

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 1C BUONABITACOLO – PRAIA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica generale

SCALA:

-

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

RC2A C1 R 09 RI ID0001 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L. Nani 	Dic. 2021	A. Cappelli	Dic. 2021	I. D'Amore 	Dic. 2021	A. Vittozzi Luglio 2023 U.O. Opere Civili e Gestione della viabilità Dott. Ing. Agostino Vittozzi Incaricato degli Impianti della Provincia di Roma M. 7437/R ITALFERR S.p.A.
B	Emissione esecutiva	E. Sellari 	Luglio 2023	A. Cappelli 	Luglio 2023	I. D'Amore 	Luglio 2023	

File: RC2AC1R09RIID0001001B.doc

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	6
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO	9
2.1	PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME SELE.....	9
2.2	IL PIANO STRALCIO PER LA DIFESA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO DELL'AUTORITÀ DI BACINO DELLA BASILICATA	10
2.3	IL PIANO STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA REGIONE CALABRIA	13
2.4	NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (DECRETO 17 GENNAIO 2018 DEL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI)	14
2.5	PGRA DELL'ADB DELL'APPENNINO MERIDIONALE	14
2.6	NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (DECRETO 17 GENNAIO 2018 DEL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI)	15
2.7	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).....	16
2.8	MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE FERROVIARIE (RFI DTC SI CS MA IFS 001 D).....	16
3	STUDIO IDROLOGICO.....	17
3.1	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI.....	17
3.1.1	<i>Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche della Regione Campania.....</i>	<i>17</i>
3.1.2	<i>Metodo VA.PI. Regione Campania.....</i>	<i>21</i>
3.1.3	<i>Valutazione delle massime portate di piena naturali secondo il metodo VA.P.I. della Regione Basilicata.....</i>	<i>27</i>
3.1.4	<i>Valutazione delle massime portate di piena naturali secondo il VA.P.I. e POR della Regione Calabria.....</i>	<i>29</i>
3.2	STIMA DELLE PORTATE AL COLMO.....	31
3.2.1	<i>Individuazione e caratterizzazione dei bacini</i>	<i>31</i>
3.3	ANALISI IDROLOGICA	33
3.3.1	<i>Stima delle portate di progetto</i>	<i>34</i>
3.4	ANALISI IDROLOGICA DEI CORSI D'ACQUA MAGGIORI	44
3.4.1	<i>Metodologia.....</i>	<i>44</i>
3.4.2	<i>VALUTAZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO.....</i>	<i>48</i>

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

4	CAMBIAMENTI CLIMATICI	53
---	-----------------------------	----

INDICE DELLE FIGURE

Figura 7	Lotto 1c Buonabitacolo – Praia. Corografia dell'intervento	7
Figura 8	– Estratto della mappa delle fasce fluviali del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) del Bacino del Sele in corrispondenza del fiume Tanagro nel Vallo di Diano	10
Figura 9	– Fasce di pericolosità del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Basilicata nelle aree interessate dal tracciato ferroviario in progetto.	11
Figura 10	– Mappe pericolosità alluvione (PGRA-Appennino distretto meridionale -Anno2021).....	15
Figura 11	– Delimitazione dei bacini del lotto 1C.....	32
Figura 12:	Valori di Curve Number per diverse tipologie di uso del suolo, condizione idrologica e gruppo di terreno	38
Figura 13	– Rappresentazione cartografica del CN nell'area di studio (bacini del lotto 1Be 1C).....	39
Figura 14:	Distribuzione tipo di uno ietogramma Chicago	45
Figura 15:	Idrogramma Unitario SCS adimensionalizzato.....	46
Figura 16	– Fiume Noce in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario alla p.k. 26+671.....	48
Figura 17	– Fiume Noce in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario alla p.k. 38+429.....	48
Figura 18	– Fiume Noce -Bacini.	49
Figura 19	– Idrogrammi di piena – fiume Noce alla sezione dell'attraversamento ferroviario alla p.k. 26+671.....	50
Figura 20	– Idrogrammi di piena – fiume Noce alla sezione dell'attraversamento ferroviario alla p.k. 38+429.....	50
Figura 21	– Idrogrammi di piena – fiume Noce.	51
Figura 22	– Confronto delle portate al colmo ottenute con i diversi metodi -Bacino86.....	52
Figura 23	– Confronto delle portate al colmo ottenute con i diversi metodi -Bacino86.....	52
Figura 24	– Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5.....	54
Figura 25	– Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5.....	55

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1	– Stazioni di pioggia considerate per le analisi statistiche.....	17
-----------	---	----

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

Tabella 2 – Parametri curve di possibilità pluviometrica per durate superiori a 1 ora – Regione Campania.....	20
Tabella 3 – Parametri curve di possibilità pluviometrica per durate superiori a 1 ora – Regione Basilicata.	20
Tabella 4 – Parametri curve di possibilità pluviometrica per durate inferiori a 1 ora.	20
Tabella 5 – Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Campania.	22
Tabella 6 – Valori teorici del coefficiente di crescita probabilistico KT per le piogge in Campania, per alcuni valori del periodo di ritorno T.....	22
Tabella 7 – Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate in Campania.	23
Tabella 8 – Valori teorici del coefficiente di crescita probabilistico KT per le portate in Campania, per alcuni valori del periodo di ritorno T.....	23
Tabella 9 – Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche	24
Tabella 10 – Valori teorici del coefficiente di crescita probabilistico KT per le piogge in Basilicata, per alcuni valori del periodo di ritorno T.....	27
Tabella 11 – Valori teorici del coefficiente di crescita probabilistico KT per le portate in Basilicata, per alcuni valori del periodo di ritorno T.....	28
Tabella 12 – Valori dei parametri a ed n relativi alle curve di probabilità pluviometriche medie areali.	28
Tabella 13 – Caratteristiche geomorfologiche dei bacini del lotto 1C.	33
Tabella 14: Esempi di suoli ricadenti nella classificazione secondo SCS.....	38
Tabella 15 – Tempo di corrivazione.....	41
Tabella 16 – Risultati Analisi idrologica Bacini interferenti – Metodo Razionale TR200.	42
Tabella 17 – Bacini ricadenti nella Regione Campania: principali parametri idrologici e portate TR200 calcolate.	42
Tabella 18 – Bacini ricadenti nella Regione Basilicata: principali parametri idrologici e portate TR200 calcolate.	43
Tabella 19 – Bacini ricadenti nella Regione Calabria: principali parametri idrologici e portate TR200 calcolate.	43
Tabella 20 – Sintesi delle portate TR200 di riferimento considerate per le verifiche idrauliche.	44
Tabella 21 – Fattore di picco e coefficiente per la definizione della curva di esaurimento (Wanielista, et al. 1997).	47
Tabella 22 – Parametri di calcolo più significativi inseriti in HEC HMS per la definizione degli idrogrammi di piena del fiume Noce.....	49
Tabella 23 – Portate massime Metodo SCS.	51
Tabella 24 – Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell’area di intervento (ISPRA, 2015).....	56
Tabella 25 – Lotto 1C: Potenziale incremento di portata dovuto ai cambiamenti climatici (+20%).	56

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

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 verifiche idrauliche degli attraversamenti idraulici maggiori del lotto 1C che si sviluppa tra Buonabitacolo e Praia.

La presente progettazione di fattibilità tecnica ed economica ha ad oggetto il lotto 1c Buonabitacolo – Praia, parte finale del lotto 1.

Il progetto ferroviario del lotto 1C ha origine in corrispondenza del precedente lotto 1B (punta scambi estrema della stazione di Buonabitacolo lato Reggio Calabria). L'estesa complessiva dell'intervento è di circa 44,7 km con una velocità di tracciato di 300 km/h, mentre il collegamento a Praia a Mare è caratterizzato da una velocità di tracciato pari a 100km/h.

Il tracciato attraversa i territori di:

- Montesano sulla Marcellana, Casalbuono e Casaletto Spartano nella provincia di Salerno;
- Lagonegro, Rivello, Trecchina e Maratea nella provincia di Potenza;
- Tortora e Praia a Mare nella provincia di Cosenza.

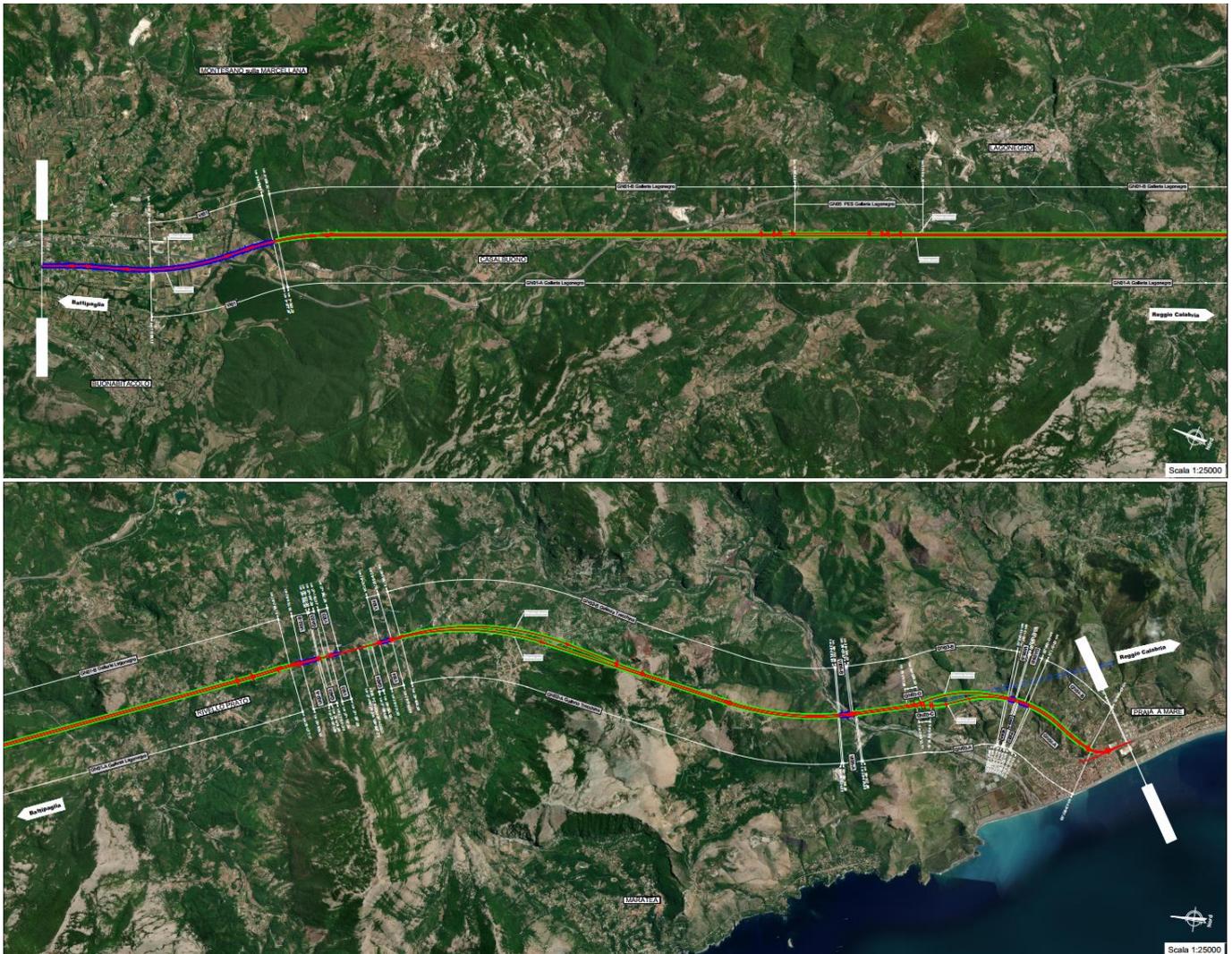


Figura 1 Lotto 1c Buonabitacolo – Praia. Corografia dell'intervento

La presente relazione illustra lo studio idraulico, effettuato con modellazione numerica bidimensionale, dei tratti del fiume Noce interferiti dall'attraversamento ferroviario.

Le analisi sono state condotte al fine di definire e verificare le opere di protezione idraulica della linea ferroviaria stessa e successivamente valutare la compatibilità idraulica delle opere in progetto

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.

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B	FOGLIO 8 di 57

L'analisi è stata svolta attraverso:

- 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.
- Il Capitolo 4 descrive l'Analisi idrologica svolta per i corsi d'acqua maggiori

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

2 INQUADRAMENTO NORMATIVO

2.1 Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico del Fiume Sele

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 un estratto delle fasce fluviali del PSAI del F. Sele in corrispondenza del Vallo di Diano.

