili per verifica delle condizioni di pericolosità idraulica definite (su tali corsi d'acqua) dall'ex *Autorità di Bacino Regionale Destra Sele*, ovvero dal *Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale*.

Si è proceduto dunque, relativamente a tali corsi d'acqua, alla determinazione degli idrogrammi di piena di progetto, da applicare come condizione al contorno di monte nei modelli numerici (idraulici) bidimensionali sviluppati. Nello specifico, gli idrogrammi di piena di progetto per i corsi d'acqua Torrente Fuorni, Fiume Picentino e Torrente Asa, per i tempi di ritorno di **30, 100, 200 e 300 anni** (in accordo alla definizione della pericolosità idraulica del P.S.A.I.) sono stati determinati mediante il software URBIS, assumendo, in ragione delle considerazioni esposte nel paragrafo precedente, i seguenti dati di input:

- **LEGGI DI PIOGGIA:** curve di possibilità pluviometrica relative alla stazione di misura Salerno
- **IETOGRAMMA NETTO:** tipo "rettangolare", con durata pari al tempo di corrivazione ( $\tau_c$ ), depurato delle perdite secondo i valori di  $CN$
- **MODELLO TRASFORMAZIONE "AFFLUSSI-DEFLUSSI":** metodo di Nash, con  $N$  (= numero dei serbatoi in serie) pari a 3 e  $k$  (= costante di invaso) pari a  $\tau_c/5$

Nelle figure seguenti, gli idrogrammi di piena di progetto così ottenuti.

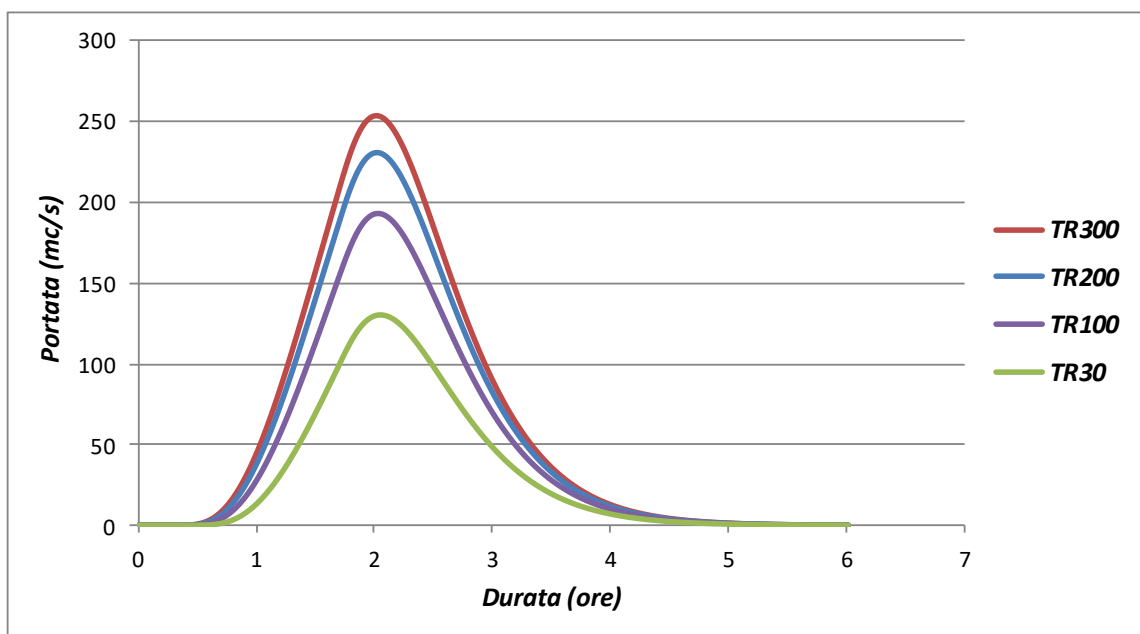


Figura 8 – Torrente Fuorni: idrogrammi di piena di progetto.

