

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA

Relazione Idrologica Generale

SCALA:

-

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

I A 6 C 0 0 F 1 0 R I I D 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	D. Russo	Maggio 2020	M. Villani	Maggio 2020	T. Paolotti	Maggio 2020	L. Berardi Maggio 2020



File: IA6C00F10RIID0001A.doc

n. Elab.: X

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 1 DI 59

SOMMARIO

INDICE DELLE FIGURE E DELLE TABELLE	2
1 PREMESSA	5
2 INQUADRAMENTO NORMATIVO	7
2.1 PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO.....	7
2.2 NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (DECRETO 17 GENNAIO 2018 DEL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI)	9
2.3 CIRCOLARE 21 GENNAIO 2019, N. 7 C.S.LL.PP (ISTRUZIONI PER L'APPLICAZIONE DELL'AGGIORNAMENTO DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI DI CUI AL DECRETO MINISTERIALE 17 GENNAIO 2018)	10
2.4 MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE FERROVIARIE (RFI DTC SI CS MA IFS 001 D)	10
3 ANALISI PLUVIOMETRICA.....	11
3.1 ANALISI STATISTICA DEI DATI DI PIOGGIA REGISTRATI	11
3.2 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI CON IL METODO VA.P.I.....	17
4 STUDIO IDROLOGICO TORRENTE TITTADEGNA	22
4.1 METODOLOGIA	25
4.1.1 Ietogramma "Chicago"	26
4.1.2 Metodo del Curve Number (CN) – separazione afflussi/deflussi	26
4.1.3 SCS - Metodo dell'Idrogramma Unitario Istantaneo.....	29
4.2 VALUTAZIONE DELLE MASSIME PORTATE AL COLMO DI PIENA (PORTATA DI PROGETTO)	31
4.2.1 Delimitazione del bacino del Torrente Tittadegna.....	31
4.2.2 Metodologia di studio sviluppata per l'analisi idrologica del Torrente Tittadegna	32
4.2.3 Studio idrologico del bacino del Torrente Tittadegna.....	35
4.2.4 Valutazione delle massime portate al colmo di piena (portata di progetto) per il bacino del Torrente Tittadegna	37
4.2.5 Confronto con gli studi redatti dalla Autorità di Bacino.....	39
5 STUDIO IDROLOGICO INTERFERENZE IDRAULICHE.....	41

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 2 DI 59

5.1	ANALISI PLUVIOMETRICA	41
5.2	CARATTERIZZAZIONE ED INDIVIDUAZIONE DEI BACINI	41
5.3	STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO	46
5.3.1	Metodo cinematico o razionale	46
5.3.2	Definizione tempo di corrivazione	48
5.3.3	Metodo dell'idrogramma Unitario Istantaneo – SCS	50
5.3.4	Calcolo delle portate di riferimento per le verifiche idrauliche.....	52

INDICE DELLE FIGURE E DELLE TABELLE

Figura 1 – Inquadramento territoriale-linea Barleta-Canosa (in rosso), reticolo idrografico disponibile sul sito www.sit.puglia.it (in blu/ciano)	6
Figura 2 – Aree pericolosità idraulica - Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI).	8
Figura 3 – Aree pericolosità idraulica - Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Interferenza Torrente Tittadegna con linea di progetto.....	9
Figura 4: Stazioni pluviometriche e poligoni di Thiessen – Annali Idrologici della Protezione Civile – bacino Torrente Tittadegna	14
Figura 5: Stazioni pluviometriche e poligoni di Thiessen – Annali Idrologici della Protezione Civile – bacini idraulica minore	15
Tabella 1: Stazione pluviometrica di Andria: risultati dell'analisi dei dati da Annali Idrologici	15
Tabella 2: Stazione pluviometrica di Barletta: risultati dell'analisi dei dati da Annali Idrologici	16
Tabella 3: Stazione pluviometrica di Canosa: risultati dell'analisi dei dati da Annali Idrologici	16
Tabella 4: Stazione pluviometrica di Masseria Santa Chiara: risultati dell'analisi dei dati da Annali Idrologici.....	16
Tabella 5: Stazione pluviometrica di Minervino Murge: risultati dell'analisi dei dati da Annali Idrologici.....	17
Tabella 6: Stazione pluviometrica di Castel del Monte: risultati dell'analisi dei dati da Annali Idrologici	17
Figura 6: Regione Puglia: Zone omogenee al 3° livello di regionalizzazione.....	18
Tabella 7: Parametri del VAPI per il I e II livello di regionalizzazione per la zona in esame ricavata dall'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia	19
Tabella 8 – Valori del fattore di crescita per la zona in esame ricavata dall' Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia.....	20