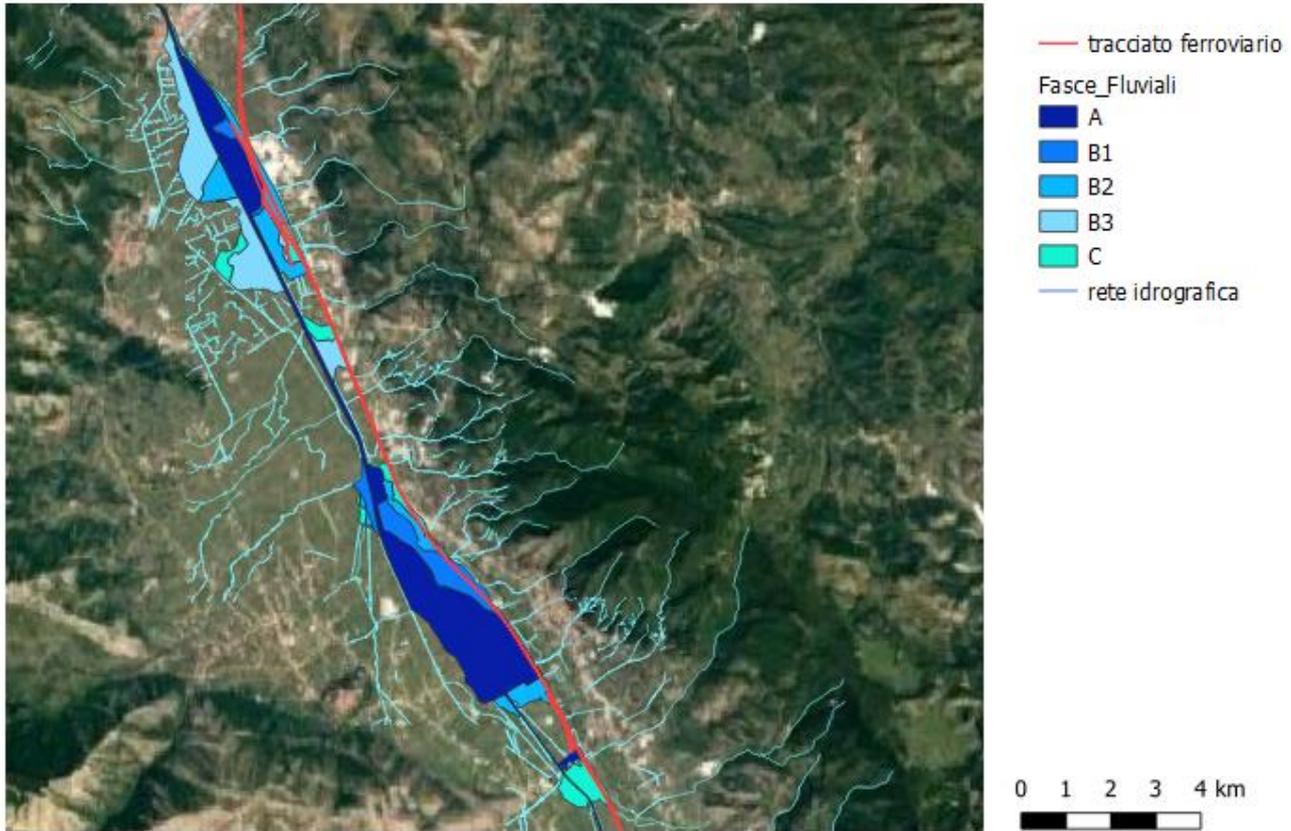


Figura 2 – Estratto della mappa delle fasce fluviali del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) del Bacino del Sele in corrispondenza del fiume Tanagro nel Vallo di Diano.

2.2 Il Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Basilicata

Il riferimento territoriale del PAI, esteso complessivamente per circa 8.830 Km², è costituito dal territorio totale o parziale dei comuni ricadenti nei bacini idrografici interregionali dei fiumi Bradano, Sinni e Noce e nei bacini idrografici dei fiumi regionali lucani Basento, Cavone ed Agri.

I bacini idrografici dei fiumi Bradano, Sinni e Noce rivestono carattere interregionale ai sensi dell' art 15. ex L. 183/89 e dell'art. 64 del D.Lgs 152/2006, in particolare il bacino del fiume Noce (sup. circa 380 Km²) ricade per il 78% nella Regione Basilicata e per il restante 22% nella Regione Calabria.

L'individuazione delle aree di esondazione del fiume Noce sono state condotte con portate al colmo di piena ai tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni, così come previsto dalla normativa vigente (DPCM 29 settembre 1998 e D.L.gs 49/2010) applicando modelli di simulazione idraulica monodimensionali, in condizioni di moto permanente.

In particolare, la metodologia utilizzata per la perimetrazione delle aree a rischio idraulico è basata sull'utilizzo del metodo VAPI, mediante il quale vengono determinate le portate al colmo di piena con assegnata probabilità di

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

accadimento, rispetto alle quali è stata condotta un'analisi idraulica mediante l'applicazione di un modello idrodinamico per lo studio di correnti in moto stazionario.

Il bacino del fiume Noce ricade nell'area omogenea 2 / Zona C del VAPI Basilicata.

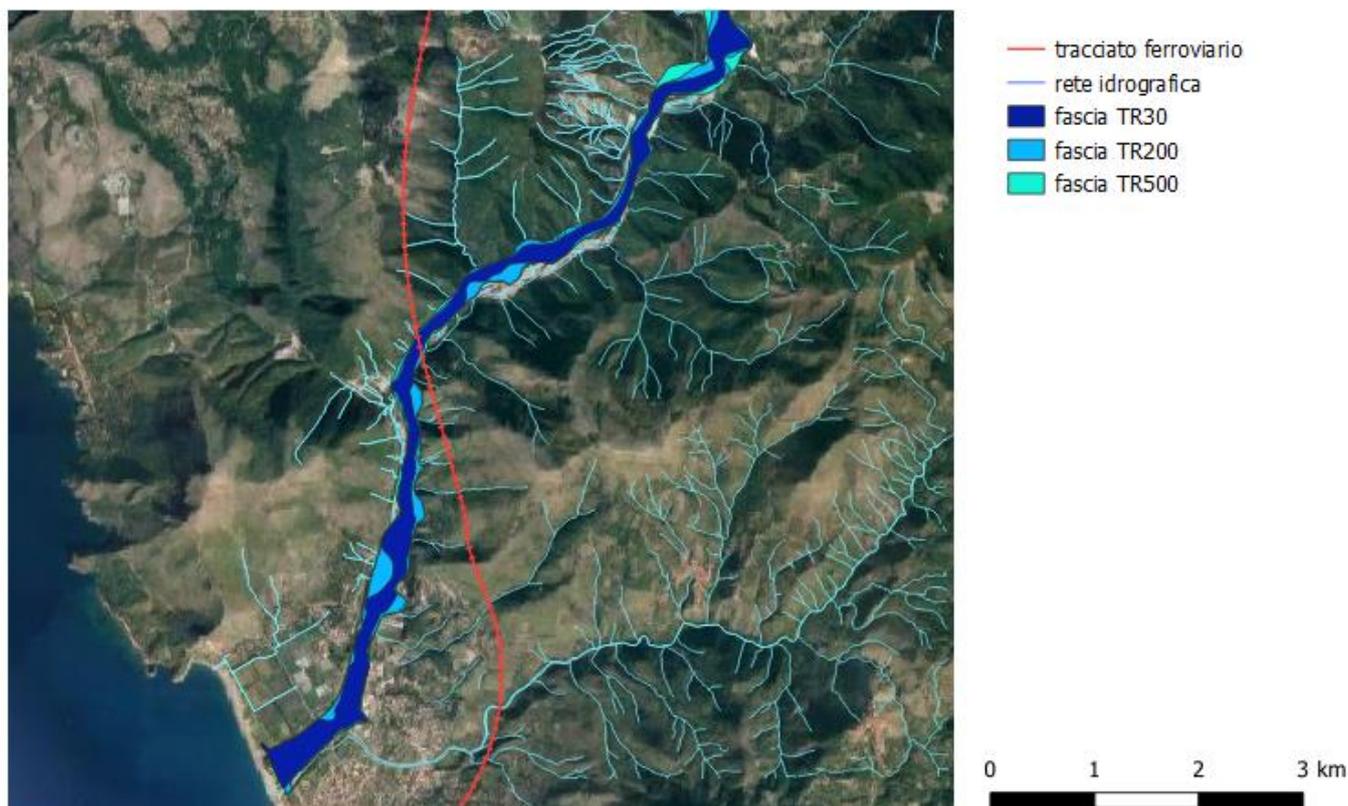


Figura 3 – Fasce di pericolosità del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Basilicata nelle aree interessate dal tracciato ferroviario in progetto.

Le Norme tecniche del PAI (2015) riportano all'Art. 7 quanto segue.

[...] Le fasce inondabili per piene con tempi di ritorno fino a 30 e fino a 200 anni, costituiscono l'ambito di riferimento naturale per il deflusso delle piene. Hanno la funzione del contenimento e della laminazione naturale delle piene e, congiuntamente alle fasce costituite dai terrazzi connessi e dalle conoidi di deiezione e alle fasce ripariali, di salvaguardia della qualità ambientale dei corsi d'acqua. Le fasce inondabili per piene con tempi di ritorno fino a 500 anni costituiscono l'ambito di riferimento naturale per il deflusso delle piene eccezionali per le quali è necessario segnalare le potenziali condizioni di rischio idraulico ai fini della riduzione della vulnerabilità degli insediamenti in rapporto alle funzioni di protezione civile, soprattutto per la fase di gestione dell'emergenza.

[...] Gli interventi rispondenti alle funzioni sopra elencate, realizzabili nelle fasce di territorio di pertinenza dei corsi d'acqua, nel rispetto della tutela paesaggistica, sono:

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

a) *interventi finalizzati al risanamento di situazioni di squilibrio naturali o generate da interventi antropici, di protezione di sovrastrutture di particolare valore purchè gli stessi prevedano opere o interventi non strutturali che salvaguardino gli equilibri della rete a monte ed a valle del tronco in cui si interviene;*

b) *interventi di sistemazione idraulica: rafforzamento o innalzamento argini, difese spondali, interventi specifici finalizzati alla difesa di infrastrutture e nuclei edilizi in situazioni di rischio;*

c) *interventi di bonifica e sistemazione dei movimenti franosi;*

d) *interventi finalizzati alla salvaguardia della qualità ambientale [...]*

e) *interventi per la demolizione e conseguente risanamento dell'area per manufatti per i quali è prevista la rilocalizzazione.*

Gli interventi indicati nelle presenti modalità di gestione devono essere compatibili con le caratteristiche naturali e ambientali dei luoghi e devono privilegiare, ove possibile, tecniche di ingegneria naturalistica.

L'Art. 10 riporta che:

La realizzazione di infrastrutture o impianti lineari o a rete quali ad esempio quelli idrici, fognari, del gas, elettrici, tecnologici, nel caso in cui sia prevista all'interno dell'area di sedime di strade pubbliche o private, è consentita previa trasmissione all'Autorità di Bacino e agli Uffici regionali chiamati a rilasciare pareri/autorizzazioni di competenza, di uno studio idrologico idraulico, asseverato dal progettista, che attesti che l'intervento sia nella fase di cantiere sia nella fase di esercizio non determina in alcun modo incrementi delle condizioni di pericolosità idrogeologica né può determinare alcun pregiudizio alla realizzazione di interventi di rimozione e/o riduzione delle condizioni di pericolosità preesistenti.

[...] Il Gestore delle opere è tenuto al monitoraggio ed alla realizzazione degli interventi necessari a garantire il buon stato di conservazione dell'opera realizzata.

[...] Per il rilascio del parere preliminare è necessario presentare all'AdB la documentazione progettuale contenente tutti gli elementi utili per consentire una accurata istruttoria.

La documentazione dovrà dimostrare:

- che la realizzazione delle opere è legata ad una effettiva esigenza di pubblico interesse;*
- che le opere non sono altrimenti localizzabili, con particolare riguardo alle interferenze con gli alvei fluviali e con le fasce di pertinenza fluviale con probabilità di inondazione con tempi di ritorno fino a 30 anni;*
- che l'intervento proposto è tale da non aggravare la funzionalità idraulica dell'area ma che, al contrario, concorre, con opportuni interventi, al miglioramento della stessa;*
- che l'intervento proposto non determina e/o causa impatti significativi sull'evoluzione morfologica del corso d'acqua né sulle caratteristiche di particolare rilevanza ambientale dell'ecosistema fluviale;*

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

- che l'intervento proposto non costituisce in nessun caso un fattore di aumento del rischio idraulico, localmente e negli ambiti territoriali limitrofi, né determina limitazioni al normale libero deflusso delle acque.

2.3 Il Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico della Regione Calabria

Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) prodotto dall'Autorità di Bacino Regionale (ABR) della Calabria si conforma a quanto espresso nell'«Atto di indirizzo e coordinamento», approvato con D.P.C.M. 29/09/98,1 relativo all'adozione, da parte delle Autorità di Bacino e delle Regioni, 2 di Piani Stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico, che contengano in particolare l'individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico, e all'adozione in tali aree di misure di salvaguardia.

Nell'Atto suddetto si stabilisce che “L'individuazione esaustiva delle possibili situazioni di pericolosità dipendenti dalle condizioni idrogeologiche del territorio può essere realizzata attraverso metodologie complesse, capaci di calcolare la probabilità di accadimento in aree mai interessate in epoca storica da tali fenomeni. Tuttavia, i limiti temporali imposti dalla norma per realizzare la perimetrazione delle aree a rischio consentono, in generale, di poter assumere, quale elemento essenziale per la individuazione del livello di pericolosità, la localizzazione e la caratterizzazione di eventi avvenuti nel passato riconoscibili o dei quali si ha al momento presente cognizione.

