

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA
LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica generale

SCALA:

-

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

RC1E A1 R 09 RI ID0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L.Nani 	Ottobre 2021	A.Cappelli 	Ottobre 2021	I. D'Amore 	Ottobre 2021	ANGELO VITTOZZI Ottobre 2021 ITALFERR S.p.A. Ufficio Opere Civili e Gestione delle varianti Via dei Mestieri, 150 00187 Roma

File: RC1EA1R09RIID0001001A.doc

n. Elab

INDICE

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO	6
2.1	PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO.....	6
2.2	NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (DECRETO 17 GENNAIO 2018 DEL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI)	7
2.3	CIRCOLARE 21 GENNAIO 2019, N. 7 C.S.LL.PP. (ISTRUZIONI PER L'APPLICAZIONE DELL'AGGIORNAMENTO DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI DI CUI AL DECRETO MINISTERIALE 17 GENNAIO 2018).....	8
2.4	MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE FERROVIARIE (RFI DTC SI CS MA IFS 001 D).....	8
3	STUDIO IDROLOGICO.....	9
3.1	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI.....	9
3.1.1	<i>Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche</i>	9
3.1.2	<i>Metodo VA.PI. Regione Campania.....</i>	11
3.2	STIMA DELLE PORTATE AL COLMO.....	13
3.2.1	<i>Individuazione e caratterizzazione dei bacini</i>	14
3.2.2	<i>Stima delle portate di progetto</i>	16
3.3	ANALISI IDROLOGICA DEI CORSI D'ACQUA MAGGIORI: FIUME SELE.....	25
3.3.1	<i>Metodologia.....</i>	25
3.3.2	<i>VALUTAZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO.....</i>	29

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1	Lotto 1a Battipaglia – Romagnano. Corografia dell'intervento.....	4
Figura 2	– Fasce fluviali del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino del Sele.....	7
Figura 4	– Delimitazione dei bacini del lotto 1A.....	14
Figura 5	– Rappresentazione cartografica del CN nell'area di studio (bacini del lotto 1A).....	19
Figura 5	– Portate calcolate con i diversi metodi per i sottobacini del lotto 1A in funzione dell'area sottesa alla sezione dell'interferenza idraulica.....	24
Figura 6	– Fiume Sele in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario	25

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA RC1E	LOTTO A1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

Figura 9 – Valori di Curve Number per diverse tipologie di uso del suolo, condizione idrologica e gruppo di terreno27

Figura 8 – Idrogrammi di piena – fiume Sele alla sezione dell’attraversamento ferroviario30

Figura 8 – Confronto delle portate al colmo ottenute con i diversi metodi (in blu sfumato quelli mediante modellazione in HEC HMS).....30

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Stazioni di pioggia considerate per le analisi statistiche.....9

Tabella 2 – Parametri curve di possibilità pluviometrica per durate superiori a 1 ora.10

Tabella 3 – Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Campania.12

Tabella 4 – Valori teorici del coefficiente di crescita probabilistico KT per le piogge in Campania, per alcuni valori del periodo di ritorno T.....12

Tabella 5 – Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate in Campania.12

Tabella 6 – Valori teorici del coefficiente di crescita probabilistico KT per le portate in Campania, per alcuni valori del periodo di ritorno T.....12

Tabella 7 – Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche13

Tabella 8 – Caratteristiche topografiche dei bacini del lotto 1A.16

Tabella 9 – Tempi di corrivazione dei bacini, CN, coefficiente di deflusso, portate TR200 calcolate con i diversi metodi.23

Tabella 10 – Esempi di suoli ricadenti nella classificazione SCS.28

Tabella 11 – Fattore di picco e coefficiente per la definizione della curva di esaurimento (Wanielista, et al. 1997) 29

Tabella 11 – Parametri di calcolo più significativi inseriti in HEC HMS per la definizione degli idrogrammi di piena del fiume Sele e del fiume Bianco e portate al colmo ottenute29

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante degli elaborati specialistici relativi al Progetto di fattibilità tecnica ed economica della Linea ferroviaria Salerno-Reggio Calabria.

In particolare, la presente relazione descrive i risultati delle analisi idrologiche svolte per il lotto 1A che si sviluppa tra Battipaglia e Romagnano.

Il lotto 1A è stato individuato come prioritario e inserito all'interno del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) tra le opere da finanziare nell'ambito della missione "Infrastrutture per una Mobilità Sostenibile" che punta a completare entro il 2026 una prima e significativa tappa di un percorso di più lungo termine verso la realizzazione di un sistema infrastrutturale moderno e sostenibile dal punto di vista ambientale, tenuto conto delle specificità della orografia del territorio italiano, in grado di rispondere alle esigenze di mobilità ad un ampio bacino interregionale.

Il tracciato si sviluppa in doppio binario dalla stazione di Battipaglia (l'inizio intervento è posto al km 73+790 della linea Battipaglia – Potenza C.le) e si estende per circa 35 km con una velocità di tracciato di 300 km/h, tranne che per il tratto iniziale di circa 9 km che presenta elementi geometrici caratterizzati da velocità di tracciato pari a 180 km/h fino al km 4+4450 circa di progetto e 250 km/h fino alla pk 9+050 e il tratto finale di allaccio alla LS Battipaglia – Potenza C.le a 100 km/h.

La linea si sviluppa a doppio binario fino al passaggio doppio/singolo in corrispondenza della pk 29+000 circa di progetto, da questo punto prosegue a singolo binario sul tracciato del futuro binario dispari e termina con l'innesto sulla LS Battipaglia – Potenza C.le al km 112+350.

Il tracciato attraversa i territori di Battipaglia, Eboli, Campagna, Contursi Terme, Sicignano degli Alburni e Buccino, tutti nella Provincia di Salerno.

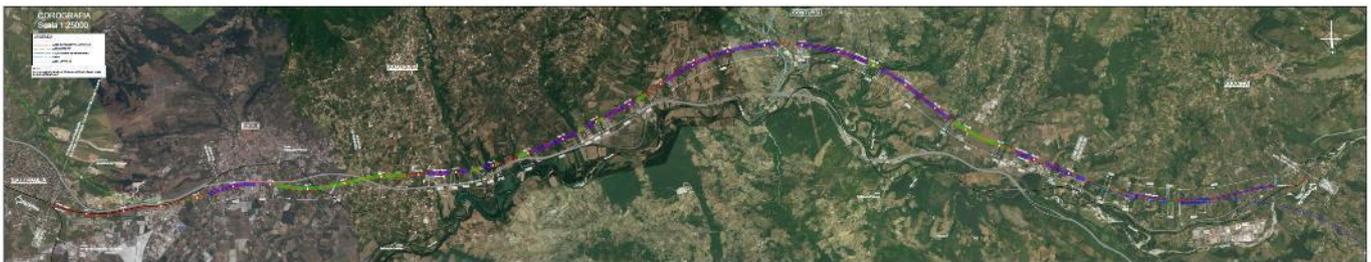


Figura 1 Lotto 1a Battipaglia – Romagnano. Corografia dell'intervento

Obiettivo dello studio idrologico è la valutazione delle portate di piena dei corsi d'acqua che interferiscono con la linea ferroviaria, da adottare come valori di progetto per il dimensionamento delle nuove opere di attraversamento e delle opere di difesa e protezione idraulica del corpo ferroviario, e da assumere come valori di riferimento nell'analisi della compatibilità idraulica dell'intervento proposto.

Le portate sviluppate nelle stime sono quelle relative al colmo di piena riferite al periodo di ritorno di 200 anni, calcolate per ognuna delle sezioni del reticolo idrografico di interesse del progetto. Per quanto riguarda il fiume Sele sono state inoltre calcolate le portate per tempo di ritorno pari a 30 e 500 anni.

L'analisi è stata svolta attraverso:

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1E	A1 R 09	RI	ID0001 001	A	5 di 30

- reperimento ed interpretazione della cartografia di base e dei modelli digitali del terreno (DTM) relativi ai bacini idrografici dei corsi d'acqua sottesi alle sezioni di attraversamento;
- reperimento di ulteriori informazioni mediante specifici sopralluoghi nei quali sono state acquisite notizie sull'idrografia della zona, sullo stato degli alvei nonché sul comportamento dell'area durante gli eventi piovosi estremi;
- perimetrazione dei bacini idrografici e studio delle loro caratteristiche morfometriche;
- raccolta ed analisi dei dati pluviometrici ed idrometrici;
- analisi idrologica e valutazione delle piene di progetto mediante applicazione di diversi metodi, tra cui quelli proposti nel V.A.P.I.

La presente relazione si articola nei seguenti Capitoli:

- il Capitolo 2 presenta un inquadramento normativo,
- il Capitolo 3 descrive lo studio idrologico, comprendente l'analisi pluviometrica e la valutazione delle portate di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA RC1E	LOTTO A1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

2 INQUADRAMENTO NORMATIVO

2.1 Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico

Le diverse fasce fluviali coincidono con le aree inondabili a meno di un tirante idrico pari a 30 cm utilizzato per delimitare le fasce fluviali che risultano, pertanto, meno estese rispetto alle aree inondabili.

Nella carta delle fasce fluviali sono inoltre evidenziati le zone di pericolo e cioè:

- i tronchi potenzialmente interessati dalla invasione di conoidi e quindi soggetti a rischio di ostruzione, così come richiesto con nota dell'Autorità di bacino n. 811 del 18 maggio 2009,
- i tronchi fluviali del reticolo principale fino al terzo ordine gerarchico di Horton incluso, non interessati dalla perimetrazione delle aree inondabili, per i quali è necessario sviluppare adeguate indagini di tipo idraulico in caso di nuove antropizzazioni,
- le aree del tratto focivo potenzialmente interessate da fenomeni di allagamento prodotte dalla insufficienza della rete di bonifica,
- le aree del Tanagro potenzialmente interessate da allagamento causato dall'esonazione dei canali di bonifica
- i centri abitati attraversati dal reticolo fluviale che non sono stati interessati dalla perimetrazione delle aree inondabili
- i tronchi fluviali, appartenenti al reticolo principale, che attraversano aree urbanizzate

I tempi di ritorno che definiscono le fasce fluviali sono:

- Periodo di ritorno $T = 30$ anni, per la perimetrazione della Fascia A
- Periodo di ritorno $T = 50$ anni, per la perimetrazione della Sottofascia B1
- Periodo di ritorno $T = 100$ anni, per la perimetrazione della Sottofascia B2.
- Periodo di ritorno $T = 200$ anni, per la perimetrazione della Sottofascia B3.
- Periodo di ritorno $T = 500$ anni, per la perimetrazione della Fascia C.