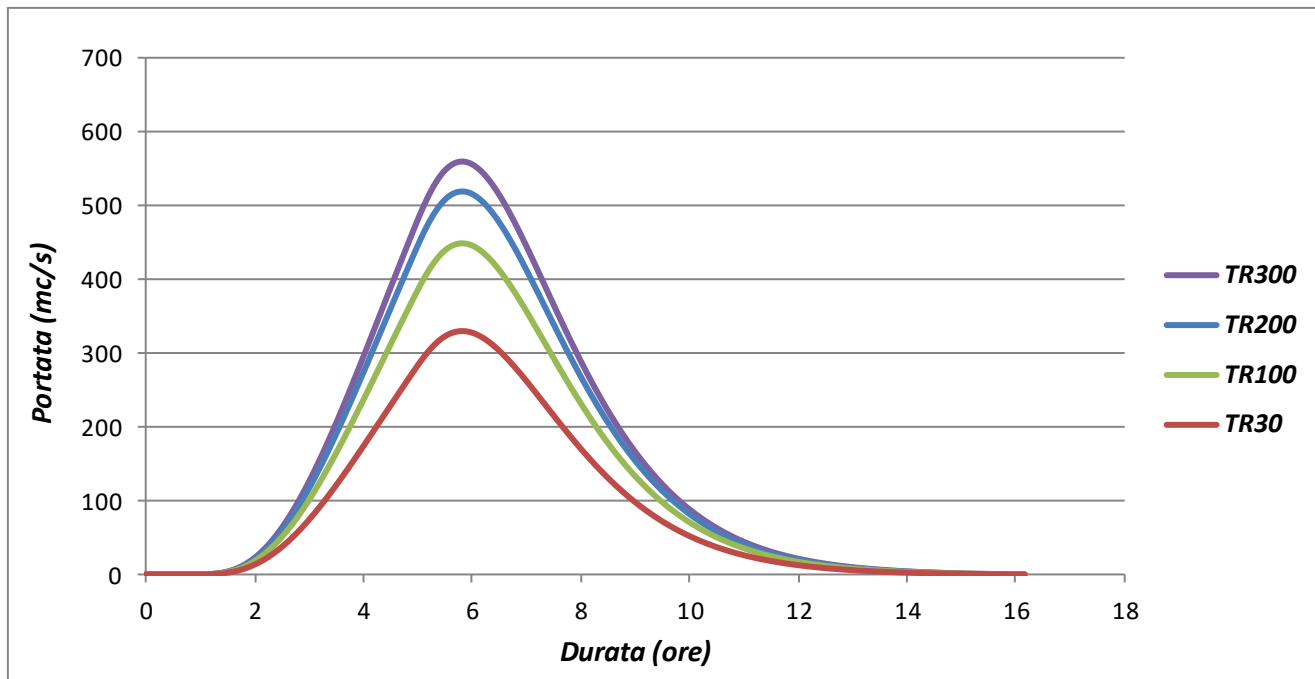


Figura 9 – Fiume Picentino: idrogrammi di piena di progetto.