[...], la valutazione del rischio è stata conseguita utilizzando:

- 1) i risultati di modelli idrologico-idraulici, che hanno permesso di individuare le sezioni di esondazione per portate di piena con assegnati tempi di ritorno, usualmente pari a $T=20÷50$, $100÷200$ e $300÷500$ anni;
- 2) criteri geomorfologici, per tener conto dell'andamento plano-altimetrico degli alvei fluviali e delle evidenze relative ai depositi alluvionali conseguenti a fenomeni di trasporto dei materiali solidi;
- 3) le informazioni storiche, da cui si è dedotto per i vari eventi alluvionali in quali località si siano verificate le inondazioni;
- 4) le aerofotogrammetrie, utili per l'osservazione delle tracce di piena.”

Le Norme di Attuazione e misure di salvaguardia (2011) indicano che:

nelle zone a rischio d'inondazione R4 sono consentite opere di “*ampliamento e ristrutturazione delle opere pubbliche o d'interesse pubblico riferite ai servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture a rete (energetiche, di comunicazione, acquedottistiche e di scarico) non altrimenti localizzabili, compresi i manufatti funzionalmente connessi, a condizione che non costituiscano ostacolo al libero deflusso, o riduzione dell'attuale capacità d'invaso*”.

Per gli interventi di cui sopra, la progettazione presentata presso le Amministrazioni competenti all'approvazione, dovrà essere dotata di studio idrologico idraulico redatto in conformità alle specifiche tecniche e alle linee guida predisposte dall'ABR.”

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

2.4 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.

[...]

2.5 PGRA dell'AdB dell'Appennino Meridionale

La definizione degli scenari di probabilità nel Distretto dell'Appennino Meridionale partendo dalle indicazioni fornite dal D.lgs. 49/2010, in attuazione della Dir. 2007/60/CE, tiene conto innanzitutto dell'origine dell'alluvione (fluviale, pluviale, marina e da elevato trasporto solido). Per le alluvioni di origine la Direttiva Alluvioni stabilisce che le mappe di pericolosità mostrino l'area geografica che può essere inondata in corrispondenza di tre diversi scenari di probabilità:

- a) scarsa probabilità o scenari di eventi estremi
- b) media probabilità di alluvioni (tempo di ritorno ≥ 100 anni)
- c) elevata probabilità di alluvioni

Il D.Lgs. 49/2010, attuativo della Direttiva Alluvioni, stabilisce che siano da considerarsi scenari di elevata probabilità o alluvioni frequenti quelli corrispondenti a tempi di ritorno fra 20 e 50 anni (HPH), mentre sono da considerarsi scenari di probabilità media o alluvioni poco frequenti quelli corrispondenti a tempi di ritorno fra 100 e 200 anni (MPH). Ne consegue che siano da considerarsi scenari di scarsa probabilità o scenari di eventi estremi, quelli corrispondenti a tempi di ritorno superiori a 200 anni (LPH).

La Figura 4 riporta un estratto delle mappe di pericolosità del Fiume Noce.

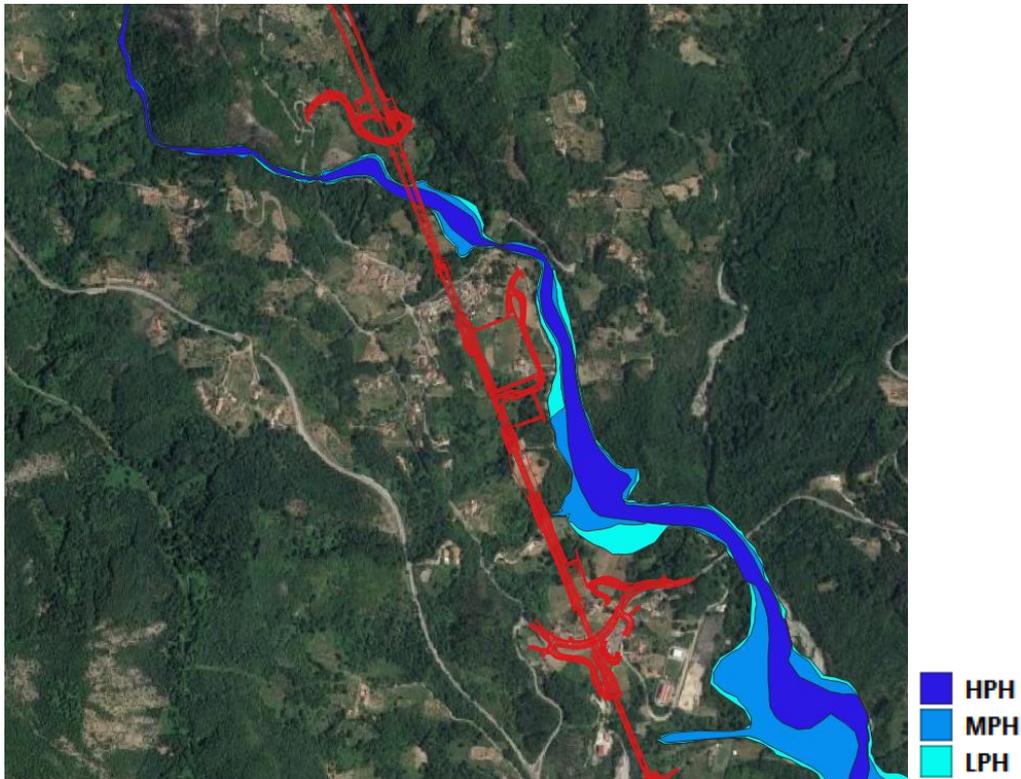


Figura 4 – Mappe pericolosità alluvione (PGRA-Appennino distretto meridionale -Anno2021)

2.6 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 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

2.7 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.

[...]

2.8 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;

[...]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

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 dati di precipitazione delle stazioni pluviometriche di Lagonegro e Castrocucco forniti dal Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile Regione Basilicata ed analizzati con il metodo di Gumbel.
- i parametri delle analisi pluviometriche ricavati dagli studi del VA.P.I. della Campania, della Basilicata e della Calabria,
- i parametri di regionalizzazione delle piene ricavati dal PAI Campania;
- i parametri di regionalizzazione delle piene ricavati dal VA.P.I. della Basilicata.

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 della Regione Campania

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 e che avessero almeno 19 anni di misurazioni (). I dati forniti includono i valori storici dei massimi annuali relativi a diverse durate di precipitazione, che vanno dai 10 minuti alle 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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

Per ciascuna stazione e per ogni durata di precipitazione è stato applicato il modello probabilistico di Gumbel. Il metodo di Gumbel prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale (o di Gumbel, appunto) al campione di dati di precipitazione intesi come variabili indipendenti.

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 α 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.

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 plotting position 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 fonda 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:

$$F(h_i) \cong F_i$$

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 solamente da h con la relazione lineare:

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

La stima dei parametri α 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. Otteniamo quindi per α e u le espressioni:

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

Introducendo ora 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:

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

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

Grazie al metodo di Gumbel è stata ricavata un'espressione analitica della funzione $h(T_r, \tau)$ che fornisce il valore di 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 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.

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

Di seguito si riporta la tabella con i parametri delle curve di possibilità pluviometrica a ed n per i tempi di ritorno di 30, 50, 100, 200, 300 e 500 anni.

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
Avigliano	38525	PZ	19	39.93	0.29	43.21	0.28	47.61	0.28	52	0.28	54.56	0.28	57.78	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
Montesano	28542	SA	19	42.79	0.39	45.75	0.4	49.73	0.4	53.71	0.4	56.03	0.4	58.95	0.41

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

In particolare, per le analisi idrologiche dei bacini minori del lotto 1C è stata utilizzata la stazione di Montesano.

Stazione	Codice	Prov.	anni	TR30		TR50		TR100		TR200		TR300		TR500	
				a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
Castrocucco		PZ	21	65.48	0.38	71.35	0.38	79.26	0.38	87.15	0.38	91.75	0.38	97.55	0.38
Lagonegro		PZ	22	55.497	0.44	60.09	0.44	66.29	0.44	72.46	0.44	76.07	0.44	80.61	0.44

Tabella 3 – Parametri curve di possibilità pluviometrica per durate superiori a 1 ora – Regione Basilicata.

Per i bacini che presentano un tempo di corrivazione inferiore all'ora è stata eseguita un'analisi di Gumbel con i valori storici dei massimi annuali corrispondenti a durate di pioggia inferiori all'ora, per le stazioni dove era disponibile la serie di dati.

Questi dati sono stati inoltre utilizzati per determinare i parametri delle curve di possibilità pluviometrica da utilizzare nelle verifiche del drenaggio di piattaforma ferroviaria e stradale.

Si riepiloga di seguito i parametri delle curve di possibilità pluviometrica per durate inferiori all' ora per i tempi di ritorno 25,100 e 200anni:

Stazione	TR25		TR100		TR200	
	n	a	n	a	n	a
Montesano	0.603	53.19	64.27	0.61	69.78	0.61

Tabella 4 – Parametri curve di possibilità pluviometrica per durate inferiori a 1 ora.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

Per le stazioni della Basilicata, partendo dalle curve di possibilità pluviometrica ottenute per $t > 1$ h, è stato necessario estendere il campo di validità delle curve di possibilità pluviometrica anche alle durate di pioggia inferiori all'ora partendo dalle serie storiche di dati disponibili che comprendono unicamente altezze di pioggia registrate per durate superiori all'ora. In particolare, il sopraccitato metodo parte dall'osservazione che i rapporti r_δ fra le altezze di pioggia di durata δ inferiori all'ora e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località (Bell 1969, - Generalized rainfall duration frequency relationships, Journal of Hydraulic Div., ASCE, 95(1), 311-327). Per le finalità del presente studio si è quindi ritenuto legittimo fare riferimento alla procedura classica introdotta da Bell 1969 che esprime attraverso un coefficiente r_δ i rapporti dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata δ rispetto al valor medio della massima altezza annua oraria $h_{1\text{ora}}$. In particolare, Bell 1969 definisce la quantità r_δ secondo la seguente legge:

$$r_\delta = 0.54 * \delta^{0.25} - 0.5$$

Attraverso essa è possibile ricavare i valori del coefficiente correttivo da introdurre nella valutazione delle piogge critiche di durata inferiore all'ora.

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. Il metodo 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 QT corrispondente al prefissato periodo di ritorno T, può essere valutata come:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

$$Q_T = K_T m(Q)$$

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 :

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_2 \Lambda_1^{\frac{1}{\theta^*}} e^{-\eta k \theta^*})} \quad (1)$$

I parametri ottenuti per l'intera regione Campania sono riportati in Tabella 5.

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

Tabella 5 – 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 K_T . Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile. Si riportano di seguito, nella Tabella 6, i valori di K_T ottenuti numericamente dalla (1) per alcuni valori del periodo di ritorno.

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

Idrometria - Portate istantanee al colmo di piena

In riferimento alla (1), i parametri ottenuti per l'intera regione Campania sono riportati in Tabella 7. Si riportano di seguito, nella Tabella 8, i valori di KT per alcuni valori del periodo di ritorno.

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

Tabella 7 – 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 8 – 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

Pioggie 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:

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

in cui d e d_c 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 9.

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 9 – 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:

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

3.1.2.4 Formulazioni per il calcolo della portata indicate nel VA.P.I. Campania

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; a 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 km², mentre $\mu(Q)$ è in m³/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:

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

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

dove le aree sono espresse in km^2 , tr in ore, $[I(tr)]$ in mm/ora ed (Q) in m^3/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, t_r ;
- 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:

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

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

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

in cui b e d_c 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 km^2 , 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 t_r del bacino, valutabili attraverso le seguenti espressioni:

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

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

in cui:

- $C_{f1} = 0.42$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

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

3.1.2.5 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 del 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 m^3/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 km^2).

Il valore Q_T 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 8.

3.1.3 *Valutazione delle massime portate di piena naturali secondo il metodo VA.P.I. della Regione Basilicata*

Per i bacini del Noce e dei suoi affluenti si è fatto riferimento al Rapporto Regionale Basilicata.

3.1.3.1 Coefficienti di crescita

Per quanto riguarda le piogge giornaliere, sono state individuate due sottozone Nord e Sud-Ovest, dove quest'ultima risulta anche omogenea rispetto alla sottozona di secondo livello indicata come tirrenica nel rapporto VAPI Calabria.

I valori del coefficiente di crescita K_T per ciascuna sottozona sono riportati in Tabella.

T (anni)	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
KT (SZOA)	0.92	1.25	1.49	1.74	2.14	2.49	2.91	3.5	3.97
KT (SZOB)	0.97	1.1	1.2	1.3	1.46	1.61	1.78	2.02	2.21

Tabella 10 – Valori teorici del coefficiente di crescita probabilistico K_T per le piogge in Basilicata, per alcuni valori del periodo di ritorno T.