Le Norme di Attuazione dei PSAI (Agosto 2016) indicano all'art. 50 - Studio di compatibilità idraulica. Valutazione della Pericolosità e Rischio: *“Nei casi espressamente previsti dalle presenti norme, i progetti relativi ad interventi (opere, manufatti, infrastrutture ecc.) ricadenti in aree a pericolosità/rischio idraulico e/o da colata sono corredati da uno studio di compatibilità idraulica, contenente valutazioni e verifiche sull'ammissibilità, la natura e l'importanza qualitativa e quantitativa degli effetti di ciascun progetto sullo scenario idraulico definito negli elaborati costituenti il PSAI. [...]”*

La Figura 2 riporta le fasce fluviali del PSAI F. Sele.

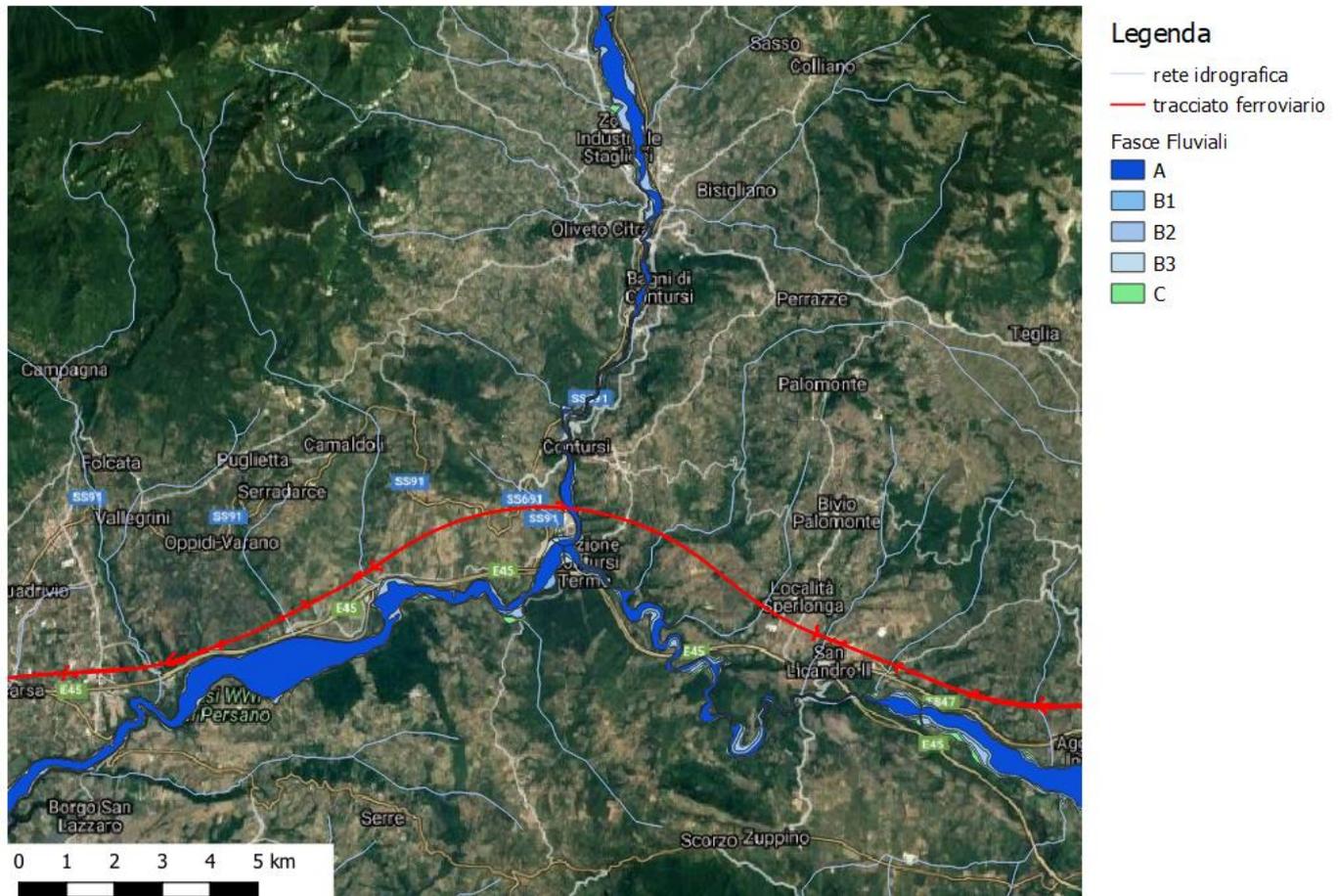


Figura 2 – Fasce fluviali del Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino del Sele.

2.2 Norme tecniche per le costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti)

All’interno dell’“Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”” (Decreto 17 gennaio 2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti), al punto 5.1.2.3, si definiscono gli argomenti principali dello studio di “Compatibilità idraulica” relativo ai ponti stradali. Le stesse prescrizioni si estendono poi ai ponti ferroviari, secondo il paragrafo 5.2.1.2.

Si riporta un estratto della normativa:

5.1.2.3 Compatibilità Idraulica

[...]

Quando il ponte interessa un corso d’acqua naturale o artificiale, il progetto deve essere corredato da uno studio di compatibilità idraulica costituito da una relazione idrologica e da una relazione idraulica riguardante le scelte progettuali, la costruzione e l’esercizio del ponte.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA RC1E	LOTTO A1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

[...]

2.3 Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. (Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018)

Le "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018." propongono al punto C5.1.2.3 "Compatibilità Idraulica" ulteriori prescrizioni:

[...]

Ai fini dell'applicazione del punto 5.1.2.3 della Norma, s'intende per alveo la sezione occupata dal deflusso della portata di piena di progetto. Quest'ultima è a sua volta caratterizzata da un tempo di ritorno pari a $Tr = 200$ anni, dovendosi intendere tale valore quale il più appropriato da scegliere, non escludendo tuttavia valori anche maggiori che devono però essere adeguatamente motivati e giustificati.

[...]

2.4 Manuale di progettazione delle opere ferroviarie (RFI DTC SI CS MA IFS 001 D)

In accordo a quanto previsto dal Manuale di Progettazione delle opere ferroviarie, ogni tipo di manufatto idraulico deve essere verificato utilizzando i seguenti tempi di ritorno Tr :

- **linea ferroviaria $Tr = 200$ anni**
- **deviazioni stradali $Tr = 200$ anni**

[...]

3.7.2.1.2 Attraversamenti corsi d' acqua principali

[...]

*definizione di una procedura di trasferimento dei dati caratteristici di portata alle sezioni di calcolo; **per le verifiche di opere esistenti sarà utile calcolare le portate con tempo di ritorno di 30, 50, 100, 200 e 500 anni.** Per gli attraversamenti più importanti si calcolerà una portata di piena estrema, per eventuali verifiche di uno scenario di superamento della portata di progetto;*

[...]

calcolo dei profili di piena in condizioni di moto permanente nel tronco fluviale in esame per valori di portata corrispondenti ai valori assegnati dei tempi di ritorno e definizione dei corrispondenti livelli di piena alla sezione degli attraversamenti, ante e post operam; valutazione della compatibilità idraulica delle fasi costruttive;

[...]

3 STUDIO IDROLOGICO

Nell'ambito del presente progetto è stato sviluppato uno studio idrologico con lo scopo di ricavare le caratteristiche idrologiche dell'area di studio ed individuare le portate di riferimento per i corsi d'acqua interferenti con la linea ferroviaria di progetto.

Per le analisi idrologiche sono stati considerati:

- i dati di precipitazione delle stazioni pluviometriche delle Province di Salerno, Avellino e Potenza forniti dal Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile Regione Campania ed analizzati con il metodo di Gumbel.
- i parametri delle analisi pluviometriche ricavati dagli studi del Va.P.I. della Campania,
- i parametri di regionalizzazione delle piene ricavati dal PAI Campania.

La scelta delle portate di riferimento si è basata su criteri cautelativi scegliendo la portata maggiore tra quelle ricavate, valutato il campo di applicazione dei diversi metodi.

I paragrafi seguenti illustrano le analisi effettuate.

3.1 Analisi delle precipitazioni

3.1.1 Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche

Al fine di procedere all'analisi statistica delle precipitazioni intense nella zona di studio, sono state prese in esame le serie storiche di 10 stazioni, collocate nei bacini esaminati ed aventi almeno 19 anni di misure (). I dati forniti comprendono i valori storici dei massimi annuali corrispondenti a diverse durate di pioggia, da 10 minuti a 24 ore.

Nome stazione	Codice	Provincia	Numero di anni di misure
Auletta	12267	SA	27
Avigliano		PZ	19
Bagnoli Irpino	18398	AV	20
Battipaglia	17411	SA	20
Boiara	17262	AV	20
Caposele	18408	AV	20
Castelluccio	12273	SA	27
Contursi Meteo	17255	SA	20
Montesano		SA	19
Persano Sele	12247	SA	25
Senerchia	12286	AV	25
Vietri	12307	PZ	23

Tabella 1 – Stazioni di pioggia considerate per le analisi statistiche.

I dati delle misure sono stati elaborati mediante analisi probabilistica degli estremi idrologici, adottando il modello di Gumbel.

L'espressione della probabilità cumulata della legge di Gumbel è

$$F(x) = \exp(-\exp(\alpha (x-\varepsilon)))$$

con α e ε parametri della distribuzione, che vengono, di norma, stimati attraverso il metodo dei momenti:

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

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

dove μ e σ sono rispettivamente la media e lo scarto quadratico medio dei dati.