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 3 DI 59

Figura 7 – Zone omogenee rispetto al valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere20

Tabella 9 - Parametri del VAPI per il III livello di regionalizzazione per la zona in esame ricavata dall' Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia21

Figura 8 – Bacino corso d'acqua principale22

Figura 9 – Inquadramento territoriale.....23

Figura 10: Rappresentazione cartografica del Curve Number – da Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia (Autorità di Bacino della Puglia)24

Figura 11: Procedura di sviluppo di un modello idrologico24

Figura 12: Distribuzione tipo di uno ietogramma Chicago26

Figura 13: Valori di Curve Number per diverse tipologie di uso del suolo, condizione idrologica e gruppo di terreno28

Tabella 10: Esempi di suoli ricadenti nella classificazione secondo SCS.....28

Figura 14: Idrogramma Unitario SCS adimensionalizzato29

Tabella 11: Fattore di picco e coefficiente per la definizione della curva di esaurimento (Wanielista, et al. 1997)30

Figura 15: Delimitazione sottobacino Tittadegna_3+931.....31

Figura 16: Delimitazione sottobacini Tittadegna_sez75 e Tittadegna_sezDX.....32

Tabella 12: Sottobacini analizzati.....32

Figura 17: Sezioni di chiusura - Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia (Autorità di Bacino Regione Puglia)34

Tabella 13: Parametro CN relativo ai sottobacini del Torrente Tittadegna35

Tabella 14: Parametri caratteristici dei sottobacini del Torrente Tittadegna estrapolati tramite applicativo G.I.S.35

Tabella 15: Parametri caratteristici dei sottobacini del Torrente Tittadegna calcolati.....35

Figura 18: Modello del bacino del Torrente Tittadegna in HEC-HMS.....36

Tabella 16: Parametri dei sottobacini del Torrente Tittadegna implementati nel modello HEC-HMS37

Tabella 17: Portate al colmo di piena alle sezioni di chiusura da dati pluviometrici Metodo Va.P.I. – Tr=30-50-100-200-500 - bacino del Fiume Tittadegna37

Figura 19: idrogrammi di piena – sottobacino Tittadegna sez_75 – Tr=30-50-100-200-500.....38

Figura 20: Idrogrammi di piena – sottobacino Tittadegna sez_DX – Tr=30-50-100-200-50038

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 4 DI 59

Figura 21: Idrogrammi di piena – sottobacino Tittadegna sez_3+931 – Tr=30-50-100-200-500	39
Tabella 18 Confronto Qmax con i valori fpresenti nello studio AdB del 2015.....	39
Figura 22: Confronto con Idrogramma di piena fornito dall' AdB – sez 124	40
Figura 23: Delimitazione dei bacini – da Km 1+984 a Km 11+482	42
Figura 24: Delimitazione dei bacini – da Km 11+482 a Km 19+910	43
Figura 25: Delimitazione dei bacini – da Km 19+910 a Km 24+398	44
Tabella 20: Caratteristiche topografiche dei bacini	46
Figura 26: Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione	47
Figura 27: Individuazione bacini sulla rappresentazione cartografica del CN dell'AdBP	51
Tabella 21: Tempi di corrivazione dei bacini.....	54
Tabella 22: Parametri per la definizione dell'Idrogramma Unitario Istantaneo SCS - portata di progetto e coefficiente udometrico – Tr200 – dati da Annali Idrologici.....	55
Tabella 23: Parametri per la definizione dell'Idrogramma Unitario Istantaneo SCS - portata di progetto e coefficiente udometrico – Tr200 – dati ricavati tramite Metodo Va.P.I.....	57
Tabella 24: Confronto valori di portata e coefficienti udometrici tra i dati degli Annali Idrologici e i dati ricavati tramite Metodo Va.P.I. e portata massima – Tr200	58

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante degli elaborati specialistici relativi allo studio idrologico ed idraulico del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica di Potenziamento e elettrificazione della linea Barletta-Canosa.

La linea ferroviaria esistente tra Barletta e Canosa, evidenziata in rosso in Figura 1, è una linea a singolo binario non elettrificata di circa 24km di sviluppo e interferisce con gli affluenti in destra idraulica del Fiume Ofanto.