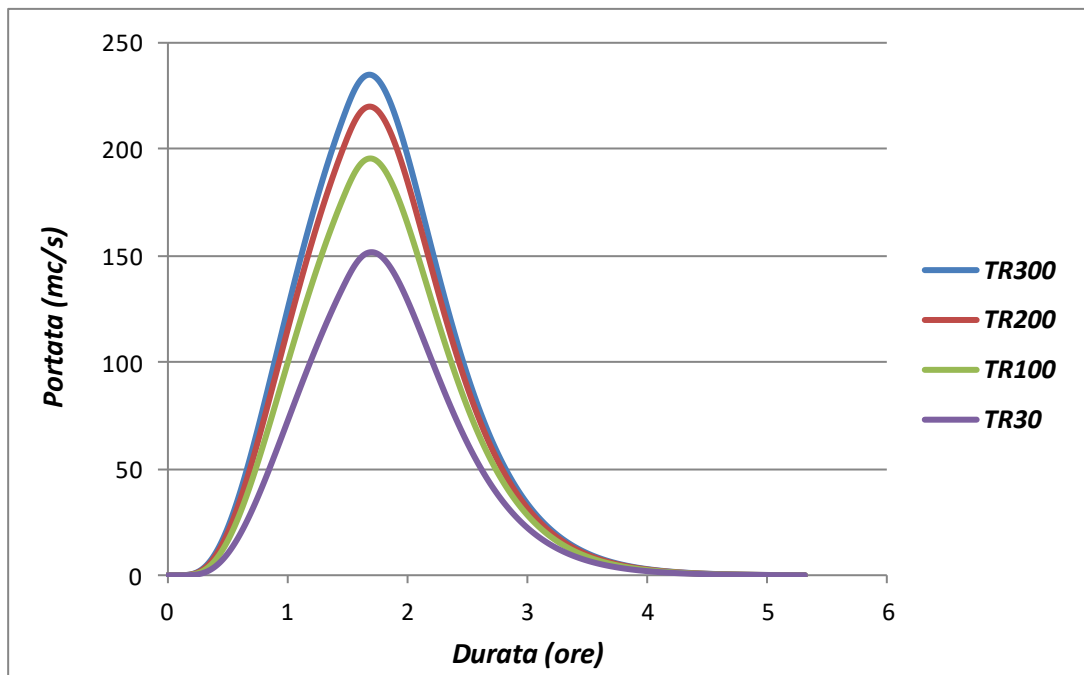


Figura 10 – Torrente Asa: idrogrammi di piena di progetto.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO NN1X	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 43 di 49

## 7 EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI

La conoscenza delle variazioni climatiche sul territorio italiano, in corso e previste, è il presupposto fondamentale per la valutazione degli impatti e della strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici (MATTM, 2015). Mentre la conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sulla osservazione delle variabili climatiche e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

Secondo la definizione della *World Meteorological Organization* (WMO), le proiezioni climatiche forniscono la probabilità con cui determinate variazioni del clima possono verificarsi nei prossimi decenni, in relazione a diverse possibili evoluzioni dello sviluppo socio-economico globale. Tali condizioni (scenari) comportano, in particolare, diversi andamenti delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera. A tale proposito, l'*Intergovernmental Panel for Climate Change* (IPCC) ha recentemente ridefinito gli scenari futuri a scala globale (*Representative Concentration Pathways* – RCP), allo scopo di fornire informazioni sulla probabile evoluzione delle diverse componenti della forzante radiativa (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo), da utilizzare come input per i modelli climatici. Gli scenari RCP sostituiscono i precedenti scenari pubblicati dall'IPCC nello *Special Report on Emission Scenarios* (SRES). I quattro nuovi RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 (2.6 W/m<sup>2</sup> - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m<sup>2</sup> - RCP4.5 e 6 W/m<sup>2</sup> - RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m<sup>2</sup> - RCP8.5).

Proprio l'IPCC ha introdotto una definizione più specifica del termine “*proiezione climatica*”, riferendola alla stima delle variazioni del clima futuro che viene fornita dai modelli climatici. Questi ultimi possono essere classificati in due categorie, *globali* e *regionali*, che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro. I modelli regionali (“*Regional Climate Models*”, RCM) rispondono alla necessità di fornire una migliore rappresentazione dei fenomeni a scala locale. Tali modelli, innestandosi su un modello globale da cui vengono acquisite le condizioni iniziali e al contorno, producono le proiezioni climatiche su una specifica area di interesse, ad una risoluzione più elevata (fino a una massima risoluzione orizzontale di 10-50 km).

Recentemente l'ISPRA (rif. “*Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali*”, 2015) ha condotto l'analisi e il confronto tra le proiezioni climatiche in Italia più aggiornate prodotte da diversi modelli.