Per riportare opportunamente i valori di x corrispondenti ad una fissata probabilità F (o periodo di ritorno T) si può invertire la legge $F(x)$ ottenendo

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

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

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

$$x_T = \mu K_T$$

I risultati ottenuti sono riportati nella seguente Tabella 2.

Stazione	Codice	Prov.	anni	TR30		TR50		TR100		TR200		TR300		TR500	
				a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
Auletta	12267	SA	27	47.40	0.29	51.44	0.28	56.90	0.28	62.34	0.27	65.51	0.27	69.51	0.27
Bagnoli Irpino	18398	AV	20	54.75	0.35	59.31	0.35	65.47	0.35	71.61	0.35	75.19	0.34	79.70	0.34
Battipaglia	17411	SA	20	53.23	0.33	57.45	0.33	63.13	0.33	68.79	0.33	72.10	0.33	76.26	0.34
Boiara	17262	AV	20	54.39	0.23	59.33	0.22	65.99	0.22	72.63	0.22	76.50	0.22	81.39	0.21
Caposele	18408	AV	20	65.29	0.27	71.26	0.27	79.31	0.26	87.33	0.26	92.02	0.26	97.92	0.25
Contursi Meteo	17255	SA	20	65.28	0.29	71.24	0.29	79.28	0.28	87.30	0.28	91.97	0.28	97.87	0.28
Persano Sele	12247	SA	25	50.37	0.16	54.82	0.15	60.83	0.15	66.81	0.14	70.31	0.13	74.72	0.13
Senerchia	12286	AV	25	71.49	0.35	77.91	0.35	86.58	0.34	95.20	0.34	100.2	0.34	106.6	0.34
Vietri	12307	PZ	23	41.36	0.22	45.03	0.21	49.97	0.20	54.89	0.20	57.77	0.19	61.39	0.19
Castelluccio	12273	SA	27	53.54	0.31	58.26	0.31	64.63	0.31	70.98	0.31	74.69	0.31	79.35	0.31

Tabella 2 – Parametri curve di possibilità pluviometrica per durate superiori a 1 ora.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA RC1E	LOTTO A1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

3.1.2 Metodo VA.PI. Regione Campania

3.1.2.1 Generalità

L'analisi idrologica dei valori estremi delle precipitazioni e delle piene in Campania è stata effettuata nel Rapporto VA.P.I. Campania attraverso una metodologia di analisi regionale delle informazioni idrologiche, che si avvale di modelli concettuali di formazione dei deflussi di piena a partire dalle precipitazioni meteoriche, con un approccio di tipo probabilistico, che associa ad ogni valore della variabile idrologica di riferimento una probabilità che si verifichino eventi con valori superiori. La valutazione della massima portata di piena in una data sezione della rete idrografica viene quindi effettuata in un contesto probabilistico, riferendosi ad un assegnato rischio di superamento in N anni, o al periodo di ritorno di T anni. Per cui non esiste un massimo assoluto della variabile di interesse, ma ad ogni suo valore viene associata una probabilità di superamento in un anno e, quindi un periodo di ritorno, T, inteso come numero medio di anni fra due superamenti successivi della variabile idrologica di interesse.

La metodologia probabilistica adottata nel rapporto VA.P.I. è basata sull'uso della distribuzione di probabilità del valore estremo a doppia componente TCEV (Two Component Extreme Value), che interpreta gli eventi massimi annuali come risultato di una combinazione di due popolazioni distinte, di cui la prima produce gli eventi massimi ordinari, più frequenti ma meno intensi, e la seconda produce gli eventi massimi straordinari, meno frequenti ma più intensi.

I diversi parametri del modello probabilistico vengono valutati a scale regionali differenti, attraverso una procedura di regionalizzazione gerarchica, in funzione dell'ordine statistico del parametro stesso. Indicando con Q il massimo annuale della portata al colmo e con T il periodo di ritorno, cioè l'intervallo di tempo durante il quale si accetta che l'evento di piena possa verificarsi mediamente una volta, la massima portata di piena Q_T corrispondente al prefissato periodo di ritorno T, può essere valutata come:

$$Q_T = K_T m(Q)$$

dove:

- $m(Q)$ = media della distribuzione dei massimi annuali della portata di piena (piena indice);
- K_T = fattore probabilistico di crescita, pari al rapporto tra Q_T e la piena indice.

La legge di variazione di K_T con T si indica come legge di crescita con il periodo di ritorno.

Per quanto attiene alla valutazione del fattore probabilistico di crescita, il rapporto VA.P.I. propone la formulazione riportata al paragrafo che segue. Per la valutazione di $m(Q)$, vengono invece indicate quattro differenti metodologie, due di tipo diretto, basate su formule monomie in cui la portata dipende essenzialmente dall'area del bacino, e due di tipo indiretto (la formula razionale e il modello geomorfoclimatico) in cui la piena indice viene valutata a partire dalle piogge e dipende in maniera più articolata dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino (area, percentuale impermeabile, copertura boschiva).

3.1.2.2 Leggi di variazione dei coefficienti di crescita con il tempo di ritorno

Pluviometria

Fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata (DPC) all'interno della sottozona pluviometrica omogenea previamente identificata, resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita K_T :

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1E	A1 R 09	RI	ID0001 001	A	12 di 30

$$T = \frac{1}{1-F_K(k)} = \frac{1}{1-\exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{\frac{1}{\Theta^*}} e^{-\eta k \Theta^*})} \quad (1)$$

I parametri ottenuti per l'intera regione Campania sono riportati in Tabella 3.

Piogge	$\Theta^*=2.536$	$\Lambda^*=0.224$	$\Lambda_1=37$	$\eta=4.909$
--------	------------------	-------------------	----------------	--------------

Tabella 3 – Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Campania.

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della formula precedente per cui, fissato un valore T del periodo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita KT. Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile. Si riportano di seguito, nella Tabella 4, i valori di KT ottenuti numericamente dalla (1) per alcuni valori del periodo di ritorno.

T (anni)	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
KT (piogge)	0.87	1.16	1.38	1.64	2.03	2.36	2.71	3.17	3.53

Tabella 4 – Valori teorici del coefficiente di crescita probabilistico KT per le piogge in Campania, per alcuni valori del periodo di ritorno T.

Idrometria - Portate istantanee al colmo di piena

In riferimento alla (1), i parametri ottenuti per l'intera regione Campania sono riportati in Tabella 5. Si riportano di seguito, nella Tabella 6, i valori di KT per alcuni valori del periodo di ritorno.

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

Tabella 5 – Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate in Campania.

T (anni)	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
KT (portate)	0.87	1.29	1.63	2.03	2.61	3.07	3.53	4.15	4.52

Tabella 6 – Valori teorici del coefficiente di crescita probabilistico KT per le portate in Campania, per alcuni valori del periodo di ritorno T.

3.1.2.3 Stima del valor medio - Leggi di probabilità pluviometrica

Piogge puntuali

Le leggi di probabilità pluviometriche definiscono come varia la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia su una fissata durata d, $\mu[I(d)]$, 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 Campania è stata adottata una espressione del tipo:

$$\mu[I(d)] = \mu[I_0] / (1+d/dc)\beta$$

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

$$\beta = C - D Z$$

I parametri delle formule sopra riportate sono costanti all'interno di singole aree pluviometriche omogenee e sono riportati nella seguente Tabella 7.

Area omogenea	$\mu(ho)$ (mm/ora)	dc (ore)	C	D * 10 ⁵
1	77.08	0.3661	0.7995	8.6077
2	83.75	0.3312	0.7031	7.7381
3	116.7	0.0976	0.736	8.73
4	78.61	0.3846	0.81	24.874
5	231.8	0.0508	0.8351	10.8
6	87.87	0.2205	0.7265	8.8476
7	83.75	0.3312	0.7031	7.7381



Tabella 7 – Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche

Piogge areali

La valutazione della intensità di pioggia media sull'intero bacino (pioggia media areale) viene effettuata moltiplicando la pioggia puntuale per il fattore di riduzione areale K_A :

$$K_A(d) = 1 - (1 - \exp(-c_1 A)) \exp(-c_2 d^{c_3})$$

dove A è l'area del bacino, espressa in km², d la durata della pioggia, espressa in ore, ed i coefficienti valgono:

- $c_1 = 0.0021$
- $c_2 = 0.53$
- $c_3 = 0.25$

3.2 Stima delle portate al colmo

Lo studio per la stima delle portate idrologiche in corrispondenza degli attraversamenti esistenti si è basato sulle seguenti fasi:

- definizione dei bacini corrispondenti ai singoli attraversamenti;
- ricostruzione delle caratteristiche morfologiche, fisiche e idrologiche dei bacini, effettuata in ambiente GIS;
- analisi pluviometrica;
- calcolo delle portate di riferimento per la verifica idraulica.

3.2.1 Individuazione e caratterizzazione dei bacini

La delimitazione dei bacini corrispondenti ai singoli attraversamenti è stata effettuata a partire dai punti d'intersezione tra la linea ferroviaria in oggetto di intervento e i corsi d'acqua presenti nella zona. I bacini così definiti sono stati denominati mediante un ID e la progressiva chilometrica dell'attraversamento a cui corrispondono.

Per ricostruire la rete idrografica e individuare i limiti dei bacini, delineati a partire dalle sezioni di interesse, è stato utilizzato, dove presente, il modello digitale del terreno alla risoluzione di 1 m fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Nelle zone in cui il DTM a risoluzione 1 m non era disponibile è stato utilizzato il modello digitale del terreno di risoluzione pari a 10 m disponibile presso l'INGV (Tinitaly - Download area - ingv.it).

Una volta delineati i bacini è stato possibile individuarne le principali caratteristiche morfologiche, fisiche ed idrologiche.