Scopo della presente relazione è l'individuazione delle interferenze esistenti della linea ferroviaria Barletta-Canosa al fine di valutare le portate dei corsi d'acqua intersecanti. Lo studio idrologico è stato svolto sia svolgendo analisi statistiche a partire dalle registrazioni di pioggia disponibili sul sito della Protezione Civile della Puglia (<https://www.protezionecivile.puglia.it/>) fino all'anno 2013, sia estrapolando i parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica attraverso la metodologia del Va.P.I con riferimento a tempi di ritorno pari a 30, 50, 100, 200 e 500 anni.

Tra le interferenze idrauliche riscontrate, particolare attenzione è posta alla interferenza idraulica con il Torrente Tittadegna. Per questo corso d'acqua esiste uno studio della Autorità di Bacino della Regione Puglia (AdB)¹ che analizza l'Ofanto e i suoi affluenti con bacini idrografici di superficie maggiore di 25km² e che ha l'obiettivo di *"definire gli interventi urgenti per la messa in sicurezza del territorio per l'unità fisiografica dell'Ofanto. Nello specifico, sono individuati gli elementi a rischio, quali infrastrutture viarie e insediamenti urbani e produttivi, [...] per la mappatura sistematica della pericolosità idraulica e per la verifica della funzionalità idraulica delle opere d'arte di attraversamento"*. Lo studio della AdB restituisce una fotografia delle situazioni di rischio idraulico che caratterizzano il territorio e le infrastrutture che lo attraversano. In particolare, per l'area oggetto del PFTE interferente con il torrente Tittadegna (compreso tra i due cavalcaferrovie esistenti alle pk 3+791 e 4+578), tale studio evidenzia la possibilità di un sormonto già con tempi di ritorno ridotti per le maggiori infrastrutture viarie e ferroviarie attraversate dal torrente Tittadegna nel suo percorso verso l'Ofanto. I risultati preliminari di tale studio sono stati discussi in un incontro con la AdB, tenutosi il 05 Marzo 2020, nel corso del quale è stato concordato con la AdB la messa a punto di una integrazione di detto studio, con l'obiettivo di rivalutare i livelli di criticità idraulica e di individuare gli opportuni interventi di messa in sicurezza, con specifico riferimento alla linea ferroviaria Barletta-Canosa. I risultati del modello bidimensionale implementato sono mostrati nella relazione dedicata (IA6C00T10RIID0002001A), mentre nella presente relazione è mostrata la procedura e i risultati per la definizione degli input idrologici di tale modello.

La presente relazione si articola in tre principali sezioni: nella prima sezione (Capitolo 3) viene descritta l'analisi pluviometrica dell' area interessata dallo studio, nella seconda (Capitolo 4) lo studio idrologico del Torrente Tittadegna e nell' ultima (Capitolo 5) lo studio idrologico per i restanti attraversamenti idraulici.