Dall'insieme degli output dei modelli climatici disponibili, sono state estratte e analizzate le proiezioni di precipitazione cumulata annuale fino al 2100 di quattro modelli, negli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. Nello specifico, sono stati selezionati i dati che ricoprono l'intero territorio nazionale e per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di precipitazione.

Nelle figure seguenti, si riportano le mappe delle variazioni della precipitazione massima giornaliera (in 24 ore) previste da quattro modelli climatici (ALADIN, GUF, CMCC, LMD), nonché la variazione “*media d'insieme*” (ENSEMBLE MEAN), con riferimento ai tre orizzonti temporali considerati: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

**RCP 4.5**

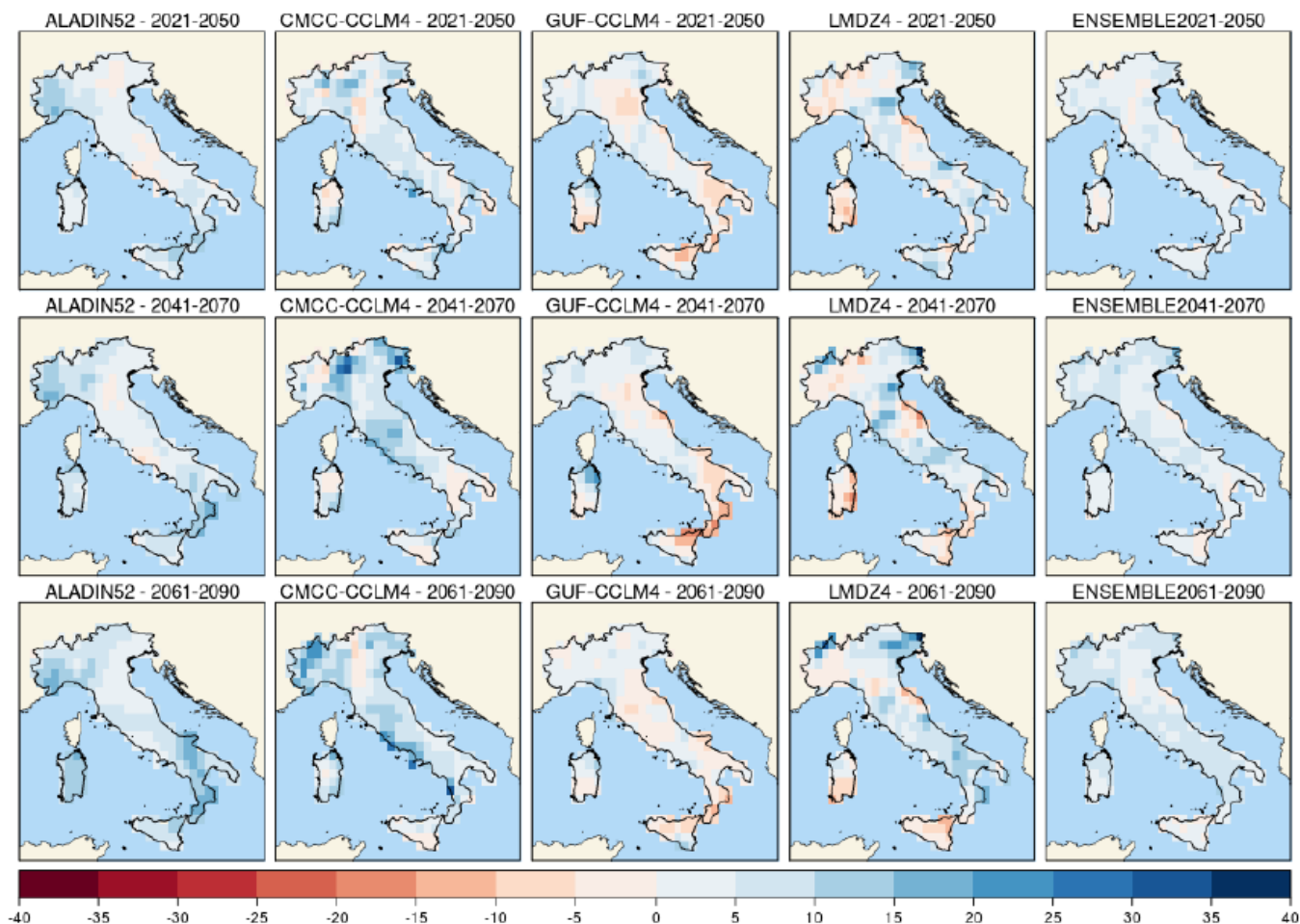


Figura 11 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

In entrambi gli scenari, due modelli climatici indicano un aumento delle precipitazioni massime giornaliere su quasi tutto il territorio nazionale, di entità generalmente modesta (inferiore a 10 mm) e punte superiori a 20 mm in alcune zone.