La seguente Figura 3 rappresenta i bacini del Lotto 1A:

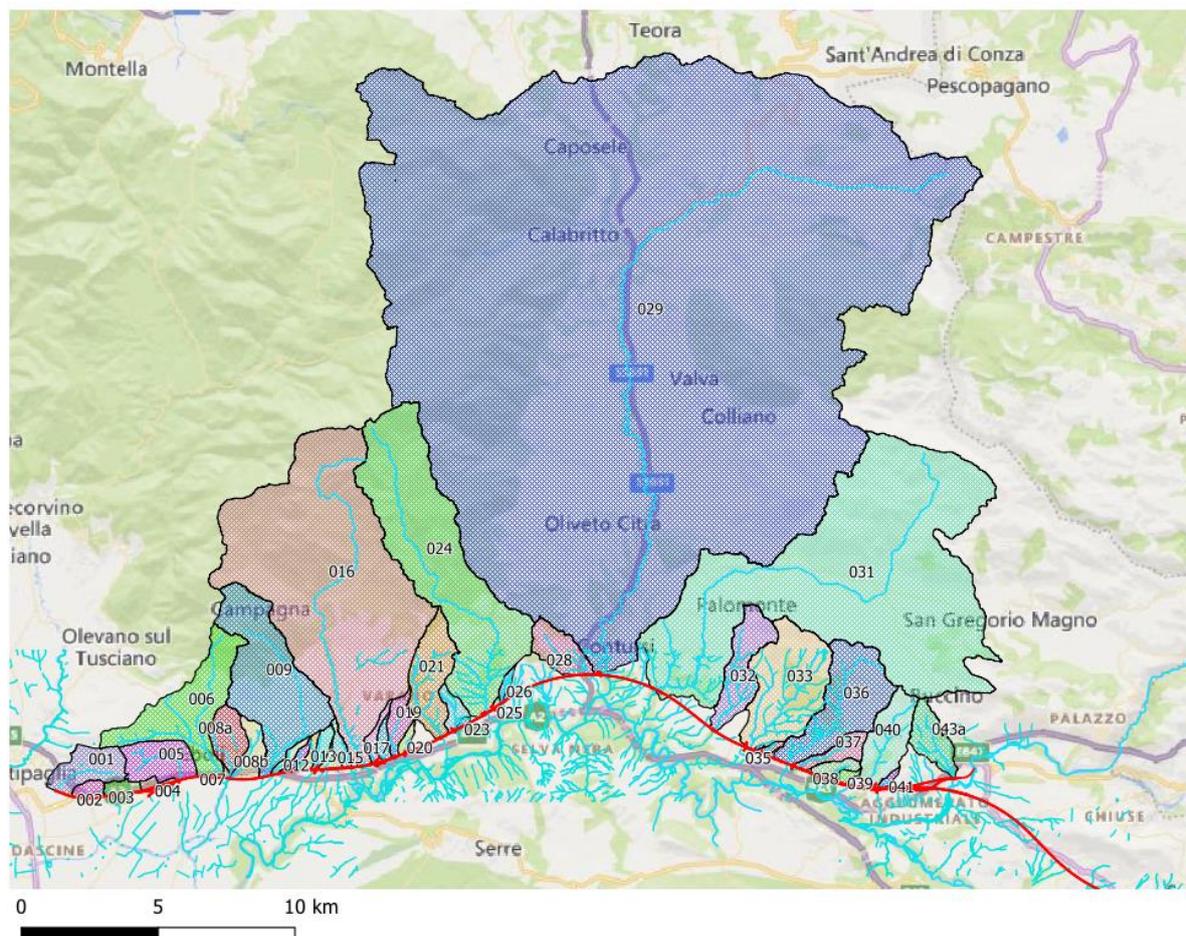


Figura 3 – Delimitazione dei bacini del lotto 1A

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1E	A1 R 09	RI	ID0001 001	A	15 di 30

Mediante analisi spaziale sono state calcolate le seguenti caratteristiche:

- area del bacino;
- lunghezza dell'asta idrografica principale;
- quota massima dell'asta principale (H_{top} river);
- quota del bacino alla sezione di chiusura (H₀).
- quota media del bacino (H_{medio});
- pendenza media dell'asta idrografica principale.

Le caratteristiche topografiche sono riportate nella seguente Tabella 8.

ID	P.k.	Area bacino [km ²]	Lunghezza asta principale [km]	H ₀ [m s.m.m.]	H _{top} [m s.m.m.]	Pendenza media dell'asta [m/m]	Pendenza media del bacino [m/m]	H media bacino [m s.m.m.]
1	0+53	3.30	3.30	67.8	139.3	0.03	0.19	158.8
2	0+700	0.64	0.64	69.3	112.0	0.04	0.20	125.5
3	2+156	0.59	0.59	71.3	152.0	0.31	0.28	134.7
4	3+667	0.35	0.35	67.9	73.0	0.04	0.21	102.5
5	4+715	3.51	3.50	74.2	192.0	0.04	0.17	142.1
6	6+180	9.67	9.68	71.9	900.2	0.13	0.27	355.5
7	6+445	0.09	0.32	70.0	86.3	0.05	0.07	76.3
8a	6+530	2.38	2.60	70.0	241.2	0.06	0.15	166.0
8b	6+530	1.61	1.61	70.0	137.8	0.03	0.07	117.1
9	7+770	14.21	14.21	78.4	867.0	0.11	0.25	444.2
10	8+140	0.48	0.48	84.8	106.0	0.02	0.03	103.8
11	8+620	0.38	0.38	93.5	114.2	0.02	0.03	108.4
12	8+975	0.51	0.51	99.9	123.3	0.01	0.02	114.8
13	9+640	0.67	0.67	99.9	129.0	0.02	0.03	123.5
14	10+020	0.38	0.38	107.3	119.7	0.02	0.02	116.8
15	10+910	0.66	0.66	84.3	119.9	0.03	0.06	122.9
16	11+480	49.96	49.96	52.0	1306.4	0.16	0.42	651.5
17	12+100	0.70	0.70	73.2	114.5	0.04	0.09	131.7
18	12+310	0.56	0.56	72.8	102.3	0.08	0.08	127.6
19	12+610	1.43	1.43	71.3	170.0	0.06	0.11	171.8
20	13+030	0.37	0.37	73.7	151.4	0.12	0.11	135.2
21	14+500	5.14	5.14	65.2	370.0	0.06	0.21	299.6
22	15+080	0.91	0.92	75.3	330.4	0.16	0.22	197.2
23	15+200	0.11	0.11	77.0	132.6	0.17	0.19	138.8
24	16+420	27.95	27.98	73.0	1704.0	0.14	0.39	750.5
25	16+960	0.07	0.07	103.0	124.0	0.17	0.15	122.3
26	17+080	0.32	0.32	104.2	307.0	0.15	0.26	209.2
27	17+160	0.04	0.04	110.5	172.0	0.23	0.25	152.8
28	20+440	2.75	2.75	99.5	377.0	0.11	0.20	277.6
29	21+000	328.90	328.90	83.5	974.0	0.03	0.35	715.2
30	21+155	0.17	0.17	93.7	169.0	0.09	0.16	149.5
31	22+950	66.91	66.90	105.9	818.0	0.06	0.28	619.3
32	25+550	4.75	4.75	167.4	348.0	0.04	0.22	322.4
33	27+035	10.49	10.48	153.1	486.0	0.06	0.20	322.5

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1E	A1 R 09	RI	ID0001 001	A	16 di 30

ID	P.k.	Area bacino [km ²]	Lunghezza asta principale [km]	H ₀ [m s.m.m.]	H _{top} [m s.m.m.]	Pendenza media dell'asta [m/m]	Pendenza media del bacino [m/m]	H media bacino [m s.m.m.]
34	27+265	0.04	0.05	172.6	190.0	0.10	0.13	193.4
35	27+430	0.25	0.25	180.9	220.0	0.06	0.09	214.1
36	28+575	8.96	8.95	129.0	484.0	0.05	0.19	355.4
37	28+940	1.50	1.50	153.0	350.0	0.07	0.16	290.1
38	30+050	0.87	0.99	174.63	292.70	0.12	0.17	257.19
39	30+360	0.29	0.39	178.41	239.90	0.16	0.20	257.74
40	31+785	4.47	4.26	186.81	569.00	0.09	0.20	392.62
41	32+025	0.24	0.52	194.36	272.00	0.15	0.18	279.65
43a	34+736	2.64	3.13	173.09	512.50	0.11	0.20	399.93

Tabella 8 – Caratteristiche topografiche dei bacini del lotto 1A.

3.2.2 Stima delle portate di progetto

Il calcolo delle portate di colmo è stato effettuato utilizzando il metodo razionale e le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSP) derivanti dall'elaborazione statistica dei dati di pioggia registrati presso le stazioni di misura considerate ed utilizzando i metodi suggeriti dal VA.PI.

3.2.2.1 Metodo cinematico o razionale

Uno dei più comuni metodi per il calcolo della portata di piena è il metodo razionale. La relazione che esprime la portata di piena in funzione del tempo di ritorno, per mezzo della pioggia critica, e delle caratteristiche del bacino è:

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

In cui:

- Q_{max} è la portata di piena espressa in m³/s;
- φ è il coefficiente di deflusso;
- S è la superficie del bacino, espressa in km²;
- h è l'altezza di pioggia critica in mm;
- t_c è il tempo di corrivazione del bacino in ore.

Il **tempo di corrivazione**, parametro chiave quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

In letteratura esistono diverse formulazioni che permettono di stimare il valore del tempo di corrivazione sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del bacino idrografico.

Per il presente studio sono state considerate le formulazioni di Giandotti, Pasini, Pezzoli, Ventura, Chow, Kerby e Kirpich, utilizzate in base al campo di applicabilità, perlopiù dipendente dalle dimensioni dell'area del bacino.

Di seguito si riportano le relazioni più comunemente utilizzate:

Giandotti (1934): è una relazione frequentemente utilizzata per tale calcolo che tiene conto della morfologia del bacino ed è valida per superfici variabili fra 170 e 70'000 km²:

$$t_c = \frac{(4 \sqrt{S} + 1.5 L)}{0.8 \sqrt{(H_m - H_0)}}$$

dove

A = area del bacino sottesa alla sezione di calcolo [km²];

L = lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua principale [km];

H_m = quota media del bacino [m s.m.m.];

H₀ = quota della sezione di chiusura [m s.m.m.].