¹ Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia – Ofanto, Dicembre 2015

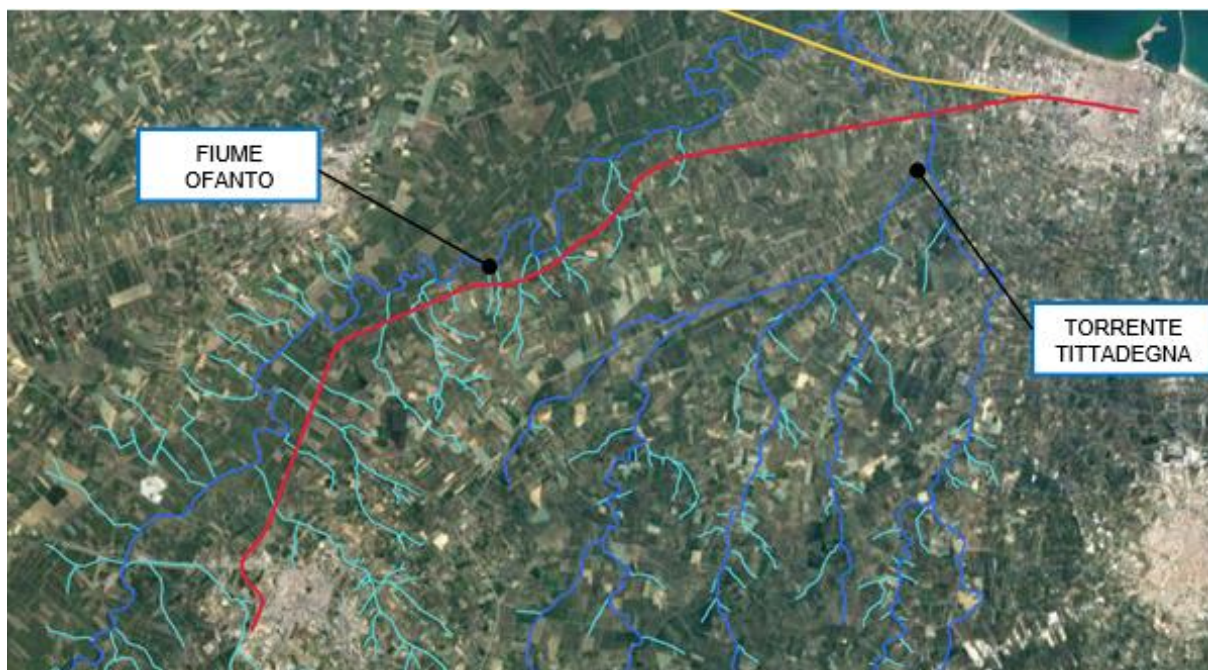


Figura 1 – Inquadramento territoriale-linea Barleta-Canosa (in rosso), reticolo idrografico disponibile sul sito www.sit.puglia.it (in blu/ciano)

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 7 DI 59

2 INQUADRAMENTO NORMATIVO

2.1 Piano stralcio per l'assetto idrogeologico

All'interno degli strumenti legislativi (adozione dicembre 2004, approvazione novembre 2005), si è adottato il P.A.I., Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico adottato dall'Autorità di Bacino della Puglia che individua le aree a rischio idraulico ed idrogeologico.

Nella Relazione di Piano sono individuate le aree soggette a pericolosità idraulica attraverso l'individuazione, la localizzazione e la caratterizzazione degli eventi alluvionali che abbiano prodotto effetti sul territorio, in particolare danni a persone o cose, o, semplicemente, abbiano creato condizioni di disagio o allarme. Tale individuazione è un importante strumento che ha condotto alla delimitazione delle aree a potenziale rischio inondazione, distinte in aree a bassa probabilità di inondazione, a moderata probabilità e ad alta probabilità, con le seguenti caratteristiche:

Aree a bassa probabilità di inondazione (B.P.) - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) compreso tra 200 e 500 anni.

Aree a moderata probabilità di inondazione (M.P.) - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) compreso tra 30 e 200 anni.

Aree ad alta probabilità di inondazione (A.P.) - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) inferiore o pari a 30 anni.

Nell'analisi del rischio idrogeologico, l'individuazione delle aree a rischio idrogeologico si ricava per sovrapposizione delle zone soggette a pericolosità con gli elementi a rischio idrogeomorfologico, definiti in 5 classi:

E5 = agglomerati urbani, aree industriali e/o artigianali, centri abitati estesi, edifici isolati, dighe e invasi idrici, strutture ricreative e campeggi;

E4 = strade statali, strade provinciali, strade comunali (unica via di collegamento all'abitato) e **linee ferroviarie**;

E3 = linee elettriche, acquedotti, fognature, depuratori e strade secondarie;

E2 = impianti sportivi con soli manufatti di servizio, colture agricole intensive;

E1 = assenza di insediamenti, attività antropiche e patrimonio ambientale.

Le aree di rischio sono classificate come:

Aree a rischio moderato R1: per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;

Aree a rischio medio R2: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;

Aree a rischio elevato R3: per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture, con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;

Aree a rischio molto elevato R4: per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale e la distruzione di attività socioeconomiche.

In Figura 2 è riportata la disposizione planimetrica delle aree di pericolosità idraulica definite all'interno del Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico. In Figura 3 invece viene riportato un ingrandimento dell'area di interferenza del Torrente Tittadegna con la linea Barletta-Canosa.