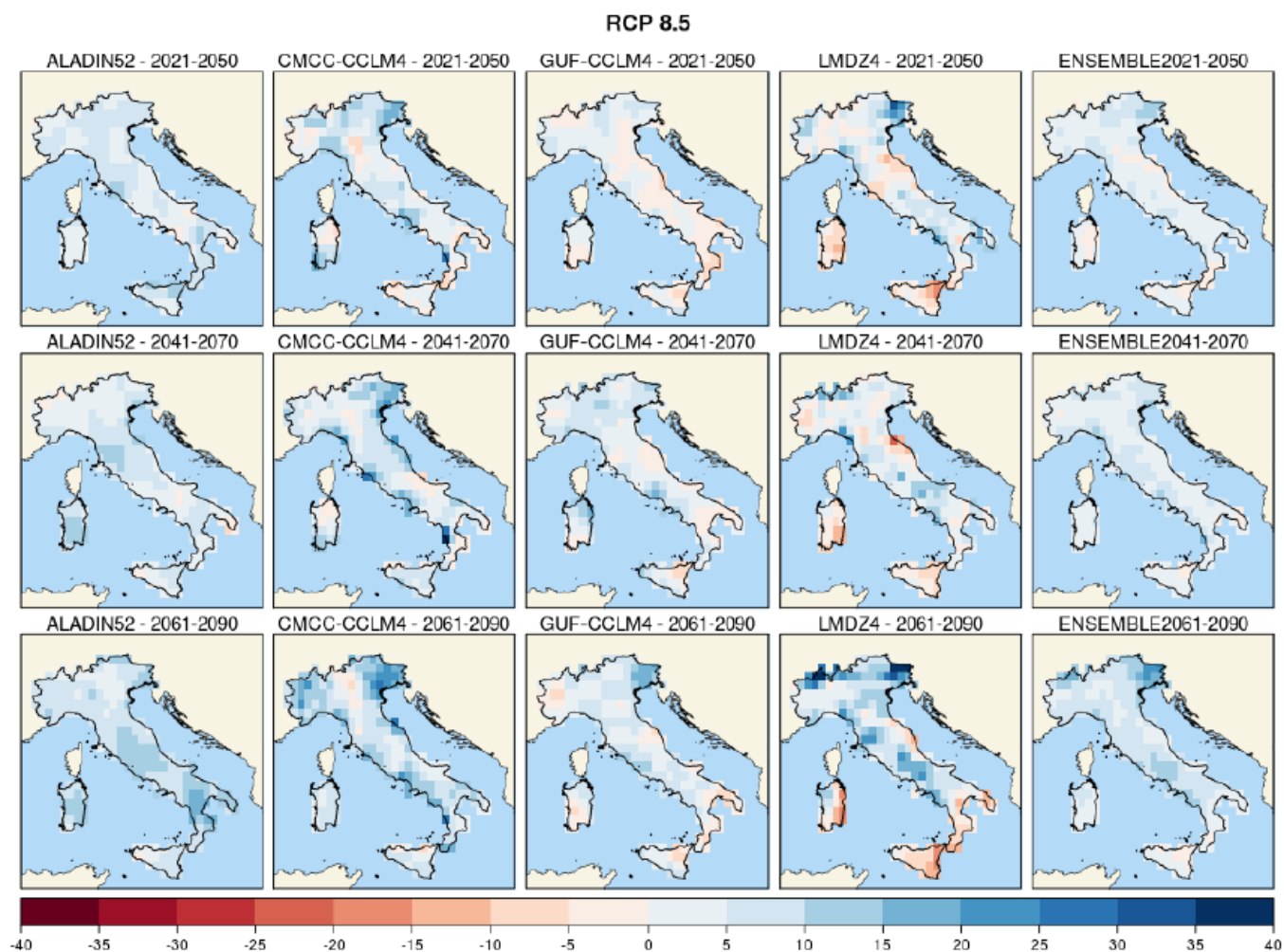


Figura 12 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

Nella tabella seguente, si riportano i valori di variazione “media di insieme” (*ENSEMBLE MEAN*) di precipitazione massima giornaliera (*h24*) (rispetto al valore medio nel periodo climatologico di riferimento **1971-2000**), prevista nell’area di intervento, per i tre orizzonti temporali: 2021-2050, 2041-2070, 2061-2090, con riferimento alla scenario “massimo” di emissione RCP8.5, dedotti dalle mappe sopra descritte.

Periodo	Variatione media $h_{24}$ (RCP8.5)
2021-2050	+0-5 mm
2041-2070	+5-10 mm
2061-2090	+10-15 mm

Tabella 28 – Valori medi di variazione di precipitazione massima giornaliera previste nell’area di intervento (ISPRA, 2015).

Con riferimento alle analisi idrologiche sopra descritte, ed in particolare ai dati di pioggia registrati presso la stazione di misura di Salerno, il valore medio di precipitazione massima giornaliera ( $h_{24}$ ), nel periodo climatologico 1971-2000, ammonta a **98.9 mm** (Figura 13).