La formula di Giandotti ha il pregio, rispetto ad altre relazioni, di comprendere nei parametri utilizzati per il calcolo del tempo di corrivazione diverse caratteristiche dei bacini analizzati. Questo garantisce una ricostruzione dei tempi di corrivazione basata sui principali parametri dei bacini.

Kirpich: la formula valuta il tempo di corrivazione in base al rapporto tra la lunghezza dell'asta principale (dalla sezione di chiusura al punto più elevato) e la sua pendenza media. Tale metodo ben si adatta a bacini di modesta estensione (qualche chilometro quadrato) e, come nei bacini in esame, con pendenze elevate del corso d'acqua.

$$t_c = 0.0195 k \left(\frac{L}{\sqrt{i}} \right)^{0.77}$$

dove *k* è il coefficiente di riduzione legato all'uso del suolo (1.0 per suolo nudo, 2.0 per suolo inerbito). Nel caso dei bacini oggetto di questo studio è stato utilizzato un coefficiente di riduzione pari a 2.

Pezzoli: ha proposto una formula del tempo di corrivazione dedotta sulla base di misure relative ad alcuni piccoli bacini piemontesi.

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

Chow: ha riconosciuta l'applicabilità della formula del tempo di ritardo proposta insieme a Watt, ottenuta utilizzando i dati relativi a 44 bacini americani e canadesi di area compresa tra 0.01 e 5840 km² e caratterizzati da valori della pendenza *i_a* variabili tra 0.00121 e 0.0978,

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA RC1E	LOTTO A1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

analizzando i dati relativi a 20 piccoli bacini americani di superficie variabile tra 0.012 e 18.5 km² con a=0.00116 e b=0.64.

Kirpich: ha proposto una correlazione, in forma grafica, tra il tempo di corrivazione e il rapporto $L/\sqrt{i_a}$ utilizzando i dati di sei piccoli bacini americani di area compresa tra 0.0051 e 0.433 km²:

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

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

Pasini: Considerando la pendenza, la lunghezza del percorso idraulicamente più lungo del bacino in km e la superficie in km², Pasini esprime il tempo di corrivazione come:

$$t_c = 0.108 \frac{(\sqrt[3]{S L})}{\sqrt{i_a}}$$

La formula di Pasini è stata sviluppata per bacini inferiori a 40km².

Ventura (per bacini inferiori a 40km²): Considerando la pendenza i_a e la superficie in km², Ventura esprime invece il tempo di corrivazione come:

$$t_c = 0.1272 \sqrt{\frac{S}{i_a}}$$

L'**altezza di pioggia critica** si deduce dalla LSPP di assegnato tempo di ritorno T_r , ponendo $t=t_c$. In quest'istante, infatti, la pioggia possiede la durata minima tale per cui tutto il bacino contribuisce alla formazione del deflusso e l'intensità maggiore, poiché al crescere della durata la precipitazione diviene sempre meno intensa.

Infine, il **coefficiente di deflusso** è stato ottenuto calcolando il rapporto tra la pioggia efficace e la pioggia totale. In particolare, la pioggia efficace è stata calcolata mediante il metodo del Curve Number (CN), sviluppato dal Soil Conservation Service (SCS), descritto con maggior dettagli al successivo par. 3.3.1.1, che valuta la massima ritenzione potenziale del terreno, calcolata mediante la formula:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Il Curve Number è stato calcolato sulla base della mappa di uso del suolo e assumendo una classe di permeabilità B (Figura 4).

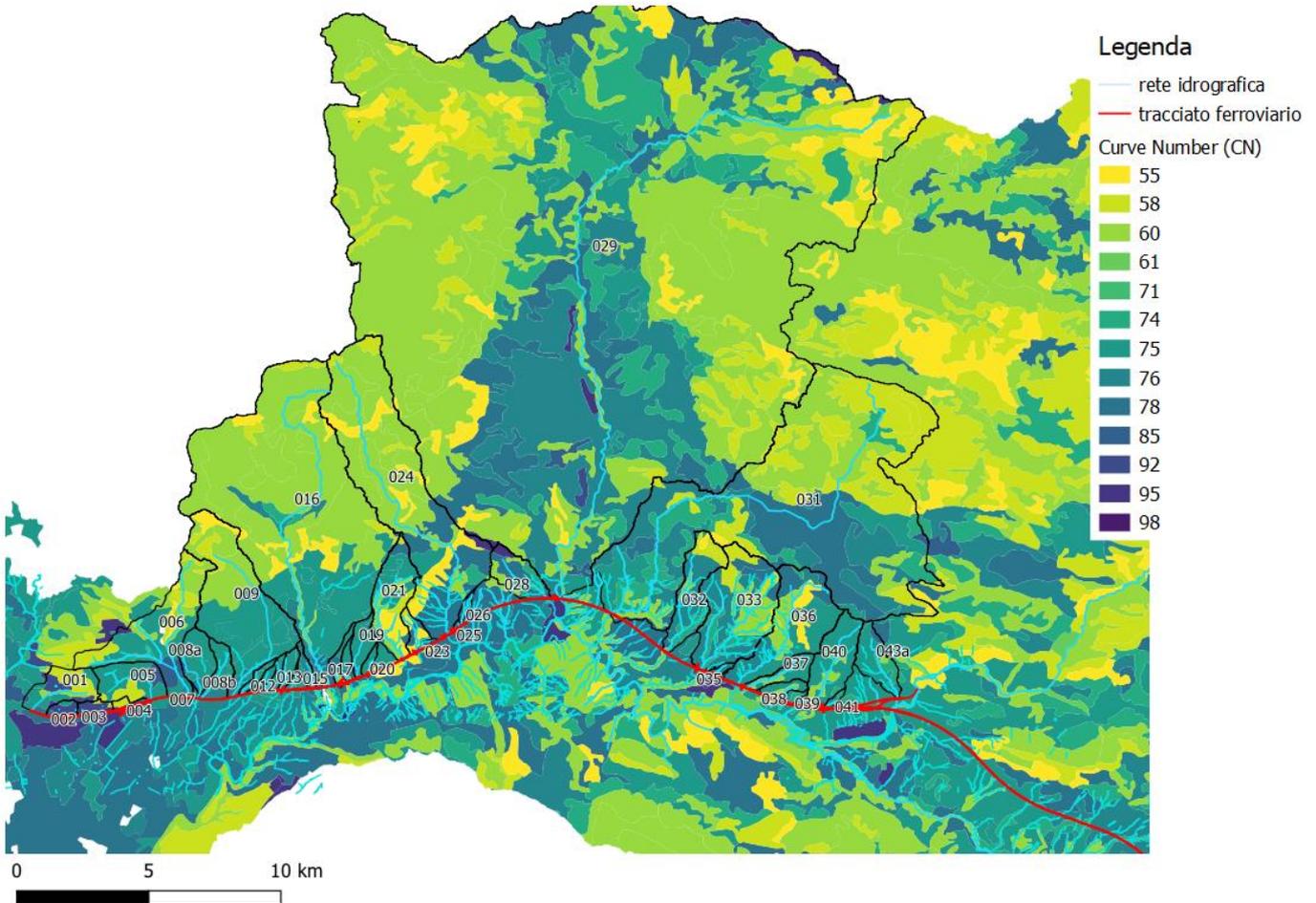


Figura 4 – Rappresentazione cartografica del CN nell'area di studio (bacini del lotto 1A)

La pioggia netta viene definita come la differenza tra l'altezza di pioggia e le perdite iniziali (I_a):

$$P_n = h_{netta} - I_a$$

assumendo $I_a = 0.05 S$, essendo S la capacità idrica massima del suolo.

L'equazione per il calcolo della pioggia efficace è definita come:

$$P_e = \frac{P_n^2}{P_n + S}$$

dove P_n è la pioggia netta e S la capacità idrica massima del suolo.

Il coefficiente di deflusso φ è dunque pari al rapporto tra la pioggia efficace (P_e) e la pioggia totale (h_{netta}):

$$\varphi = \frac{P_e}{h_{netta}}$$

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1E	A1 R 09	RI	ID0001 001	A	20 di 30

3.2.2.2 Portate calcolate mediante metodologia VA.P.I.

Nel caso frequente in cui i dati di pioggia registrati nelle stazioni presenti nell'area di studio dovessero essere insufficienti per un'analisi statistica, possono essere utilizzati diversi modelli per la stima indiretta della piena media annua; nel seguito ne vengono riportati i principali risultati applicativi introdotti nel rapporto VA.P.I.

Regressione empirica:

Tra le diverse formulazioni di tipo regressivo fra la piena media annua e le principali grandezze fisiche del bacino, per le sue prestazioni statistiche, il rapporto VA.P.I. propone 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 valgono

- $a = 3.2160$
- $b = 0.7154$

Modelli concettuali:

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

- A1, la superficie carbonatica del bacino non coperta da bosco
- A2, la superficie non carbonatica del bacino;
- A3, la superficie carbonatica del bacino con copertura boschiva

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

1) Formula razionale

Il modello razionale ha caratteristiche previsionali non molto inferiori a quelle di un modello concettuale più completo, che si espone in seguito, ma risulta di uso piuttosto agevole. In sintesi, tale modello si riassume nella seguente espressione:

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

in cui i parametri del modello, cioè il coefficiente di piena C^* ed il tempo di ritardo del bacino, tr , possono essere valutati in base alle seguenti espressioni:

$$C_f = C_{f1} \left(\frac{A1}{A} \right) + C_{f2} \left(\frac{A2}{A} \right)$$

$$t_r = \frac{C_{f1} A1}{C_f A} \frac{1,25}{3,6c_1} \sqrt{A1} + \frac{C_{f2} A2}{C_f A} \frac{1,25}{3,6c_2} \sqrt{A2}$$

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1E	A1 R 09	RI	ID0001 001	A	21 di 30

dove le aree sono espresse in km², tr in ore, [I(tr)] in mm/ora ed (Q) in m³/s e

- $C^*_1 = 0.29$
- $C^*_2 = 0.36$
- $c_1 = 0.23$ m/s
- $c_2 = 1.87$ m/s

2) Modello geomorfoclimatico

Il modello geomorfoclimatico è il modello i cui parametri possiedono maggiore significato fisico ed è rappresentato dalla 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, tr;
- C_f è il coefficiente di afflusso di piena del bacino, che tiene conto della 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;
- $S(d^*)$ 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.