Per quanto riguarda le portate giornaliere, sono state individuate tre sottozone, per le quali valgono i coefficienti di crescita KT riportati in tabella.

T (anni)	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
KT (SZOA)	0.81	1.44	1.96	2.55	3.43	3.12	4.83	5.76	6.47
KT (SZOB)	0.85	1.34	1.75	2.21	2.9	3.45	4.00	4.73	5.29
KT (SZOC)	0.89	1.26	1.57	1.92	2.45	2.86	3.28	3.84	4.26

Tabella 11 – Valori teorici del coefficiente di crescita probabilistico KT per le portate in Basilicata, per alcuni valori del periodo di ritorno T.

3.1.3.2 Stima del valor medio

Piogge puntuali

Per i bacini sottesi dalle sezioni monitorate dal SIMN e le aree comprese tra successivi sottobacini, il VAPI fornisce i valori dei parametri a ed n relativi alle curve di probabilità pluviometriche medie areali e per ciascuna cella rappresentata nella seguente figura.

cella	log(a)	n	a
47	1.427	0.386	26.73
32	1.467	0.375	29.31
33	1.465	0.39	29.17
34	1.437	0.404	27.35
19	1.477	0.38	29.99
20	1.455	0.403	28.51
Noce a Le Fornaci escluso La Calda		0.393	28.51
Noce a Le Fornaci		0.392	27.97

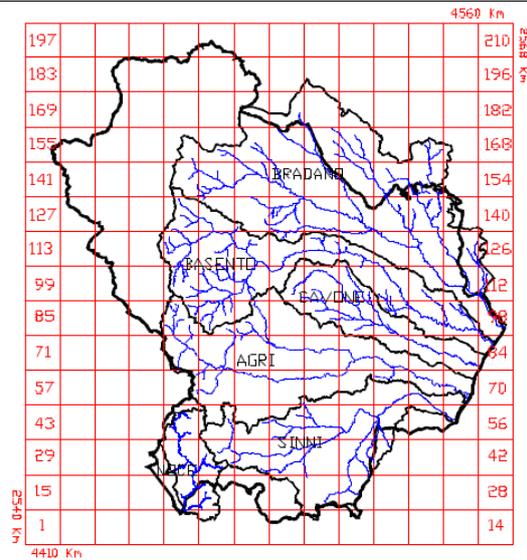


Tabella 12 – Valori dei parametri a ed n relativi alle curve di probabilità pluviometriche medie areali.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

Piena media annua

Per poter pervenire alla stima della distribuzione di probabilità delle X in una generica Sezione fluviale, l'unico parametro che rimane da ricavare è il valor medio della distribuzione del massimo annuale della portata al colmo di piena, $m(Q)$, quantità fortemente influenzata dall'area del bacino. La ricerca di una relazione empirica tra $m(Q)$ e l'area è sempre il primo passo che si fa nell'ambito del terzo livello di regionalizzazione e di solito risulta ben specificata da una legge del tipo $m(Q) = k A^a$.

Per il bacino del Noce, appartenente all'Area Omogenea 2, vale la seguente regressione tra piena media e area:

$$m(Q) = 5.98 A^{0.645}$$

3.1.4 Valutazione delle massime portate di piena naturali secondo il VA.P.I. e POR della Regione Calabria

Le analisi condotte nel progetto VAPI della regione Calabria sono state aggiornate nel progetto POR, che si è basato su "un database aggiornato delle serie storiche di massimi annuali di precipitazione, giornaliera ed oraria, dal quale si sono ricavate stime ex novo dei parametri regionali.

Lo studio del POR 2000-2006 ribadisce quanto già indicato nel VAPI per le piogge brevi (1-3-6-12-24 ore). Vista la ridotta numerosità di serie storiche dotate di dimensione campionaria tale da poter effettuare stime regionali, è stata testata l'ipotesi che, per ogni durata, restino valide le suddivisioni in un'unica ZO e in tre SZO proposte per gli estremi giornalieri, nonché i valori dei parametri regionali.

3.1.4.1 Stima del valor medio

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nell'individuazione di Aree Pluviometriche Omogenee (APO) per le quali esiste un legame tra i valori medi delle serie storiche ed i parametri geografici che caratterizzano le località in cui sono installate le stazioni di misura.

Per la regione Calabria è stata osservata, all'interno delle aree omogenee, una buona relazione tra media annuale dei massimi giornalieri e la quota. Si ipotizza che per ciascuna area omogenea la relazione tra la media annuale dell'altezza di precipitazione giornaliera e la quota sul mare Z $m[h_g]$ sia del tipo:

$$m[h_g] = CZ + D$$

dove C e D sono due parametri variabili per ciascuna area.

Analizzando i valori delle medie del massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata d , $m[h(d)]$, relative alle diverse stazioni che ricadono in un'APO, si nota che, per ogni stazione, esiste, per d comprese tra 1 e 24 ore, una relazione del tipo:

$$m[h(d)] = a d^n$$

È stato osservato infine che il rapporto r tra i valori della media del massimo annuale dell'altezza di precipitazione e quelli di durata 24 ore varia molto poco tra le diverse stazioni e si distribuisce normalmente con media 0.875 e scarto quadratico medio 0.031.

Il parametro “n” della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica può essere stimato come:

$$n = \frac{CZ + D + \text{Log}(r) - \text{Log}(a)}{\text{Log}(24)}$$

La Calabria è stata suddivisa in 13 Aree Pluviometriche Omogenee (APO) per le quali sono stati forniti i valori del parametro ‘a’ della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica e i parametri C e D dell’espressione riportata sopra.

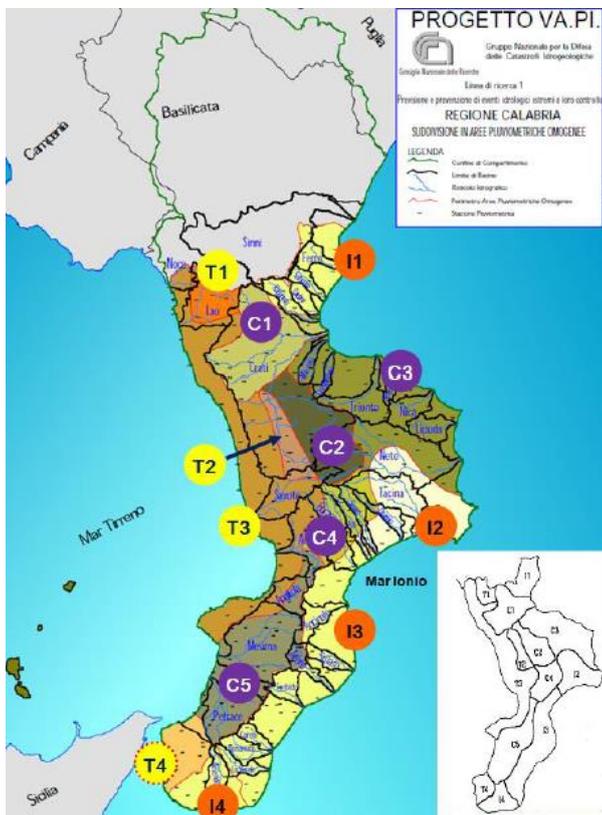


Tabella 2.1 – Elementi caratteristici delle Aree Pluviometriche Omogenee - VAPI.

AREA PLUVIOMETRICA OMOGENEA	"a"	C	D
T1 (Pollino)	27.79	0.00014	1.907
T2 (Sila grande – sottozona tirrenica)	23.75	0.00021	1.683
T3 (Alto e medio Tirreno)	26.61	0.00022	1.769
T4 (Stretto)	26.73	0.00028	1.736
C1 (Basso Crati)	21.73	0.00049	1.690
C2 (Sila grande – sottozona centrale)	23.75	0.00021	1.683
C3 (Sila greca)	31.02	0.00016	1.951
C4 (Sila piccola)	33.22	0.00032	1.840
C5 (Serre orientali)	34.99	0.00036	1.815
I1 (Alto Ionio)	24.37	0.00026	1.778
I2 (Marchesato)	30.97	0.00025	1.922
I3 (Medio e basso Ionio)	39.58	0.00043	1.953
I4 (Aspromonte merid.)	34.13	0.00027	1.817

3.1.4.2 Piogge areali

Per passare dall’informazione puntuale a quella areale, la stima può essere fatta a rigore solo disponendo delle serie storiche costituite dai massimi annali delle piogge di durata d sull’area in esame.

In assenza di tali dati, una stima può essere data dalla relazione interpolatrice proposta nel Rapporto Calabria (indagine sull’andamento areale delle piogge giornaliere condotte sul bacino del fiume Crati (Battista, 1988; Pascuzzi e Catalano, 1988; Catalano et al., 1989) con risultati analoghi allo studio condotto da Penta per i bacini del versante Ionico della Basilicata, e suggerita nel VAPI:

$$ARF = a + (1 - a)e^{-bA}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

con:

- ARF=fattore di riduzione areale di seguito indicato con Kr
- a parametro calcolato con il metodo dei minimi quadrati che assume il valore 0.732
- b parametro calcolato con il metodo dei minimi quadrati che assume il valore 0.0018
- A superficie in km²

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 5 rappresenta i bacini 1C, la cui corografia è riportata anche negli elaborati grafici dedicati.

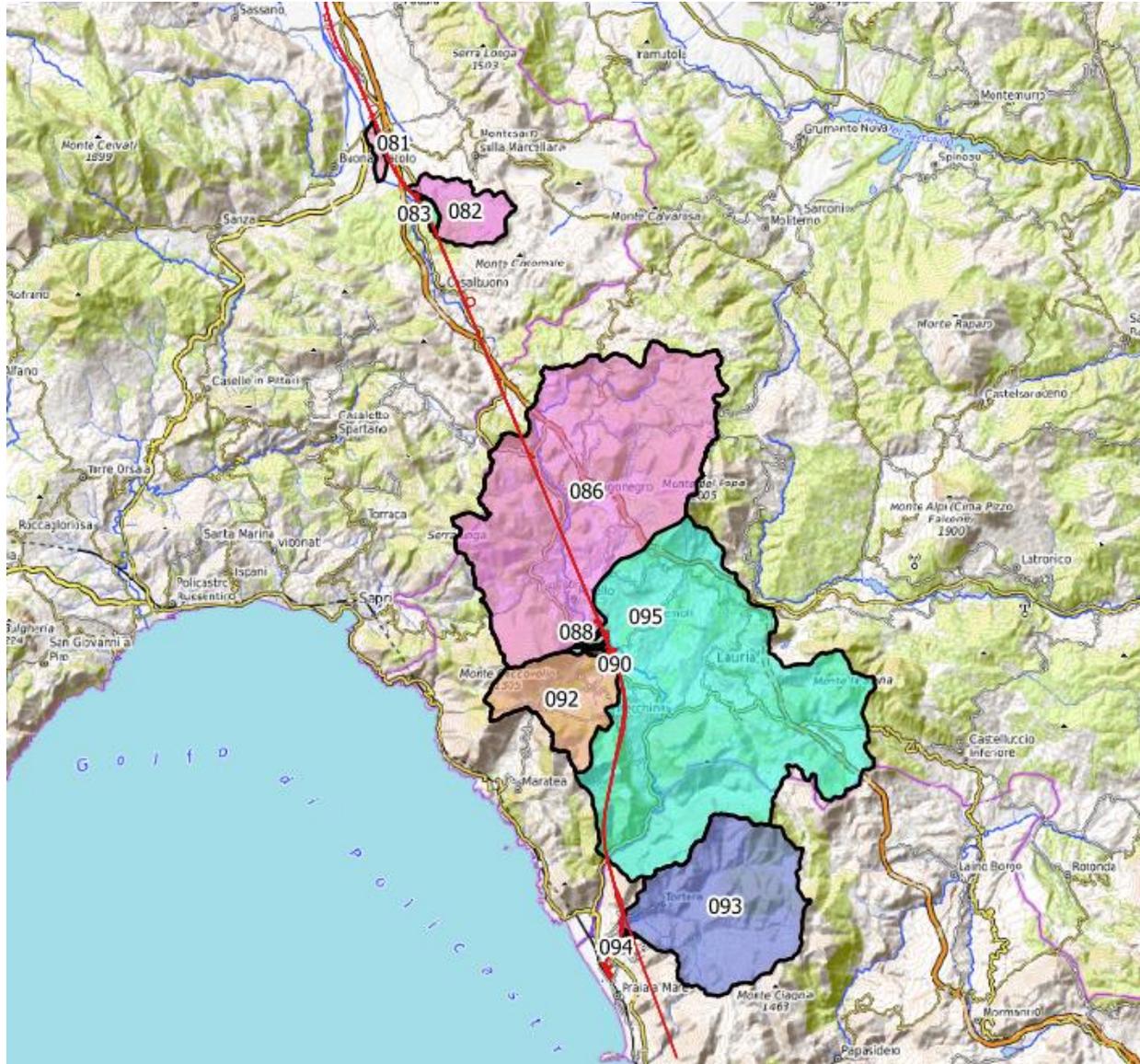


Figura 5 – Delimitazione dei bacini del lotto 1C

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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

Le caratteristiche topografiche sono riportate nella seguente Tabella 13. I codici identificativi (ID) dei bacini proseguono la numerazione adottata nell'analisi svolta per il Lotto 1A.