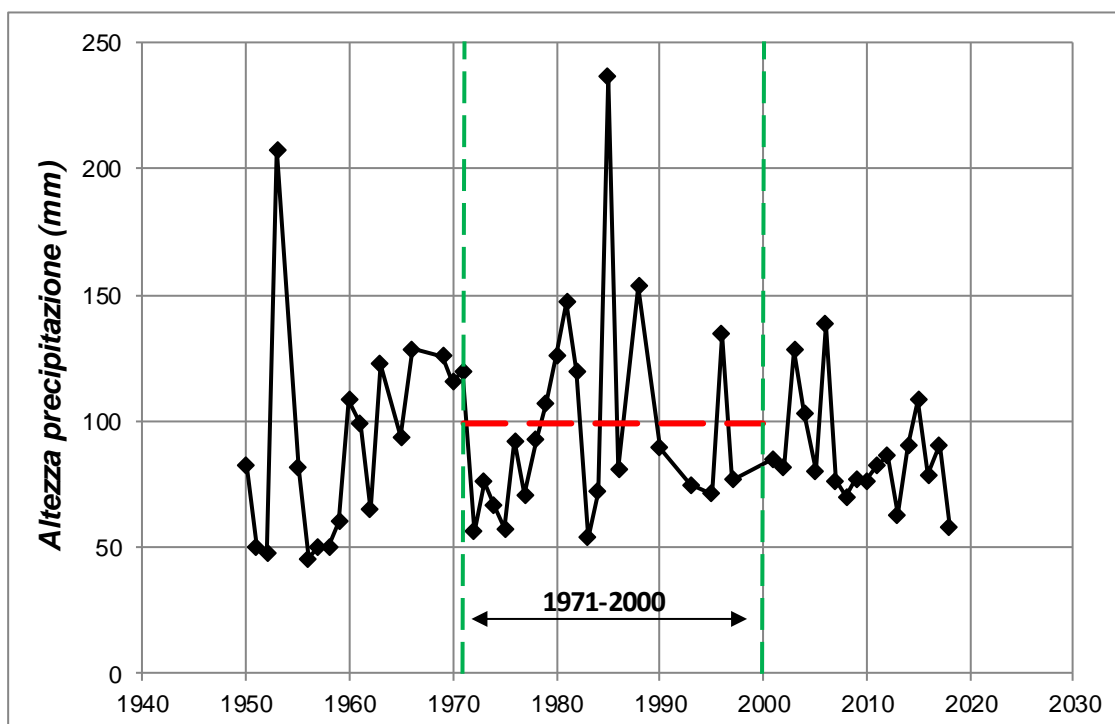


Figura 13 – Stazione pluviometrica di Salerno: serie storica di dati di altezza di pioggia con durata pari a 24 ore.

Prendendo tale valore come riferimento, la variazione massima prevista, ossia +10-15 mm nel trentennio 2061-2090, corrisponderebbe ad un incremento della precipitazione massima giornaliera del **10-15%** circa. Analogamente, nei trentenni 2021-2050 e 2041-2070 tale incremento ammonterebbe rispettivamente a **0-5%** e **5-10%**, circa.