La stessa espressione può anche essere riscritta come:

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

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

$$q = \begin{cases} 0.6 \text{ se } 0.25 \leq n' = 1 + k_1 A - \frac{\beta \frac{tr}{d_c}}{1 + \frac{tr}{d_c}} \leq 0.45 \\ 0.65 \text{ se } 0.45 \leq n' = 1 + k_1 A - \frac{\beta \frac{tr}{d_c}}{1 + \frac{tr}{d_c}} \leq 0.65 \end{cases}$$

in cui b e dc sono i parametri della legge di probabilità pluviometrica per l'area omogenea considerata, mentre k_1 è un coefficiente numerico pari a:

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

se le aree sono in km², le durate in ore e le intensità di pioggia in mm/ora.

La piena media annua viene calcolata 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 tr del bacino, valutabili attraverso le seguenti espressioni:

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1E	A1 R 09	RI	ID0001 001	A	22 di 30

$$C_f = C_{f1} \left(\frac{A1}{A} \right) + C_{f2} \left(\frac{A2}{A} \right)$$

$$t_r = \frac{C_{f1} A_1}{C_f A} \frac{1,25}{3,6c_1} \sqrt{A_1} + \frac{C_{f2} A_2}{C_f A} \frac{1,25}{3,6c_2} \sqrt{A_2}$$

in cui:

- $C_{f1} = 0.42$
- $C_{f2} = 0.56$
- $c_1 = 0.23$ m/s
- $c_2 = 1.87$ m/s

3.2.2.3 Stima del valor medio - Norme di attuazione dei PSAI dei bacini in destra e sinistra Sele (Agosto 2016)

Le norme di attuazione dei PSAI relativi ai bacini idrografici regionali in destra e sinistra Sele ed interregionale del Fiume Sele, indicano di valutare l'ordine di grandezza della media dei massimi annuali della portata istantanea, $\mu(Q)$, attraverso la relazione:

$$\mu(Q) = 6.3511 \cdot [(1-pp) \cdot S]^{0.6387}$$

dove la portata $\mu(Q)$ è espressa in m³/s; pp rappresenta la percentuale di area permeabile ricadente nel bacino ed S rappresenta l'area complessiva del bacino sotteso dalla sezione di interesse (espressa in km²).

Il valore QT del massimo annuale della portata istantanea corrispondente al periodo di ritorno T è pari al prodotto:

$$Q_T = \eta \cdot (\mu Q K_T)$$

all'interno del quale K_T è il coefficiente di crescita col periodo di ritorno T, il cui valore è riportato nella precedente Tabella 6.

3.2.2.4 Risultati ottenuti

La portata di progetto per la verifica delle opere, avente un tempo di ritorno pari a 200 anni, è stata calcolata con i diversi metodi illustrati ai paragrafi precedenti.

Per ciascun bacino:

- sono stati calcolati il tempo di corrivazione mediante le diverse formule di letteratura e indicate nel VA.P.I.;
- sono stati identificati la stazione pluviometrica di riferimento ed i parametri della curva di possibilità pluviometrica calcolata;
- sono stati ricavati i valori delle precipitazioni con il Metodo Va.P.I.;
- sono stati calcolati i valori di piena mediante i diversi metodi: cinematico, metodi VA.P.I. empirico, razionale, geomorfologico, metodo della regionalizzazione indicato nel PAI.

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1E	A1 R 09	RI	ID0001 001	A	23 di 30

La seguente Tabella 9 riassume i risultati ottenuti.

ID	Progr.	Area bacino [km ²]	Tempo di corrivazione [ore]	CN	φ	H pioggia stazioni [mm]	m[I(d)] VA.P.I. [mm/h]	Q metodo cinematico [m ³ /s]	Q metodo razionale VA.P.I. [m ³ /s]	Q metodo geomorf. VA.P.I. [m ³ /s]	Q regr. empirica VA.P.I. [m ³ /s]	Q regionalizzazione PAI [m ³ /s]
1	0+53	3.30	0.99	71.6	0.36	68.58	51.97	22.73	30.14	30.48	26.66	53.64
2	0+700	0.64	0.32	86.5	0.43	34.84	63.19	8.19	7.15	7.23	8.24	17.98
3	2+156	0.59	0.25	87.2	0.39	28.88	63.65	7.44	6.64	6.71	7.77	15.87
4	3+667	0.35	0.25	71.4	0.16	28.88	66.22	1.76	4.11	4.15	5.35	15.10
5	4+715	3.50	0.93	72.8	0.40	75.49	51.46	31.64	31.64	31.99	27.81	55.14
6	6+180	9.68	1.00	68.4	0.18	68.75	40.84	59.24	91.30	92.31	57.59	106.90
7	6+445	0.09	0.25	74	0.36	28.88	72.05	0.52	0.78	0.72	2.0	7.22
8a	6+530	2.38	0.64	75.5	0.37	57.72	54.21	21.8	22.28	22.52	21.1	43.38
8b	6+530	1.61	0.73	75.3	0.39	63.51	57.34	15.08	16.27	16.45	15.95	36.54
9	7+770	14.21	1.38	68.4	0.35	76.53	40.83	76.16	102.0	103.18	75.79	135.54
10	8+140	0.48	0.45	75.1	0.29	44.55	64.69	3.86	5.49	5.55	6.71	18.58
11	8+620	0.38	0.37	75.0	0.25	38.23	65.84	2.80	4.43	4.48	5.67	16.16
12	8+975	0.51	0.60	75.0	0.35	55.00	64.39	4.48	5.81	5.87	7.00	20.06
13	9+640	0.67	0.48	75.0	0.30	46.58	62.93	5.47	7.45	7.53	8.52	22.77
14	10+020	0.38	0.26	75.2	0.20	29.47	65.85	2.40	4.43	4.48	5.67	15.50
15	10+910	0.66	0.36	75.9	0.26	37.94	63.01	5.06	7.35	7.43	8.42	21.84
16	11+480	49.96	2.09	63.7	0.38	107.38	32.06	271.33	330.8	334.50	186.33	283.90
17	12+100	0.70	0.35	73.4	0.23	37.09	62.69	4.69	7.76	7.84	8.79	24.16
18	12+310	0.56	0.25	74.7	0.24	36.06	63.82	5.32	6.43	6.50	7.49	21.20
19	12+610	1.43	0.46	75.0	0.36	57.97	58.26	17.97	14.69	14.85	14.66	35.53
20	13+030	0.37	0.25	73.4	0.22	36.06	66.00	3.30	4.33	4.37	5.56	16.62
21	14+500	5.14	1.04	66.8	0.37	88.14	48.12	44.42	53.22	53.81	36.61	73.42
22	15+080	0.92	0.27	64.3	0.15	38.31	56.53	5.36	18.35	18.55	10.69	28.35
23	15+200	0.11	0.25	70.1	0.19	36.06	68.21	0.83	2.67	2.70	2.33	8.13
24	16+420	27.98	1.71	64.1	0.37	101.45	38.17	171.15	206.2	208.54	123.07	205.38
25	16+960	0.07	0.25	78.0	0.28	36.06	69.79	0.79	1.74	1.76	1.68	6.22
26	17+080	0.32	0.25	78.0	0.28	36.06	63.39	3.61	7.06	7.14	5.01	15.26
27	17+160	0.04	0.25	78.0	0.28	36.06	71.41	0.45	1.03	1.04	1.11	4.47
28	20+440	2.75	0.51	74.5	0.37	62.54	52.19	35.11	30.48	30.81	23.40	53.74
29	21+000	328.90	9.44	66.3	0.54	172.41	16.76	903.16	1038.6	969.39	717.46	827.17
30	21+155	0.17	0.25	68.8	0.18	36.06	66.40	1.19	4.00	4.05	3.18	10.51
31	22+950	66.90	3.21	73.5	0.54	121.07	17.30	376.88	378.90	353.64	229.61	337.24
32	25+550	4.75	1.17	71.3	0.43	91.30	37.06	44.30	59.08	55.14	34.60	73.01
33	27+035	10.48	1.53	69.8	0.43	98.39	29.62	80.83	100.50	93.80	60.96	116.23
34	27+265	0.05	0.25	75.3	0.23	33.60	90.40	0.43	1.62	1.64	1.31	5.10
35	27+430	0.25	0.25	76.0	0.24	33.60	72.39	2.22	6.41	6.48	4.20	13.19
36	28+575	8.95	1.51	70.8	0.39	80.79	31.73	52.12	99.06	92.46	54.45	106.57
37	28+940	1.50	0.53	71.7	0.28	50.18	58.20	11.06	30.76	31.11	15.17	37.74
38	30+050	0.87	0.25	70.1	0.17	33.60	57.05	5.62	17.51	17.71	10.27	27.44
39	30+360	0.29	0.25	74.6	0.22	33.60	63.90	2.39	6.56	6.63	4.67	14.40
40	31+785	4.47	0.80	72.4	0.34	62.44	42.45	33.50	66.58	67.32	33.13	71.00
41	32+025	0.24	0.25	74.8	0.22	33.60	72.40	2.00	6.15	6.22	4.08	12.88
43a	34+736	2.64	0.54	89.5	0.32	50.94	44.38	21.95	38.1	38.52	22.7	52.12

Tabella 9 – Tempi di corrivazione dei bacini, CN, coefficiente di deflusso, portate TR200 calcolate con i diversi metodi.

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1E	A1 R 09	RI	ID0001 001	A	24 di 30

Il seguente grafico (Figura 5) riporta l'andamento delle portate calcolate con i diversi metodi in funzione dell'area del bacino.

Si osserva una buona corrispondenza dei risultati ottenuti con i diversi metodi.

Ai fini della verifica delle interferenze sono stati adottati i valori di portata calcolati con il metodo geomorfoclimatico del VA.P.I., che è basato su parametri geomorfologici e generalmente restituisce valori più cautelativi rispetto ad altri metodi.