Regione	ID	P.k.	Area bacino [km ²]	Lunghezza asta principale [km]	H0 [m s.m.m.]	Htop [m s.m.m.]	Pendenza media dell'asta [m/m]	Pendenza media del bacino [%]	H media bacino [m s.m.m.]
Campania	81	0+780	1.36	2.43	479.26	492.50	0.01	0.93	486.96
	82	2+853	10.82	6	503.77	1121.00	0.10	28.63	717.88
	83	3+763	0.85	1.95	515.57	664.00	0.08	23.89	584.77
Basilicata	86	26+671	124.29	21.9	230.14	1080.00	0.04	39.25	931.02
	86-A	PT01	0.3	1.2	242.41	471.22	0.15	44.00	336.35
	86-B	26+277	0.09	0.8	236.50	429.65	0.19	59.00	325.25
	86-C	26+511	0.06	0.6	242.87	429.12	0.27	55.00	359.45
	87	26+898	0.28	1.34	236.67	586.00	0.26	28.68	422.02
	88	27+286	0.59	0.88	223.55	506.00	0.32	34.21	465.14
	89	27+426	0.20	1.44	229.87	480.00	0.17	33.43	367.23
	90	27+673	0.34	0.14	224.68	262.60	0.27	30.09	353.89
	91	28+257	0.19	0.12	215.08	273.50	0.49	23.23	266.63
	92	28+380	22.07	7.24	214.75	984.00	0.11	40.51	694.84
	95	38+429	300.00	41.4	49.25	1018.00	0.02	49.37	762.18
		Piazzale emergenza		0.2	0.66	44.91	476.02	0.27	64.97
Calabria	93	41+989	52.79	9.5	40.50	734.00	0.07	48.68	639.57
	94	42+313	0.16	0.4	36.88	114.60	0.19	35.94	127.00

Tabella 13 – Caratteristiche geomorfologiche dei bacini del lotto 1C.

3.3 Analisi idrologica

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.

Per i bacini del Fiume Noce (86 e 95) sono stati inoltre sviluppati modelli idrologici per il calcolo degli idrogrammi di piena da inserire come input nei modelli Bidimensionali (par. 3.4)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

3.3.1 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. delle diverse regioni.

3.3.1.1 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.

3.3.1.1.1 Definizione del tempo di corrivazione

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 e perlopiù dipendenti 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 e tiene conto della morfologia del bacino. La formula 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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

A = area del bacino sottesa alla sezione di calcolo [km^2];

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

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

H_0 = 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.

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

Watt e 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 km^2 e caratterizzati da valori della pendenza i_a variabili tra 0.00121 e 0.0978,

$$t_L = a \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^b \quad \text{Eq.1}$$

$$t_c = \frac{t_L}{0.6} \quad \text{Eq.2}$$

in cui t_L è espresso in ore, L è la lunghezza dell'asta principale espressa in m, e le costanti a e b assumono rispettivamente il valore 0.000326 e 0.79.

Chow ha proposto anche la stessa formula analizzando i dati relativi a 20 piccoli bacini americani di superficie variabile tra 0.012 e 18.5 km^2 con $a = 0.00116$ e $b = 0.64$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

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.

3.3.1.1.2 Metodo SCS del CN – separazione afflussi/deflussi

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

Il metodo sviluppato dal Soil Conservation Service (SCS, 1972) 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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

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.

L'equazione proposta dal SCS definisce il ruscellamento superficiale come:

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

in cui:

P_e : 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 ;

$(P - V_0)$: Pioggia netta (mm):

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 II). La Figura 6 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 14).

Tipo di copertura o uso del suolo	A	B	C	D
Terreno coltivato, senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
Terreno coltivato, con trattamenti di conservazione	62	71	78	81
Terreno da pascolo in cattive condizioni	68	79	86	89
Terreno da pascolo in buone condizioni	39	61	74	80
Praterie in buone condizioni (prati tagliati)	30	58	71	78
Terreni boscosi o forestati su terreno sottile, con sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Terreni boscosi o forestati con sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi in buone condizioni, con almeno il 75% di superficie coperta da manto erboso	39	61	74	80
Spazi aperti, prati rasati, parchi in condizioni normali, con circa 50% di superficie coperta da manto erboso	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Aree industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali con impermeabilità media 65%	77	85	90	92
Aree residenziali con impermeabilità media 38%	61	75	83	87
Aree residenziali con impermeabilità media 30%	57	72	81	86
Aree residenziali con impermeabilità media 25%	54	70	80	85
Aree residenziali con impermeabilità media 20%	51	68	79	84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
Strade pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Strade inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
Strade bianche (non asfaltate)	72	82	87	89

Figura 6: Valori di Curve Number per diverse tipologie di uso del suolo, condizione idrologica e gruppo di terreno

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 14: Esempi di suoli ricadenti nella classificazione secondo SCS.

Tipicamente possono verificarsi numerose combinazioni di tipo d'uso del suolo e caratteristiche geo-pedologiche del terreno. Il modo più immediato per determinare il CN è stimare ciascun gruppo idrologico come percentuale dell'area totale di drenaggio. Gli usi del suolo dovranno quindi essere calcolati a loro volta come percentuale dell'area totale

di drenaggio e tabulati assieme ai corrispondenti valori di CN. Infine, moltiplicando i valori di CN per le corrispondenti percentuali e sommando per tutti i diversi complessi di uso del suolo si determina il CN medio.

Il Curve Number è stato calcolato sulla base della mappa di uso del suolo e assumendo una classe di permeabilità B (Figura 7).

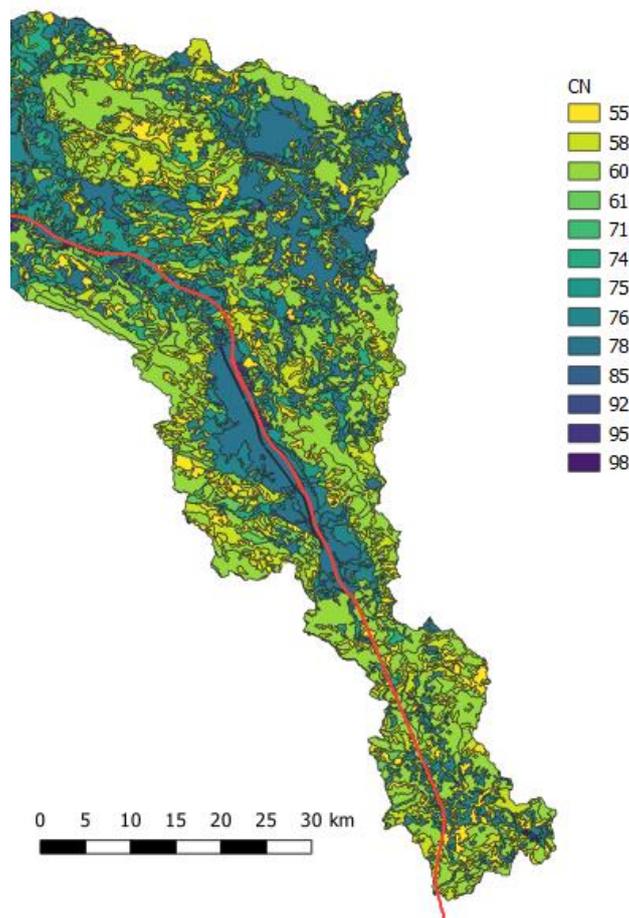


Figura 7 – Rappresentazione cartografica del CN nell'area di studio (bacini del lotto 1Be 1C)

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.

Per stimare il parametro I_a (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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

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. In via cautelativa è stato considerato un valore pari a 0.05.

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}):

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

Il valore minimo del coefficiente di deflusso considerato in questo progetto è pari a 0.3.

3.3.1.2 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. da applicare a seconda del metodo di calcolo della portata adottato;
- 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;
- sono stati calcolati i valori di piena mediante le diverse formule di regionalizzazione disponibili per le diverse Regioni;
- è stato fatto un confronto e analisi critica dei risultati ottenuti per selezionare le portate di riferimento.

Le seguenti tabelle riassumono i risultati ottenuti per i diversi bacini, raggruppati per Regione.

3.3.1.2.1 Risultati ottenuti Metodo Razionale – Stazioni pluviometriche

Nelle seguenti tabelle sono riportati i risultati dell' analisi idrologica eseguita con il metodo razionale:

ID	Pk	t _c Giandotti	t _c Pasini	t _c Pezzoli	t _c Ventura	t _c Chow	t _c Kerby	t _c Kirpich modificato	t _c Progetto
		[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]
81	0+780	-	2.18	1.81	2.01	0.62	-	1.95	1.29
82	2+853	1.893	1.35	1.03	1.30	0.92	-	1.26	1.30
83	3+763	-	0.46	0.39	0.42	0.2	-	0.59	0.40
86	26+671	3.66	-	-	-	5.98	-	4.99	4.82
86-A	PT01	-	0.19	0.1	0.17	0.08	-	0.31	0.20
86-B	26+277	-	0.10	0.10	0.09	0.03	-	0.21	0.12
86-C	26+511	-	0.06	0.06	0.06	0.02	-	0.15	0.09
87	26+898	-	0.15	0.14	0.13	0.07	-	0.28	0.17
88	27+286	-	0.15	0.09	0.17	0.10	-	0.19	0.14
89	27+426	-	0.17	0.19	0.14	0.06	-	0.34	0.20
90	27+673	-	0.08	0.01	0.14	0.07	0.09	0.05	0.07
91	28+257	-	0.04	0.01	0.08	0.04	0.08	0.03	0.05
92	28+380	1.69	-	-	-	1.43	-	1.44	1.56
95	38+429	6.15	-	-	-	12.35	-	9.91	9.25
95AP.emerg		-	0.11	0.07	0.11	0.0	-	0.16	0.11
93	41+989	2.21	-	-	-	-	-	2.06	2.21
94	42+313	-	0.10	0.05	0.12	0.05	-	0.12	0.25

Tabella 15 – Tempo di corrivazione.

ID	Progr.	CN	Stazione pioggia	a	n	h	S	la	P _{netta}	P _{efficace}	C	Q ₂₀₀
						[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		[m ³ /s]
81	0+780	77.7	Montesano	53.706	0.402	59.48	72.89	3.64	55.84	24.22	0.41	7.10
82	2+853	63.3	Montesano	53.706	0.402	59.67	147.30	7.36	52.30	13.71	0.30	41.44
83	3+763	62.5	Montesano d<1h	69.78	0.614	50.90	152.52	7.63	43.28	9.56	0.30	6.03
86	26+671	65	Lagonegro	72.47	0.44	144.80	136.77	6.84	137.96	69.28	0.48	497.01
86-A	PT01	71.00	Lagonegro	72.47	0.44	36.6	103.75	5.19	31.36	7.28	0.30	4.58
86-B	26+277	65.00	Lagonegro	72.47	0.44	28.3	136.77	6.84	21.49	2.92	0.30	1.72

Relazione idrologica generale

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2A	C1 R 09	RI	ID0001 001	B	42 di 57

ID	Progr.	CN	Stazione pioggia	a	n	h	S	la	P _{netta}	P _{efficace}	C	Q ₂₀₀
						[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		[m ³ /s]
86-C	26+511	63.00	Lagonegro	72.47	0.44	22.8	149.17	7.46	15.33	1.43	0.30	1.32
87	26+898	60.87	Montesano	72.47	0.44	33.9	163.30	8.17	25.77	3.51	0.30	4.60
88	27+286	66.32	Montesano d<1h	87.15	0.38	36.9	129.02	6.45	30.47	5.82	0.30	12.73
89	27+426	67.71	Montesano	87.15	0.38	44.3	121.16	6.06	38.23	9.17	0.30	3.65
90	27+673	65.79	Montesano	87.15	0.38	23.9	132.06	6.60	17.31	2.00	0.30	9.62
91	28+257	62.01	Montesano d<1h	87.15	0.38	18.9	155.58	7.78	11.15	0.75	0.30	5.78
92	28+380	61.93	Montesano	87.15	0.38	103.32	156.15	7.81	95.51	36.25	0.35	142.38
95	38+429	60.00	Montesano	79.81	0.41	199.11	169.33	8.47	190.65	100.97	0.51	910.31
95A		77	Castrocucco	87.15	0.38	37.01	75.87	3.79	27.36	7.25	0.30	4.90
93	41+989	59.76	Castrocucco	87.15	0.38	118.04	171.02	8.55	109.49	42.74	0.36	283.55
94	42+313	67.07	Castrocucco	87.15	0.38	49.04	124.72	6.24	42.80	10.94	0.30	2.62

Tabella 16 – Risultati Analisi idrologica Bacini interferenti – Metodo Razionale TR200.