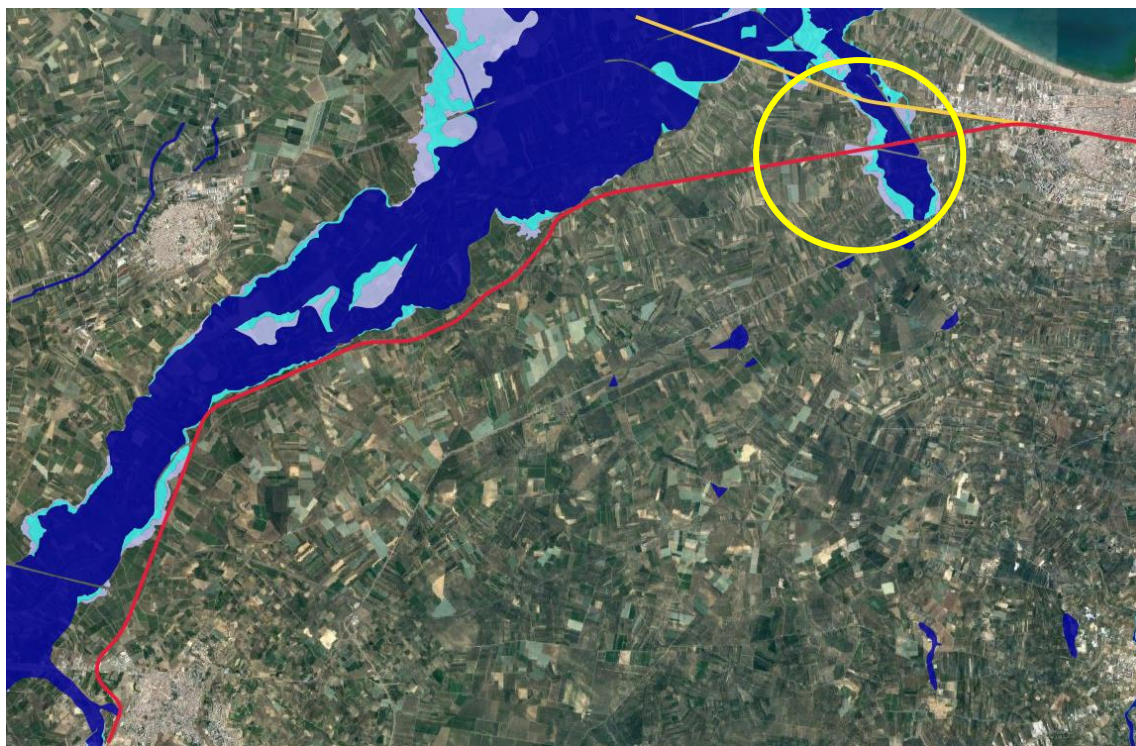


Figura 2 – Aree pericolosità idraulica - Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI).

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 9 DI 59

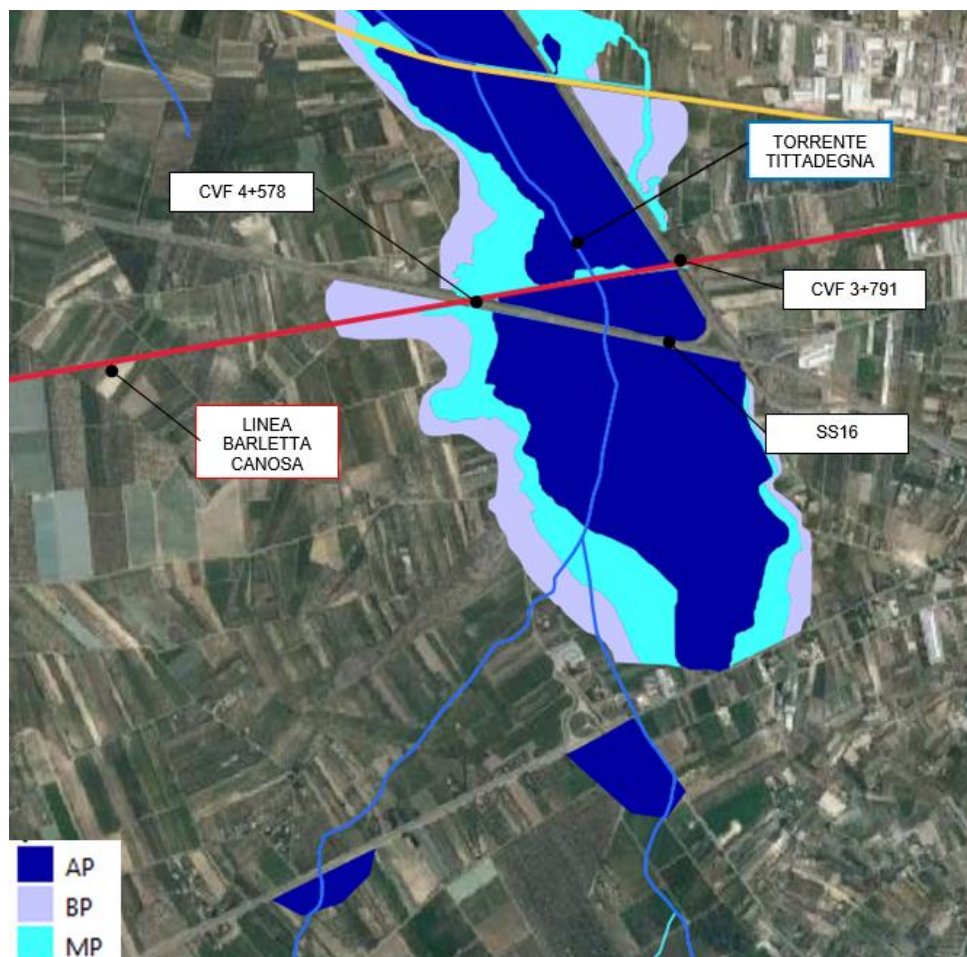


Figura 3 – Aree pericolosità idraulica - Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Interferenza Torrente Tittadegna con linea di progetto

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

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

Si riporta un estratto della normativa:

5.1.2.3 Compatibilità Idraulica

[...]