Più dettagliatamente, è stata costruita una serie storica “virtuale” di dati di altezza di pioggia con durata pari a 24 ore, fino al 2090, considerando per i tre orizzonti temporali (2021-2050, 2041-2070, 2061-2090) i valori di precipitazione registrati nel periodo di riferimento 1971-2000, incrementati secondo le variazioni (o proiezioni di variazione) previste, sopra indicate.

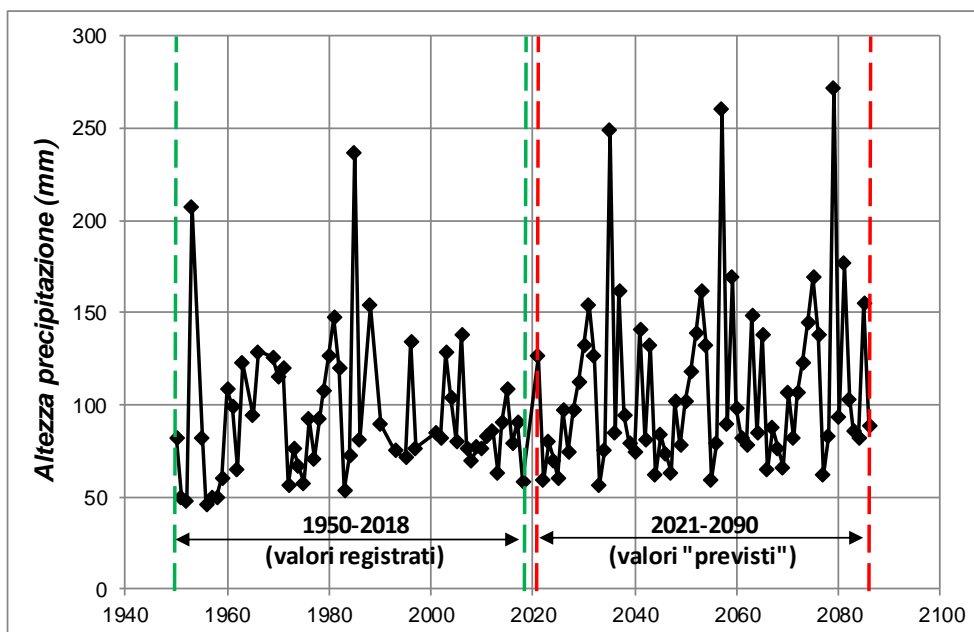


Figura 14 – Stazione di Salerno: serie storica “virtuale” (al 2090) di dati di altezza di pioggia con durata pari a 24 ore.