3.3.1.2.2 Risultati ottenuti Metodo VAPI

ID	Progr.	Area bacino	C*	Cf	tr	tr	m [l(d)]	Q ₂₀₀ VAPI razionale	Q ₂₀₀ VAPI geomorf	Q ₂₀₀ VAPI regr. Empirica
		[km ²]	formula raz	met geomorf	formula raz	met geomorf	[mm/ora]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
81	0+780	1.36	0.2	0.3	0.8	0.5	43.99	10.73	7.89	10.50
82	2+853	10.82	0.2	0.3	3.0	2.6	15.79	37.32	3.45	33.15
83	3+763	0.85	0.1	0.2	0.5	0.4	50.07	5.49	6.46	5.36

Tabella 17 – Bacini ricadenti nella Regione Campania: principali parametri idrologici e portate TR200 calcolate.

ID	Progr.	Area bacino [km ²]	Tempo di corrivazione [ore]	CN	h pioggia [mm]	φ	Q ₂₀₀ piogge VAPI [m ³ /s]	m(Q)	Q ₂₀₀ regionalizzazioni e [m ³ /s]
86	26+671	124.29	4.82	65.0	95.87	0.37	251.83	134.16	440.03
87	26+898	0.28	0.17	60.9	26.16	0.30	3.54	2.63	8.63
88	27+286	0.59	0.14	66.3	24.30	0.30	8.38	4.26	13.96
89	27+426	0.20	0.20	67.7	27.86	0.30	2.29	2.12	6.95

90	27+673	0.34	0.07	65.8	18.46	0.30	7.43	2.98	9.78
91	28+257	0.19	0.05	62.0	16.38	0.30	5.00	2.05	6.72
92	28+380	22.07	1.56	61.9	61.80	0.30	72.82	44.00	144.32
95	38+429	300.00	9.25	60	119.08	0.37	394.06	236.83	776.82
95A	P.emerg.	0.2	0.11	77	0.30	0.30	3.58	2.12	6.95
86A	PT01	0.3	0.20	71	26.46	0.30	3.32	2.75	9.02
86B	26+277	0.09	0.12	65	21.93	0.30	1.33	1.27	4.15
86C	26+511	0.06	0.09	63	19.05	0.30	1.11	0.97	3.20

Tabella 18 – Bacini ricadenti nella Regione Basilicata: principali parametri idrologici e portate TR200 calcolate.

ID	Progr.	Area bacino [km ²]	Tempo di corrivazione [ore]	CN	h pioggia [mm]	φ	Q ₂₀₀ piogge VAPI [m ³ /s]
93	41+989	52.79	2.21	59.8	152.95	0.42	411.03
94	42+313	0.16	0.25	67.1	24.14	0.30	1.289

Tabella 19 – Bacini ricadenti nella Regione Calabria: principali parametri idrologici e portate TR200 calcolate.

3.3.1.3 Sintesi delle portate di riferimento

Ai fini della verifica delle interferenze sono stati adottati i valori di portata massimi tra quelli ottenuti applicando i diversi metodi.

La seguente tabella riassume le portate assunte come riferimento per le verifiche idrauliche.

Regione	ID	Progr.	Area bacino [km ²]	Q _{TR200}
				[m ³ /s]
Campania	81	0+780	1.36	11.03
	82	2+853	10.82	41.44
	83	3+763	0.85	8.34
Basilicata	F. Noce (86)	26+671	124.29	497.01
	87	26+898	0.28	8.63
	88	27+286	0.59	13.96
	89	27+426	0.20	6.95
	90	27+673	0.34	9.78
	91	28+257	0.19	6.72
	92	28+380	22.07	144.32

Regione	ID	Progr.	Area bacino [km ²]	Q _{TR200}
				[m ³ /s]
	F. Noce (95)	38+429	300.00	910.31
	95A	P-emerg.	0.2	6.95
	86-A	PT01	0.3	9.02
	86-B	26+277	0.09	4.15
	86-C	26+511	0.06	3.20
Calabria	93	41+989	52.79	411
	94	42+313	0.16	2.6

Tabella 20 – Sintesi delle portate TR200 di riferimento considerate per le verifiche idrauliche.

3.4 Analisi idrologica dei corsi d'acqua maggiori

Si riporta di seguito lo studio idrologico sviluppato al fine di definire gli idrogrammi di piena per i corsi d'acqua che richiedono un'analisi idraulica mediante modello bidimensionale. In particolare, si tratta del Fiume Noce chiuso nelle due sezioni in cui viene attraversato dai viadotti in progetto (bacini 86 e 95).

Gli idrogrammi ottenuti sono stati utilizzati come condizioni idrologiche dei modelli idraulici bidimensionali sviluppati nell'ambito del presente progetto e presentati nella Relazione idraulica dedicata.

3.4.1 Metodologia

Al fine di individuare gli idrogrammi di piena dei bacini in esame per il tempo di ritorno di 200 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 e riportati in Tabella 13.

3.4.1.1 Ietogrammi

Come distribuzione meteorica è stato adottato lo ietogramma Chicago, uno ietogramma sintetico che permette di simulare eventi meteorici intensi e concentrati.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

Questo ietogramma fu sviluppato da Keifer e Chu nel 1957 con riferimento alla fognatura di Chicago. La principale caratteristica di questo tipo di ietogramma consiste nel fatto che per ogni durata, anche parziale, l'intensità media della precipitazione del suddetto ietogramma è congruente con quella definita dalla curva di possibilità pluviometrica.

Lo ietogramma Chicago presenta il vantaggio di essere poco sensibile alla variazione della durata dell'evento. Infatti, la parte centrale dello ietogramma rimane la stessa per durate progressivamente maggiori, raggiungendosi solo due "code" all'inizio ed alla fine dell'evento (vedi Figura 8).

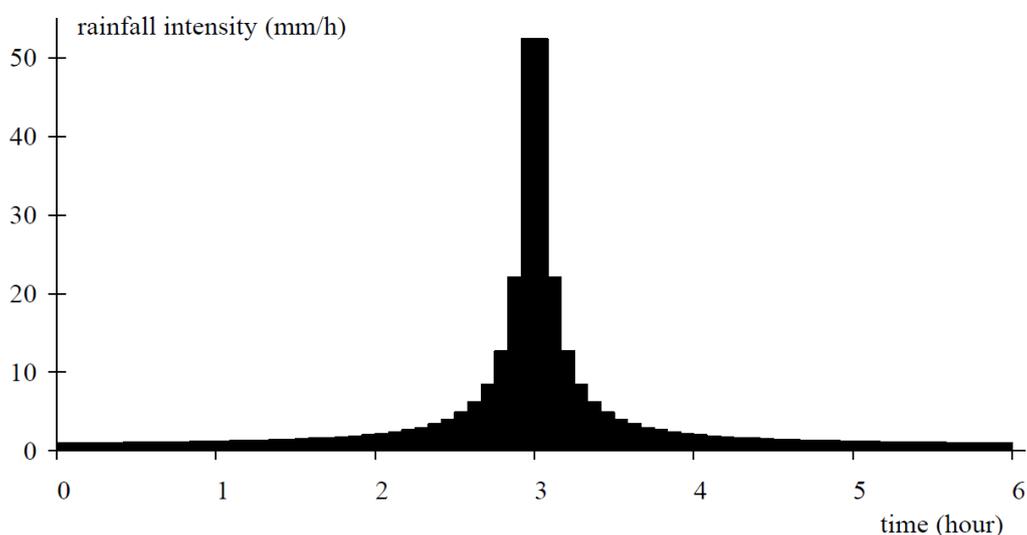


Figura 8: Distribuzione tipo di uno ietogramma Chicago

Per il Bacino del Fiume Noce è stato utilizzato 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.

3.4.1.2 Metodo SCS del CN – separazione afflussi/deflussi

Come descritto al par.3.3.1.1.2, 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).

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 valori del CN e Initial Abstraction per i bacini oggetto di studio sono riportati in Tabella 16.

3.4.1.3 Metodo dell'Idrogramma Unitario istantaneo – SCS

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.

Nella Figura 9 si riportano la curva dell'idrogramma e le coppie di punti ($t/t_p, Q/Q_p$) che permettono di tracciare tale idrogramma.

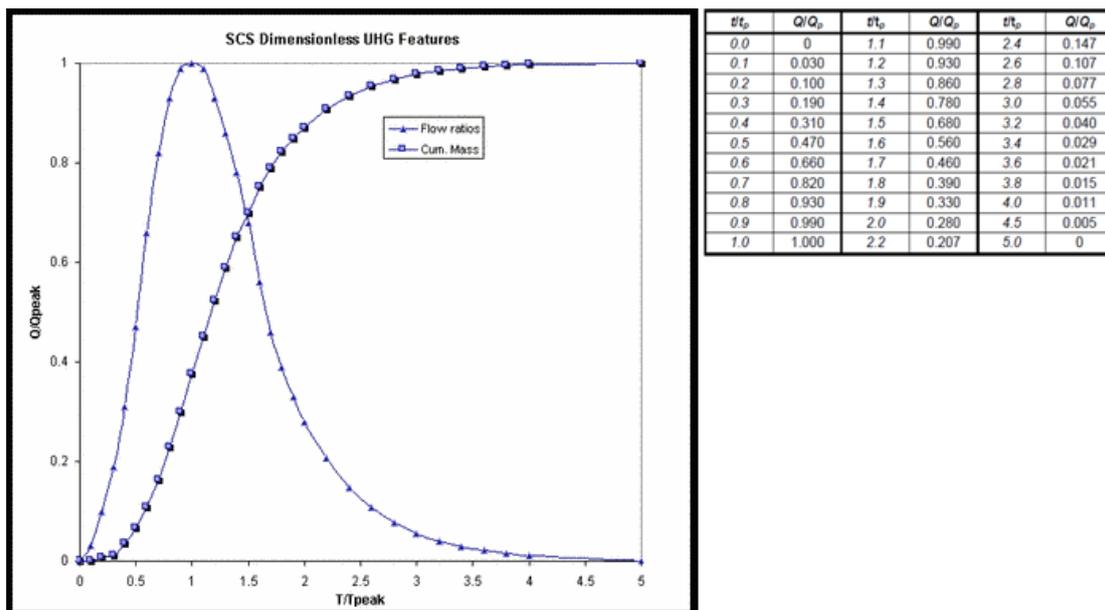


Figura 9: Idrogramma Unitario SCS adimensionalizzato.

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;

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

- 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 che, 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 mentre 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 21.

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

3.4.2 VALUTAZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO

Il tracciato ferroviario attraversa il Fiume Noce in due punti:

- il primo alla p.k. 26+671, dove il Noce sottende un bacino di circa 124 km² (Figura 11);
- il secondo alla p.k. 38+429, dove il Noce sottende un bacino di circa 299 km² (Figura 11).

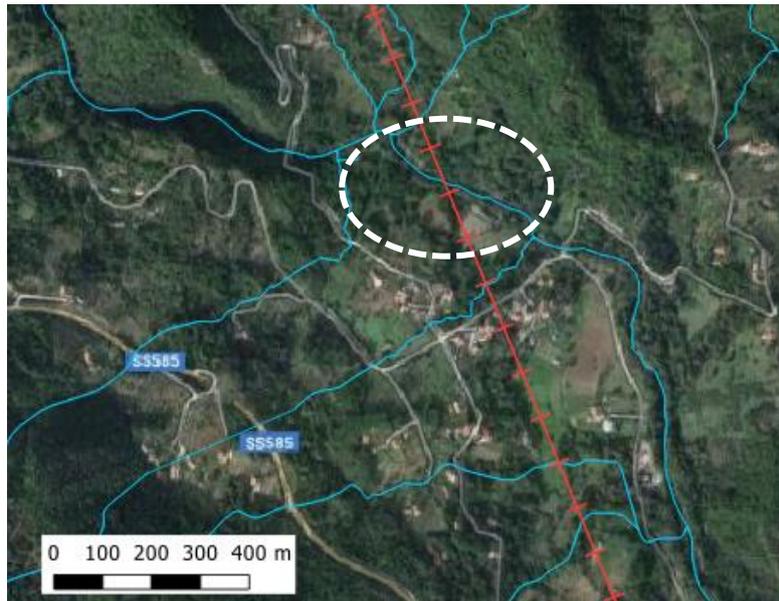


Figura 10 – Fiume Noce in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario alla p.k. 26+671.



Figura 11 – Fiume Noce in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario alla p.k. 38+429.