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 10 DI 59

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.

[...]

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

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

[...]

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

[...]

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

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

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

[...]

3.7.2.1.2 Attraversamenti corsi d' acqua principali

[...]

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

[...]

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

[...]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 11 DI 59

3 ANALISI PLUVIOMETRICA

Nell'ambito del presente progetto è stato sviluppato uno studio idrologico con lo scopo di individuare le portate di progetto per i corsi d'acqua interferenti con la linea ferroviaria di progetto e di ricavare le caratteristiche idrologiche dell'area di studio. Sono stati riportati i risultati dell'analisi pluviometrica svolta per tempi di ritorno pari a 30, 50, 100, 200 e 500 anni. I dati ottenuti sono stati in seguito utilizzati per la definizione delle portate e delle variabili idrologiche ricercate.

Per le analisi idrologiche sono stati valutati:

- i dati di precipitazione riportati negli Annali Idrologici disponibili ed analizzati con il metodo di Gumbel;
- i parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica ricavati dallo studio del Va.P.I..

Il progetto delle opere idrauliche è stato cautelativamente sviluppato facendo riferimento alle portate maggiori tra quelle ottenute con i due metodi.

3.1 Analisi statistica dei dati di pioggia registrati

I dati idrologici estratti dagli Annali Idrologici disponibili sul sito della Protezione Civile della Puglia (<https://www.protezionecivile.puglia.it/>) sono i valori storici del massimo annuo giornaliero della pioggia per le durate di precipitazione pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore aggiornati al 2013. Nell'estrazione dei dati sono state considerate le stazioni che presentavano almeno 30 anni di registrazioni. Sono state quindi prese in esame le stazioni pluviometriche più vicine all'area di studio e con queste si è ripartito il territorio in aree di competenza a ciascuna stazione tramite il metodo geometrico di Thiessen. Nello studio sono stati considerati i dati registrati dalle stazioni pluviometriche di Andria, Barletta, Canosa, S.Chiera, Minervino Murge e Castel del Monte.

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:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 12 DI 59

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

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:

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

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:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 13 DI 59

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

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

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.

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

Individuate le stazioni pluviometriche presenti nella zona di interesse, il territorio è stato ripartito in aree di competenza a ciascuna stazione tramite il metodo geometrico di Thiessen. Di seguito vengono presentate le stazioni pluviometriche prese in considerazione nello studio del bacino del Torrente Tittadegna (Figura 4) e nello studio dei bacini dell'idraulica minore (Figura 5).