Tale serie storica potrebbe essere utilizzata in futuro per verificare e “*monitorare*”, con riferimento alla stazione pluviometrica considerata, l’attendibilità delle proiezioni (ad oggi stimate) di variazione di precipitazione massima giornaliera annuale, per effetto dei cambiamenti climatici.

Applicando (impropriamente) tale procedura anche alle serie storiche dei dati di altezza di pioggia con durata pari a 1, 3, 6 e 12 ore è possibile quindi costruire un “nuovo” dataset di serie storiche “virtuali” di dati di pioggia da elaborare statisticamente mediante il metodo di Gumbel, determinando i parametri  $a$  e  $n$  delle curve di possibilità pluviometriche al 2090 (per la stazione di misura di Salerno).

Procedendo in tal senso, si ottengono i seguenti valori.

Stazione di Salerno		
TR (anni)	$a$	$n$
25	77.9	0.298
30	80.6	0.298
100	98.3	0.297
200	108.4	0.297
300	114.3	0.297

Tabella 29 – Stazione pluviometrica di Salerno: valori dei parametri  $a$  e  $n$ , per differenti tempi di ritorno, previsti al 2090.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO <b>NN1X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>D 09 RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0001 001</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO <b>48 di 49</b>

Le curve di possibilità pluviometrica previste al 2090 forniscono valori di altezza di pioggia (per durate superiori all'ora) maggiori del **9-10%** circa rispetto a quelli restituiti dalle "attuali" CPP, stimate sulla base dei dati di pioggia ad oggi registrati.

Pertanto, applicando tale incremento alle altezze di pioggia di progetto, ne deriva (adottando la formula razionale) un contestuale aumento delle portate al colmo, della stessa entità (+10% circa).

Le considerazioni sopra esposte sono prese come riferimento negli studi idraulici a corredo del presente progetto per lo sviluppo di ulteriori verifiche di compatibilità sia delle opere di attraversamento (ponti/viadotti/tombini) sia dei sistemi di drenaggio della piattaforma stradale e ferroviaria, nei confronti quindi anche di eventuali variazioni (nello, specifico incrementi) delle precipitazioni per effetto dei cambiamenti climatici.

Per maggiori dettagli, si rimanda alle relazioni idrauliche specialistiche annesse.



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO TRATTA ARECHI – PONTECAGNANO AEROPORTO					
	<b>Relazione Idrologica Generale</b>	PROGETTO <b>NN1X</b>	LOTTO <b>00</b>	CODIFICA <b>D 09 RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0001 001</b>	REV. <b>A</b>

## 8 BIBLIOGRAFIA

AA. VV. Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

Analisi Regionale dei massimi annuali delle precipitazioni della Regione Campania, GNDCI Linea 1. Rapporti di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia (Va.P.I.).

Corine Land Cover 2012 IV Livello – ISPRA.

Da Deppo, L., Datei, C., Salandin, P. Sistemazione dei corsi d'acqua. ED. Progetto Padova, 2004.

Ferro V., La sistemazione dei bacini idrografici, McGraw-Hill, Milano, 2006.

Ferro, V., Bagarello, V. Rainfall Depth – Duration Relationship for South Italy, (1996), Journal of Hydrologic Engineering/October 1996.

Ghetti A., Idraulica, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.

Maione U., Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali, La Goliardica Pavese, 1977

Marani M., Processi e modelli dell'Idrometeorologia, Dispense, 2005.

Manuale di progettazione RFI (2020).

Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, 2018 (circolare applicativa, 7 gennaio 2019).

Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.S.A.I.) - Rischio Alluvioni - ex Autorità di Bacino Regionale Destra Sele (agg. 2017).

Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale (II ciclo di pianificazione, agg. Aprile 2020).

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Surendra, K. M., Vijay., P. S. Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. Springer, pp. 84-146, 2003.

VenTe Chow, Open-channel hydraulics, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.