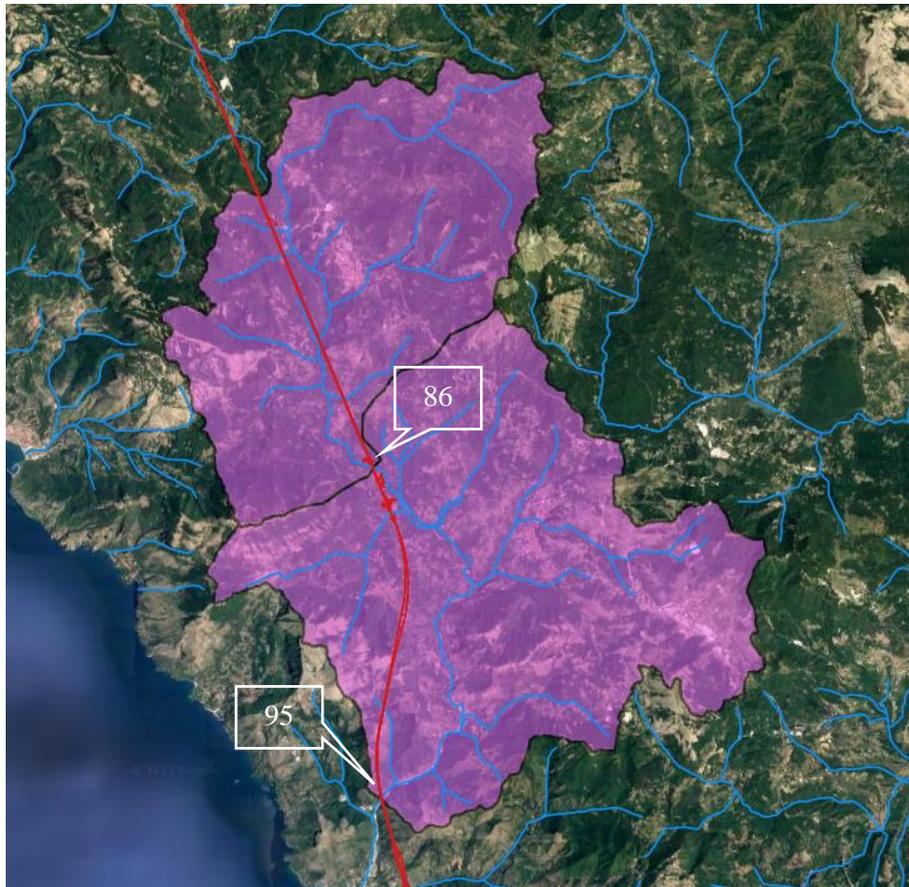


Figura 12 – Fiume Noce -Bacini.

Il modello idrologico è stato calibrato prendendo come riferimento i valori di piena riportati all'interno del PGRA che, per un evento con TR200anni, indica per il Bacino 86 e 844 per il bacino95 un valore di portata massima pari a 214 mc/s.

I parametri inseriti nel modello idrologico del bacino sono riportati nella seguente tabella:

Parametro	Fiume Noce p.k. 26+671	Fiume Noce p.k. 38+429
Area (km ²)	124.3	298.9
CN	65	60
Ia	7	8.5
Lag Time (min)	173	333
Peak rate factor	400	400

Tabella 22 – Parametri di calcolo più significativi inseriti in HEC HMS per la definizione degli idrogrammi di piena del fiume Noce.

Il modello meteorologico utilizzato è il “Frequency Storm” che produce una pioggia sintetica a partire dai dati statistici sulle precipitazioni. I parametri di possibilità pluviometrica utilizzati sono stati calcolati mediante media pesata dei valori ottenuti dalle singole stazioni di Lagonegro e Castrocuco. La durata dell’evento è stata imposta pari a 6ore per il bacino 86 e 12ore per il bacino95. Si riportano di seguito gli idrogrammi di piena calcolati:

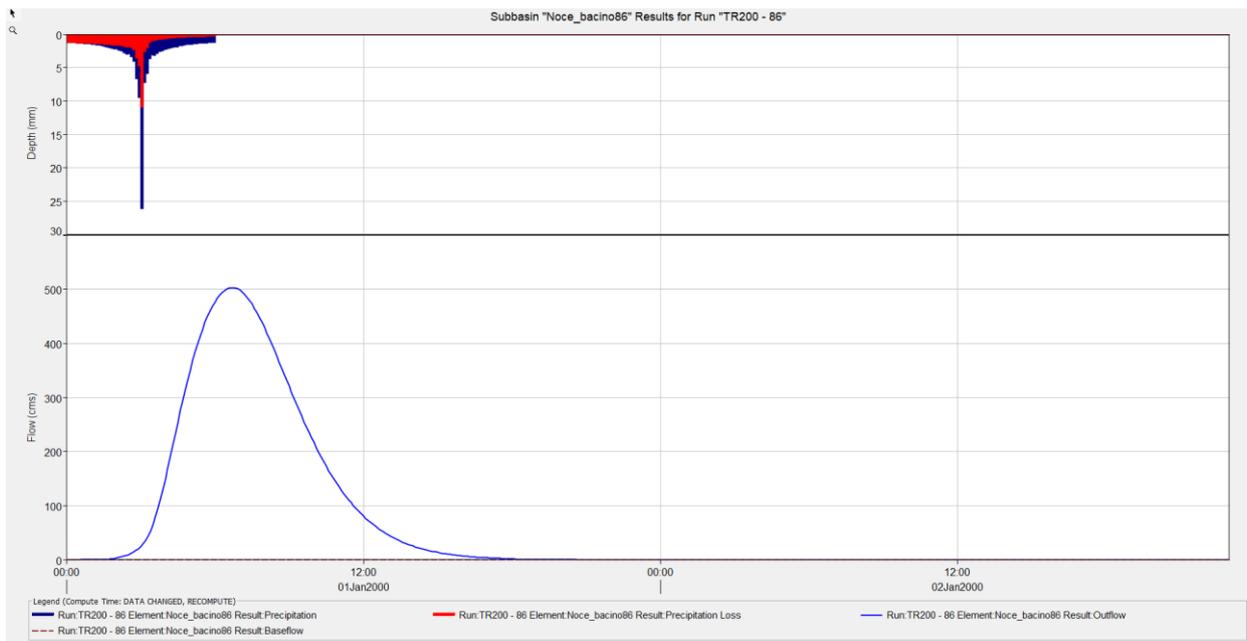


Figura 13 – Idrogrammi di piena – fiume Noce alla sezione dell’attraversamento ferroviario alla p.k. 26+671.

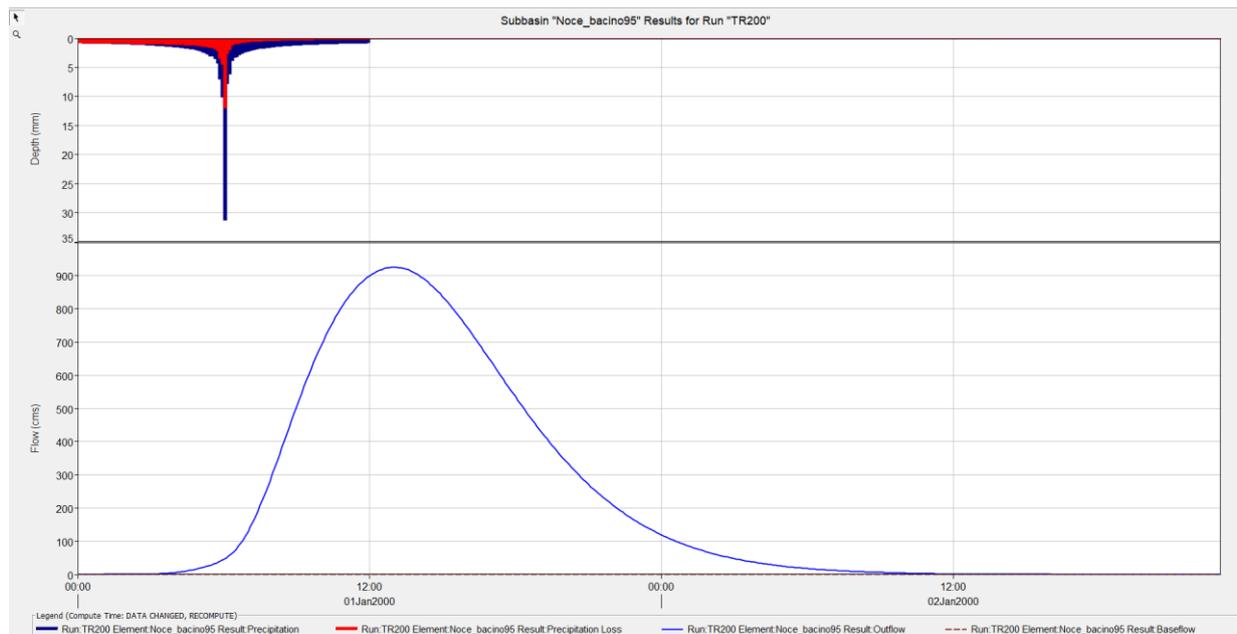


Figura 14 – Idrogrammi di piena – fiume Noce alla sezione dell’attraversamento ferroviario alla p.k. 38+429.

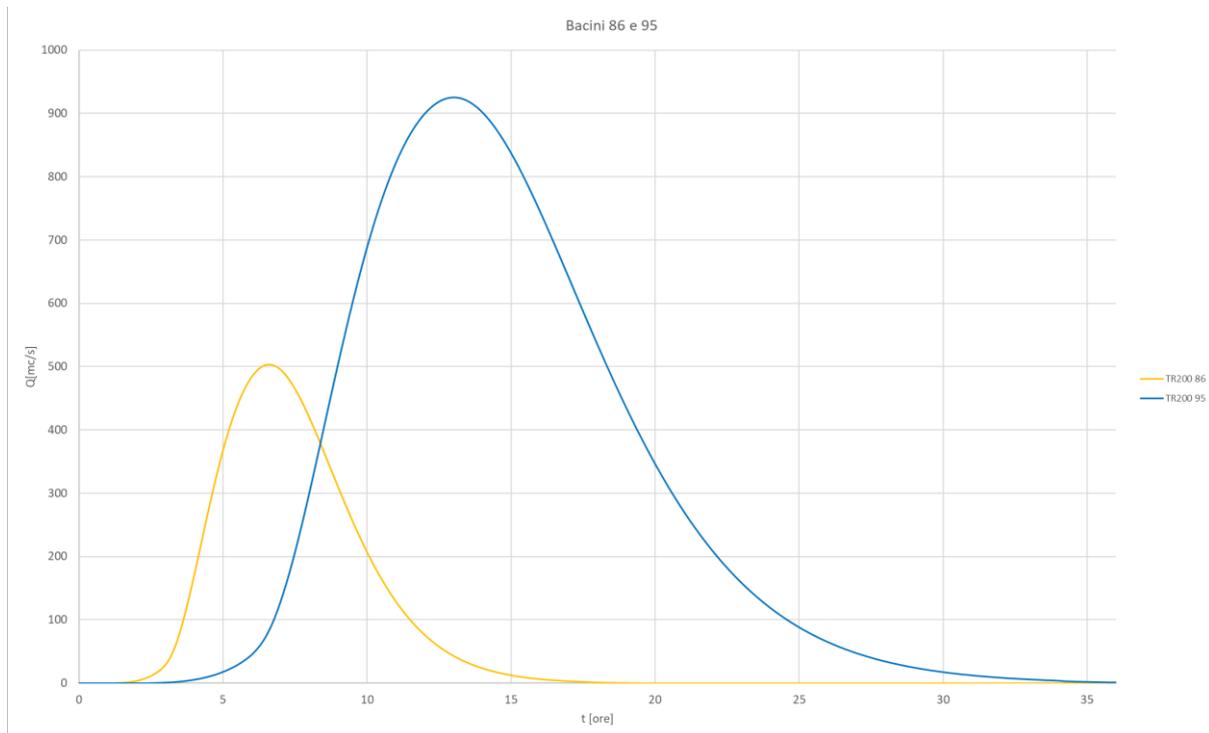


Figura 15 – Idrogrammi di piena – fiume Noce.

Bacino	Q max TR200 [mc/s]
86	503
95	925

Tabella 23 – Portate massime Metodo SCS.

I valori di portata al colmo ottenuti sono stati confrontati con quelli calcolati attraverso i diversi metodi indicati. 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.

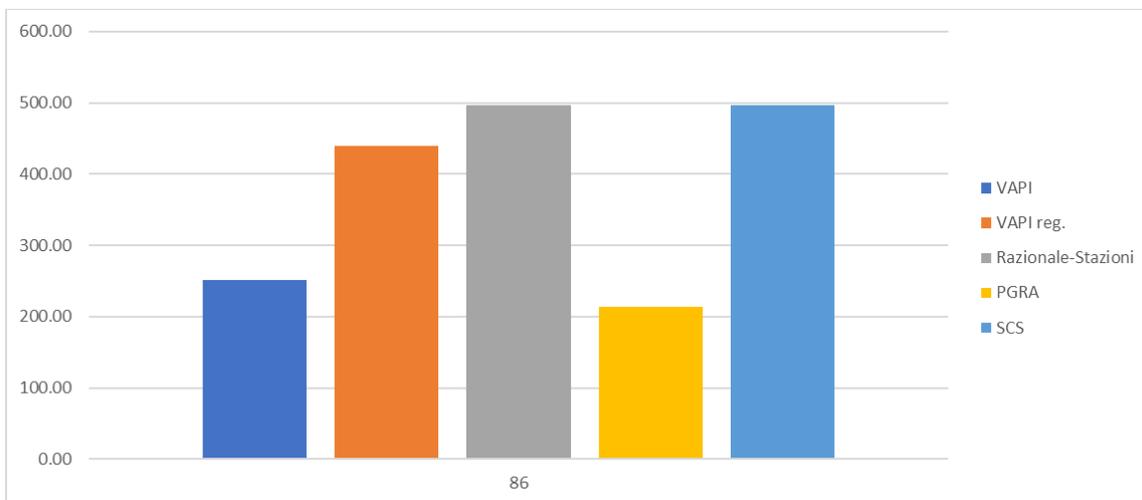


Figura 16 – Confronto delle portate al colmo ottenute con i diversi metodi -Bacino86.