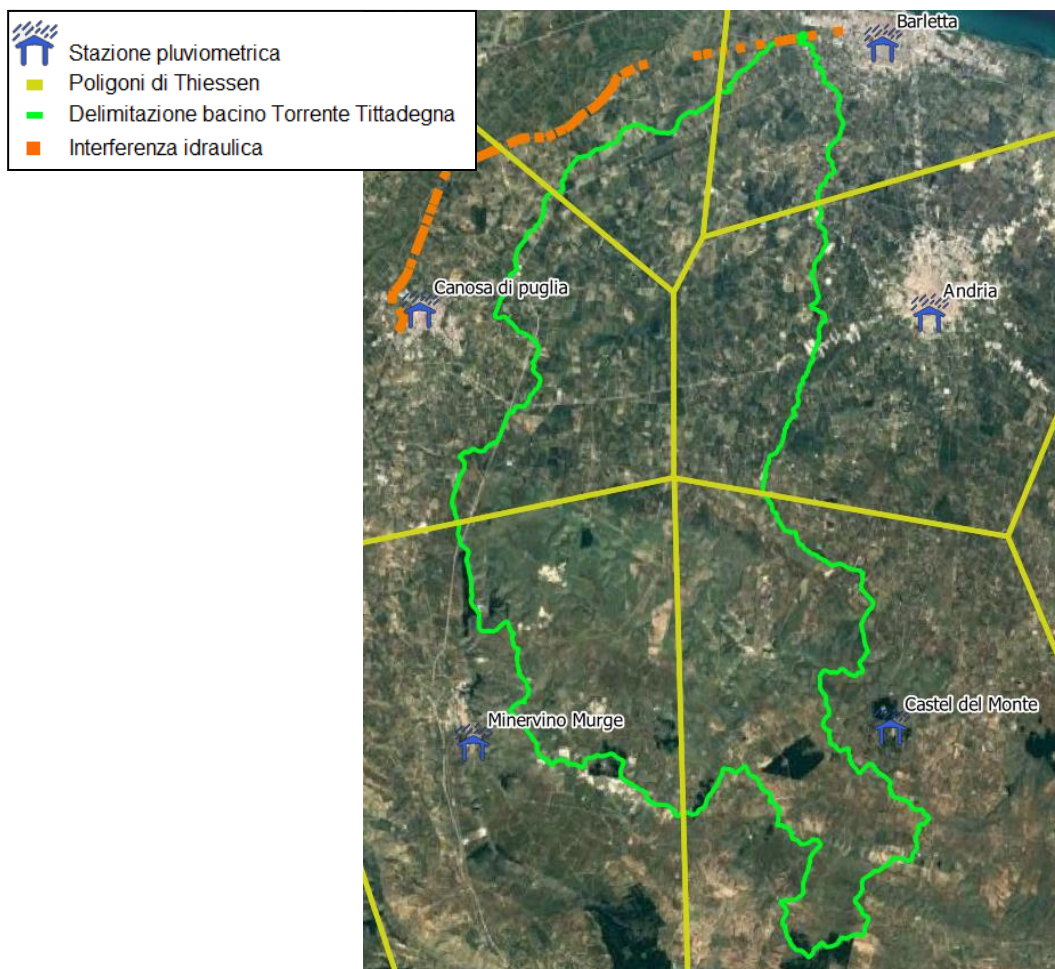


Figura 4: Stazioni pluviometriche e poligoni di Thiessen – Annali Idrologici della Protezione Civile – bacino Torrente Tittadegna

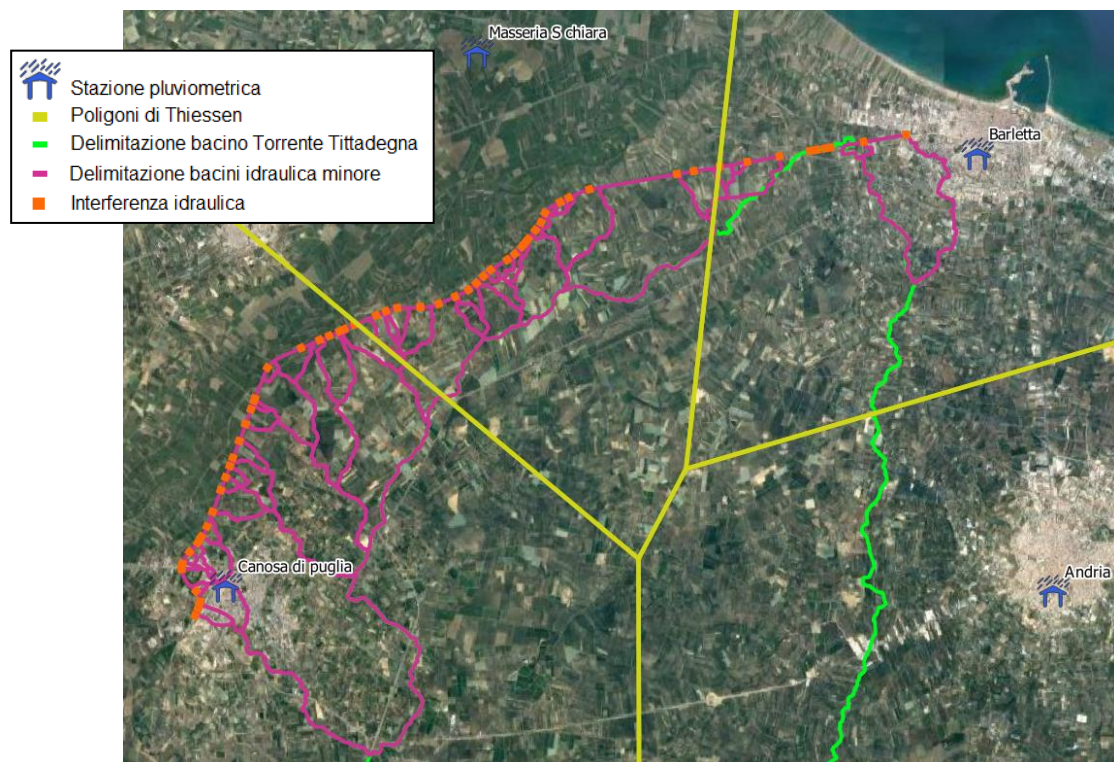


Figura 5: Stazioni pluviometriche e poligoni di Thiessen – Annali Idrologici della Protezione Civile – bacini idraulica minore

Di seguito si riportano le tabelle dei risultati delle analisi statistiche eseguite per le stazioni prese in esame: le tabelle contengono le altezze di precipitazione relative alle durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, per i tempi di ritorno di 30, 50, 100, 200, e 500 anni ed i corrispondenti parametri delle curve di possibilità pluviometrica a ed n.