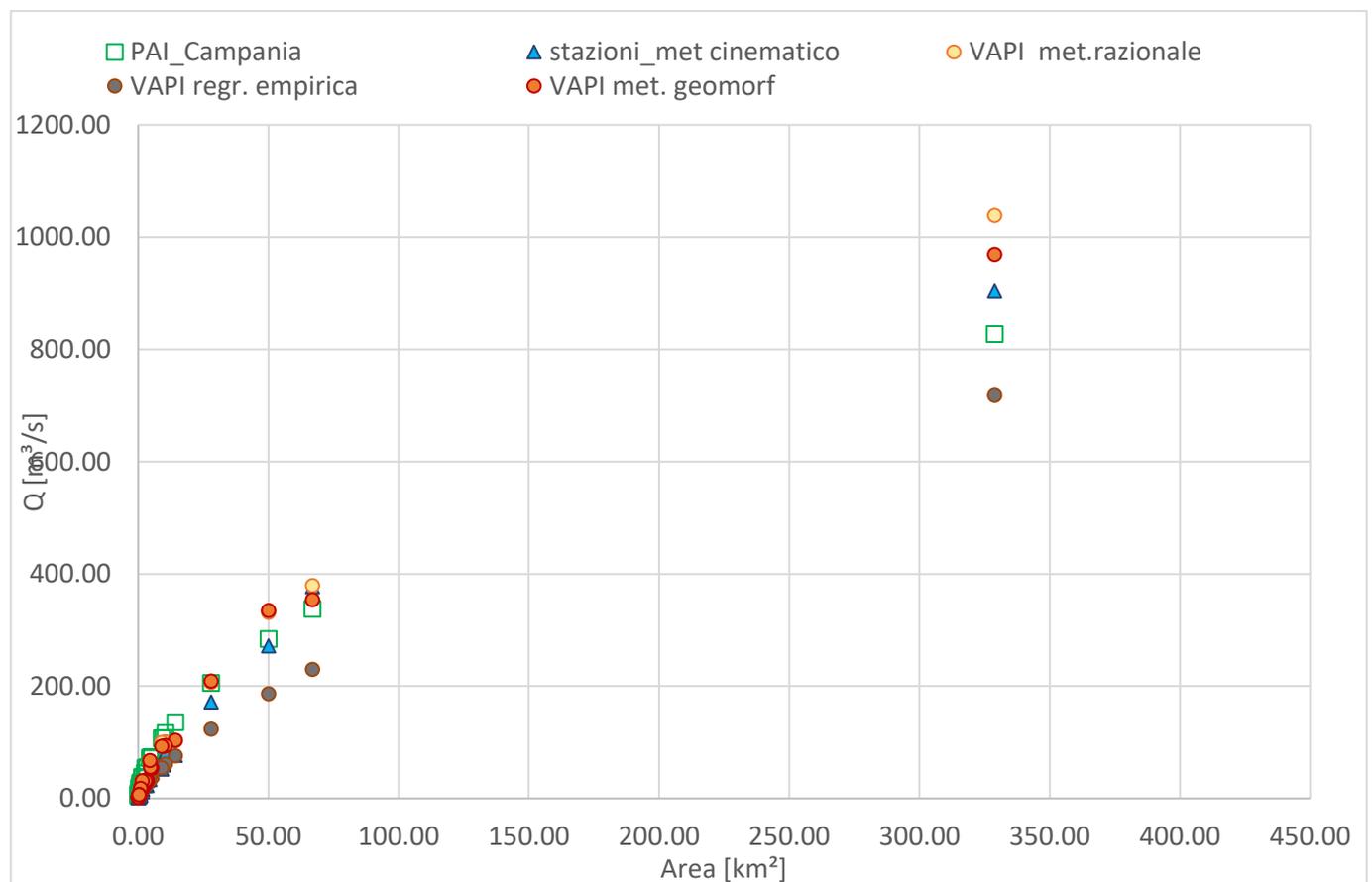


Figura 5 – Portate calcolate con i diversi metodi per i sottobacini del lotto 1A in funzione dell'area sottesa alla sezione dell'interferenza idraulica

3.3 Analisi idrologica dei corsi d'acqua maggiori: fiume Sele

Si riporta di seguito lo studio idrologico sviluppato al fine di definire gli idrogrammi di piena per il Fiume Sele. Gli idrogrammi ottenuti sono utilizzati come condizioni idrologiche del modello bidimensionale sviluppato nell'ambito del presente progetto e presentato nell'elaborato RC1EA1R09RIID0002002A.

Il bacino del Fiume Sele in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario ha un'area di 328 km². Nella seguente Figura 6 si riporta un inquadramento della linea ferroviaria in corrispondenza del fiume Sele.

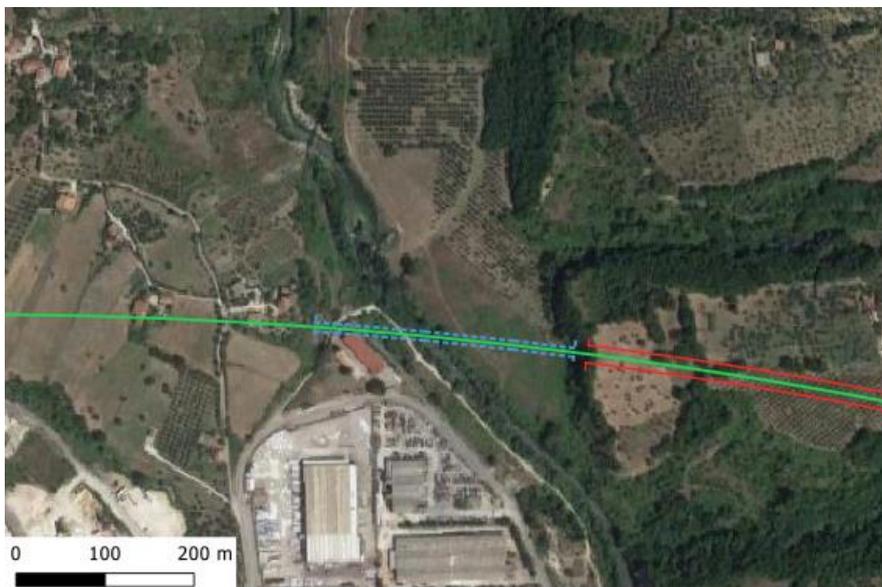


Figura 6 – Fiume Sele in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario

3.3.1 Metodologia

Al fine di individuare gli idrogrammi di piena dei bacini in esame per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni si è assunto che la portata abbia il medesimo tempo di ritorno della pioggia che l'ha generata (linearità della trasformazione).

La modellazione idrologica dell'area in esame è stata effettuata tramite il software HEC-HMS, sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center, ideato per simulare i processi di afflussi e deflussi all'interno di un bacino idrografico, applicabile nelle più generali condizioni geografiche e per diversi problemi di natura idrologica. In particolare, il software consente, a partire da una precipitazione nota o da una curva di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno, di ricavare attraverso la "convoluzione" dell'idrogramma unitario istantaneo del bacino l'intera onda di piena e la relativa portata al colmo alla sezione di chiusura.

I parametri morfologici che costituiscono parte dell'input per la modellazione idrologica (area, quota media e pendenza del bacino, lunghezza e pendenza dell'asta) sono stati ricavati in ambiente GIS.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA RC1E	LOTTO A1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

Per la stima dei valori dei CN sono stati presi come riferimento i dati di uso del suolo (CORINE) e le informazioni disponibili relative alla permeabilità dei suoli¹ ed alla geologia².

I dati di pioggia utilizzati come input al modello derivano dall'analisi pluviometrica effettuata mediante metodo VA.P.I.

Tra i metodi disponibili, è stato usato il metodo “Frequency Storm” che produce una pioggia sintetica a partire dai dati statistici sulle precipitazioni (altezza di pioggia associata ad una durata ed un tempo di ritorno specifici: questo tipo di ietogramma presenta per ogni durata, anche parziale, l'intensità media della precipitazione coerente con quella definita dall'analisi statistica o dalla curva di possibilità pluviometrica. La posizione della maggiore intensità può essere posizionata al 25%, 33%, 50%, 67% o 75% della durata. La posizione non cambia l'altezza di precipitazione totale, ma cambia il modo in cui questa è distribuita nel tempo. Nel caso in esame è stato scelto di posizionare il picco di intensità al 50% della durata.

La modellazione idrologica è stata eseguita utilizzando il metodo dell'idrogramma unitario istantaneo – SCS.

Il modello idrologico è stato calibrato prendendo come riferimento i valori di piena ottenuti mediante metodologia VA.P.I.

3.3.1.1 Calcolo delle perdite idrologiche

La determinazione della pioggia efficace, ovvero della frazione di pioggia che defluisce direttamente alla rete idrografica, è stata effettuata mediante il metodo sviluppato dal Soil Conservation Service (SCS, 1972) del Curve Number (CN).

Il metodo è basato sull'assunzione che all'inizio dell'evento pluviometrico parte del volume piovuto, indicato nel seguito come V_0 , sia necessario a saturare il terreno e quindi non contribuisca alla formazione del deflusso superficiale. Quando il volume cumulato della precipitazione caduta eccede tale volume V_0 , ha inizio il processo di ruscellamento superficiale, secondo un paradigma di tipo hortoniano. Per queste assunzioni, il metodo SCS può essere ritenuto un metodo di tipo misto dunniano-hortoniano in quanto considera sia un volume iniziale di saturazione sia un limite alla capacità di infiltrazione del terreno.

Il valore V_0 sintetizza la condizione del bacino negli istanti precedenti l'evento pluviometrico ed è definita in accordo con l'altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni antecedenti l'evento considerato, condizione usualmente indicata con l'acronimo inglese AMC (Antecedent Moisture Content). La condizione del terreno del bacino può essere classificata come inizialmente asciutta, (AMC-I), caratterizzata da una condizione di umidità intermedia (AMC-II), oppure prossima alla saturazione a causa di un evento pluviometrico accaduto in precedenza (AMC-III). Di conseguenza, lo stato del terreno caratterizzato da una condizione AMC-I sarà quella che potenzialmente genererà il contributo al ruscellamento superficiale più contenuto, mentre la condizione AMC-III il più elevato.