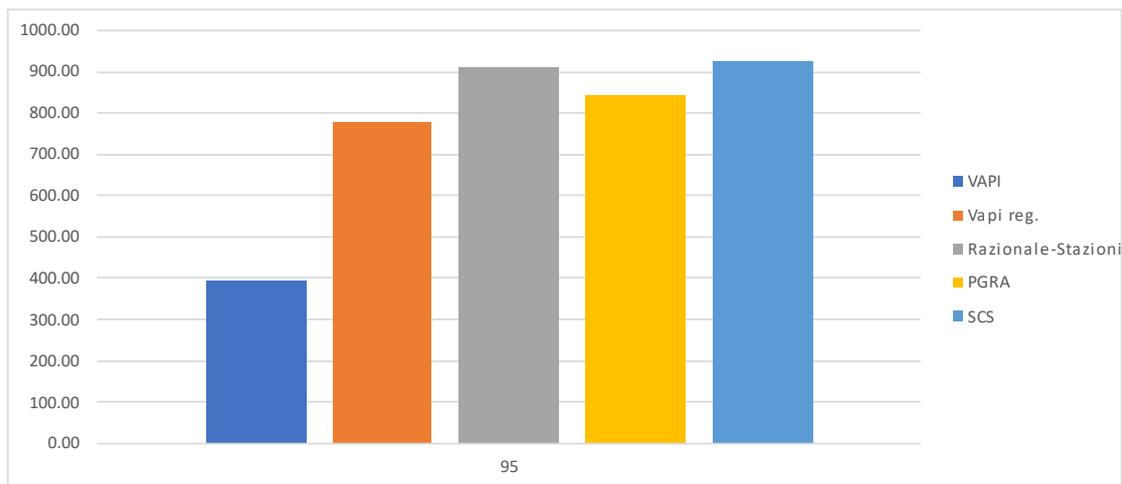


Figura 17 – Confronto delle portate al colmo ottenute con i diversi metodi -Bacino86.

	LINEA SALERNO – REGGIO CALABRIA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1C BUONABITACOLO – PRAIA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	Relazione idrologica generale	COMMESSA RC2A	LOTTO C1 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. B

4 CAMBIAMENTI CLIMATICI

La conoscenza delle variazioni climatiche sul territorio italiano, in corso e previste, è il presupposto fondamentale per la valutazione degli impatti e della strategia di adattamento ai cambiamenti climatici.

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/m² - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m² - RCP4.5 e 6 W/m² - RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m² - 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) 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

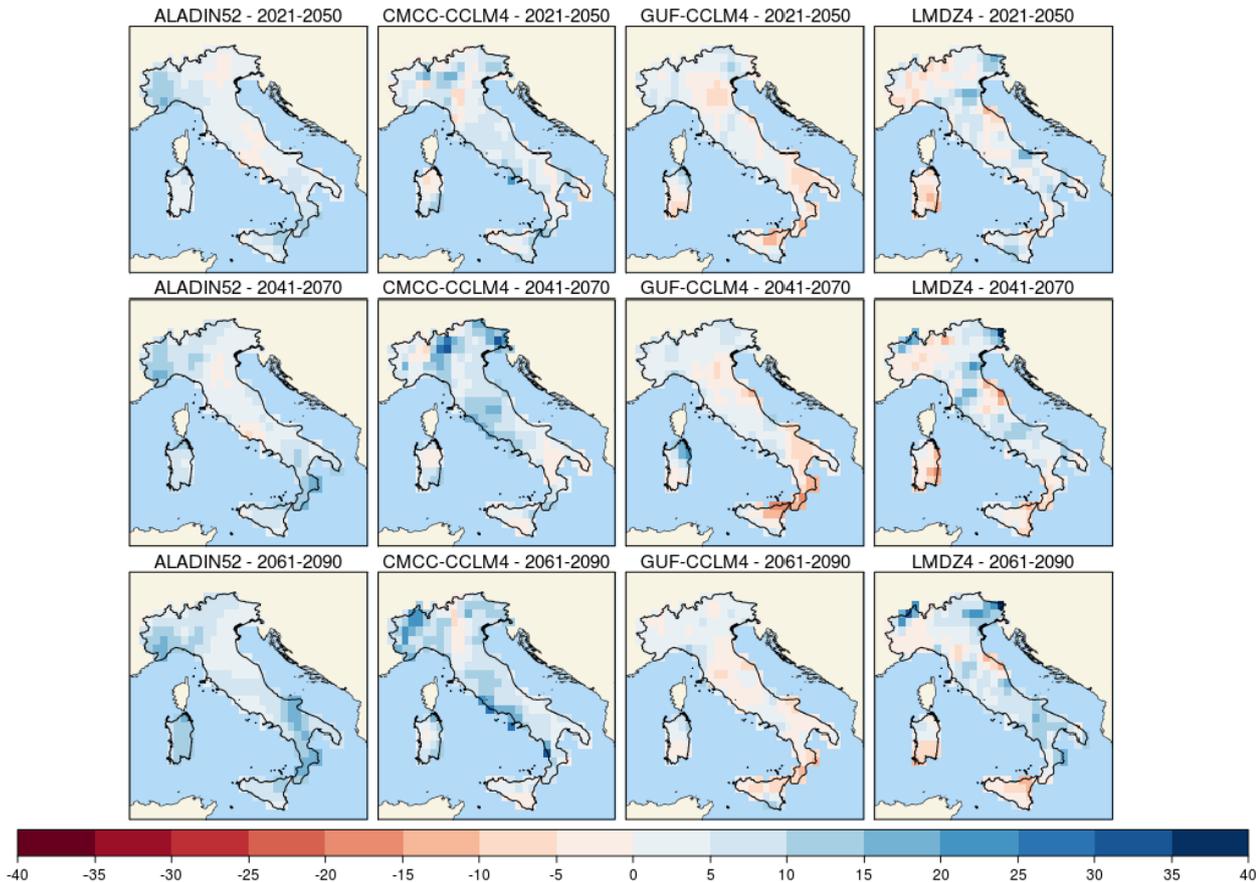


Figura 18 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5.

Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

RCP 8.5

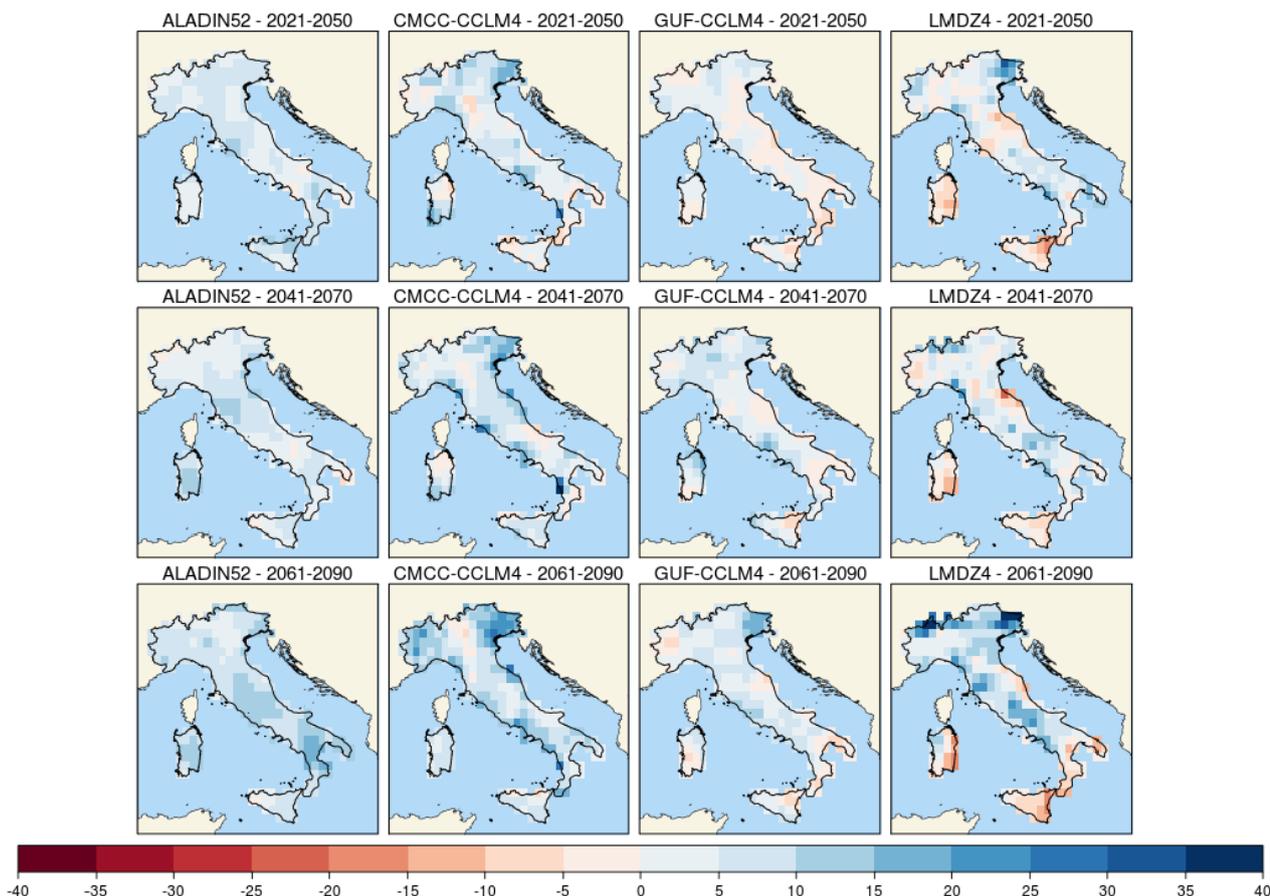


Figura 19 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5.

Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

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.

Nella tabella seguente si riportano le variazioni di precipitazione massima giornaliera (h24) (rispetto al valore nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000), previste nell'area di intervento, per i tre orizzonti temporali: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, con riferimento ai due scenari RCP4.5 e RCP8.5, dedotte dalle mappe sopra descritte.

Periodo	Variazione max h_{24} (RCP4.5)	Variazione max h_{24} (RCP8.5)
2021-2050	+10-15 mm (LMDZ4)	+10-15 mm (LMDZ4)
2041-2070	+15-20 mm (ALADIN52)	+10-15 mm (LMDZ4)
2061-2090	+20-25 mm (ALADIN52)	+15-20 mm (ALADIN52)

Tabella 24 – Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell'area di intervento (ISPRA, 2015).

Con riferimento all'analisi idrologica effettuata, ed in particolare ai dati di pioggia registrati presso le stazioni pluviometriche analizzate, il valore massimo di precipitazione massima giornaliera (h_{24}), nel periodo climatologico 1971-2000, ammonta a 125 mm (Senerchia, 1999). Prendendo tale valore come riferimento, la variazione massima prevista, ossia +20-25 mm nel trentennio 2061-2090, corrisponderebbe ad un incremento della precipitazione massima giornaliera del 20% circa.

Pertanto, applicando tale incremento alle altezze di pioggia di progetto, ne deriva (adottando la formula razionale) un contestuale aumento delle portate al colmo, della medesima entità (+20%). Si ottengono, in questo caso, le seguenti variazioni in termini di portata.

Regione	ID	Progr.	Area bacino [km ²]	Q _{TR200}	Q _{MAX} cambiamenti climatici
				[m ³ /s]	[m ³ /s]
Campania	81	0+780	1.36	11.03	13.236
	82	2+853	10.82	41.44	49.728
	83	3+763	0.85	8.34	10.008
Basilicata	F. Noce (86)	26+671	124.29	497.01	596.412
	87	26+898	0.28	8.63	10.356
	88	27+286	0.59	13.96	16.752
	89	27+426	0.2	6.95	8.34
	90	27+673	0.34	9.78	11.736
	91	28+257	0.19	6.72	8.064
	92	28+380	22.07	144.32	173.184
	F. Noce (95)	38+429	300	910.31	1092.372
	95A	P-emerg.	0.2	6.95	8.34
	86-A	PT01	0.3	9.02	10.824
	86-B	26+277	0.09	4.15	4.98
86-C	26+511	0.06	3.2	3.84	
Calabria	93	41+989	52.79	411	493.2
	94	42+313	0.16	2.6	3.12

Tabella 25 – Lotto 1C: Potenziale incremento di portata dovuto ai cambiamenti climatici (+20%).

Per quanto riguarda i tombini, ipotizzando, in via cautelativa, che al seguente incremento di portata corrisponda un ugual incremento percentuale del G.R., si passerebbe da un grado di riempimento massimo del 60% (tombino su strada esistente vicino al piazzale di emergenza del lotto 1C) ad un G.R. del 72%. Quindi, sulla base delle proiezioni climatiche ad oggi disponibili, le opere previste in progetto garantirebbero (al 2090) il passaggio a pelo libero di eventuali “portate incrementate” per effetto dei cambiamenti climatici.