Come anticipato al par. 3.2.2.1, l'equazione proposta dal SCS definisce il ruscellamento superficiale come:

$$P_e = \frac{(P - V_0)^2}{(P + S - V_0)}$$

in cui:

¹ ISPRA (2019): Elaborazione preliminare di una Carta della Permeabilità d'Italia derivata dalle informazioni della Carta Litologica d'Italia

² Vitale Stefano, Ciarcia Sabatino (2018): Tectono-stratigraphic setting of the Campania region (southern Italy). Journal of Maps, vol. 14

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1E	A1 R 09	RI	ID0001 001	A	27 di 30

Pe: altezza di precipitazione che partecipa al ruscellamento superficiale (in mm) all'istante temporale t;

P: altezza di precipitazione (in mm) piovuta sino all'istante t;

S: massima ritenzione potenziale del terreno, calcolata mediante la relazione:

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

dove CN è il coefficiente di ruscellamento, denominato Curve Number, che dipende dalla tipologia di terreno, dall'uso del suolo e dal contenuto di umidità del terreno.

Il Soil Conservation Service, ed altri autori, forniscono valori empirici di CN a seconda delle caratteristiche idrogeologiche del tipo di suolo, dell'uso del suolo congiuntamente alle pratiche agricole o ai trattamenti dei terreni e della condizione di umidità iniziale (condizioni I, II, o III). La Figura 7 riporta i valori di CN per diverse tipologie di uso del suolo, trattamento, condizione idrologica e caratteristiche idrogeologiche. Queste ultime sono specificate suddividendo i terreni in quattro gruppi (A, B, C e D) in dipendenza dalla loro capacità di infiltrazione (Tabella 10).

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

Figura 7 – Valori di Curve Number per diverse tipologie di uso del suolo, condizione idrologica e gruppo di terreno

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1E	A1 R 09	RI	ID0001 001	A	28 di 30

Tipo di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende forti spessori di sabbie con scarsissimo limo e argilla; anche forti spessori di ghiaie profonde e molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte degli strati sabbiosi meno spessi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità d'infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità d'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 10 – Esempi di suoli ricadenti nella classificazione SCS.

Per stimare il parametro Ia (Initial Abstraction), che rappresenta il volume specifico di pioggia sottratto a priori al bilancio idrico, dati sperimentali (U.S. Dept. Agric., Soil Conservation Service, 1972) indicano che questo parametro è sempre proporzionale alla massima ritenzione potenziale del terreno (S), e può essere calcolato quindi come $c \cdot S$ con c compreso tra 0.05 e 0.2.

3.3.1.2 Trasformazione afflussi – deflussi

Il modello idrologico di distribuzione delle piogge efficaci di progetto è l'idrogramma unitario istantaneo SCS. Questo modello è stato ottenuto da una serie di idrogrammi unitari di numerosi bacini di caratteristiche dimensionali e geografiche diverse tra loro.

I parametri dell'idrogramma sono i seguenti:

- D = durata della precipitazione efficace unitaria;
- Q_p = portata di picco derivante dalla precipitazione efficace;
- T_l = tempo di ritardo, intervallo temporale tra il baricentro della precipitazione efficace e l'istante temporale in cui si verifica la portata di picco;
- T_p = tempo di picco, intervallo temporale compreso tra l'inizio della precipitazione e l'istante temporale in cui si verifica la portata di picco;
- T_c = tempo di concentrazione, calcolato sulla base delle caratteristiche del bacino, rappresenta il tempo che intercorre tra la fine della precipitazione efficace e il punto di flesso della curva di discesa dell'idrogramma;
- T_r = tempo di recessione, l'intervallo temporale tra il tempo di picco e la fine dell'idrogramma, dato dal rapporto $r = T_r / T_p$;
- T_b = durata totale dell'idrogramma, $T_b = T_r + T_p$;
- P_e = Runoff o precipitazione efficace.

Il tempo di ritardo, T_l è pari a circa 0.6 T_c e può essere calcolato dalla seguente formula:

$$T_l = \frac{L^{0.8} \cdot (S + 1)^{0.7}}{1900 \cdot Y^{0.5}}$$

Dove:

- L = lunghezza dell'asta principale (m),

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA RC1E	LOTTO A1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

- S = massima ritenzione potenziale, calcolata secondo il metodo del Curve Number,
- Y = pendenza media del bacino (%).

Il tempo di picco, T_p può essere calcolato come:

$$T_p = \frac{D}{2} + T_l$$

La portata di picco è calcolata come:

$$Q_p = \frac{p \cdot A_w \cdot P_e}{\frac{D}{2} + T_l}$$

con p fattore di picco; e coefficiente di controllo del volume dell'idrogramma nella fase di crescita e decrescita. I fattori di picco sono riportati in Tabella 11.

Tipo di bacino	Fattore di picco	Coefficiente della curva di esaurimento
Bacini urbani, forti pendenze dei versanti	575	1.25
SCS "standard"	484	1.67
Bacini misti urbani/rurali	400	2.25
Bacini rurali, buone pendenze dei versanti	300	3.33
Bacini rurali, dolci pendenze dei versanti	200	5.5
Bacini rurali, versanti piatti	100	12.0

Tabella 11 – Fattore di picco e coefficiente per la definizione della curva di esaurimento (Wanielista, et al. 1997)

3.3.2 VALUTAZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO

I parametri più significativi inseriti nel modello idrologico e le portate al colmo ottenute riportate nella seguente Tabella 12, mentre gli idrogrammi di piena calcolati per il fiume Sele secondo la metodologia descritta ai paragrafi precedenti sono riportati in Figura 8.

Parametro	Fiume Sele
Area (km ²)	329
CN	85
Lag Time (min)	340
Peak rate factor	450
Q max TR30 (m ³ /s)	697
Q max TR200 (m ³ /s)	981
Q max TR500 (m ³ /s)	1115

Tabella 12 – Parametri di calcolo più significativi inseriti in HEC HMS per la definizione degli idrogrammi di piena del fiume Sele e del fiume Bianco e portate al colmo ottenute

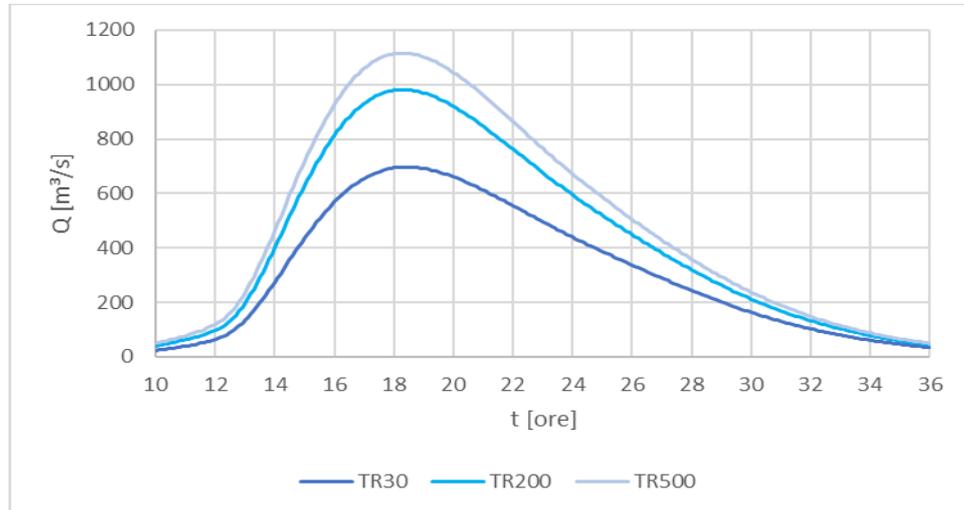


Figura 8 – Idrogrammi di piena – fiume Sele alla sezione dell’attraversamento ferroviario

I valori di portata al colmo ottenuti sono stati confrontati con quelli calcolati attraverso i diversi metodi indicati al par. 3.2.2. La figura seguente riporta un confronto dei valori al colmo, per cui si ritiene che quelli relativi agli idrogrammi sopra riportati siano adeguati al calcolo idraulico.

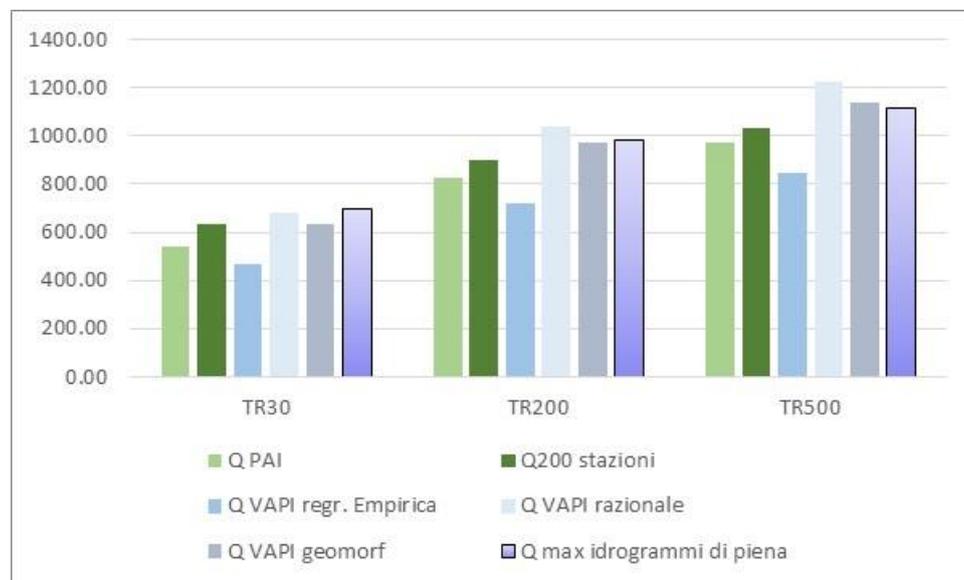


Figura 9 – Confronto delle portate al colmo ottenute con i diversi metodi (in blu sfumato quelli mediante modellazione in HEC HMS)