STAZIONE PLUVIOMETRICA ANDRIA					
t (ore)	Altezza di precipitazione h (Tr) [mm]				
	TR30	TR50	TR100	TR200	TR500
0.08	26.49	29.13	32.69	36.23	40.91
0.25	35.83	39.34	44.06	48.78	54.99
1	52.45	57.47	64.24	70.98	79.88
2	63.45	69.46	77.56	85.63	96.28
3	70.93	77.60	86.60	95.56	107.38
6	85.82	93.80	104.56	115.28	129.42
12	103.83	113.37	126.24	139.07	155.98
24	125.62	137.03	152.43	167.76	188.00
a	52.45	57.47	64.24	70.98	79.88
n	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27

Tabella 1: Stazione pluviometrica di Andria: risultati dell'analisi dei dati da Annali Idrologici

STAZIONE PLUVIOMETRICA BARLETTA					
t (ore)	Altezza di precipitazione h (Tr) [mm]				
	TR30	TR50	TR100	TR200	TR500
0.08	27.24	29.86	33.39	36.90	41.52
0.25	36.96	40.50	45.28	50.03	56.31
1	54.29	59.49	66.50	73.48	82.69
2	65.81	72.11	80.59	89.05	100.20
3	73.65	80.69	90.19	99.64	112.12
6	89.27	97.80	109.30	120.76	135.87
12	108.20	118.53	132.46	146.34	164.65
24	131.15	143.66	160.54	177.35	199.53
a	54.29	59.49	66.50	73.48	82.69
n	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28

Tabella 2: Stazione pluviometrica di Barletta: risultati dell'analisi dei dati da Annali Idrologici

STAZIONE PLUVIOMETRICA CANOSA					
t (ore)	Altezza di precipitazione h (Tr) [mm]				
	TR30	TR50	TR100	TR200	TR500
0.08	28.80	31.81	35.86	39.91	45.25
0.25	37.82	41.69	46.91	52.11	58.97
1	53.34	58.65	65.82	72.95	82.37
2	63.35	69.57	77.96	86.32	97.35
3	70.05	76.87	86.08	95.25	107.35
6	83.19	91.18	101.96	112.70	126.87
12	98.79	108.15	120.78	133.36	149.95
24	117.32	128.28	143.06	157.79	177.23
a	53.34	58.65	65.82	72.95	82.37
n	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24

Tabella 3: Stazione pluviometrica di Canosa: risultati dell'analisi dei dati da Annali Idrologici

STAZIONE PLUVIOMETRICA MASSERIA SANTA CHIARA					
t (ore)	Altezza di precipitazione h (Tr) [mm]				
	TR30	TR50	TR100	TR200	TR500
0.08	28.58	31.82	36.18	40.54	46.30
0.25	36.44	40.40	45.74	51.06	58.09
1	49.51	54.60	61.47	68.32	77.35
2	57.71	63.48	71.26	79.02	89.25
3	63.12	69.33	77.70	86.04	97.04
6	73.57	80.60	90.08	99.52	111.97
12	85.76	93.71	104.43	115.11	129.20
24	99.96	108.95	121.07	133.15	149.09
a	49.51	54.60	61.47	68.32	77.35
n	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21

Tabella 4: Stazione pluviometrica di Masseria Santa Chiara: risultati dell'analisi dei dati da Annali Idrologici

STAZIONE PLUVIOMETRICA MINERVINO MURGE					
t (ore)	Altezza di precipitazione h (Tr) [mm]				
	TR30	TR50	TR100	TR200	TR500
0.08	33.33	37.03	42.03	47.02	53.60
0.25	43.11	47.72	53.96	60.18	68.38
1	59.64	65.74	73.96	82.16	92.97
2	70.16	77.16	86.60	96.00	108.41
3	77.15	84.73	94.96	105.16	118.60
6	90.75	99.45	111.18	122.87	138.30
12	106.74	116.72	130.17	143.58	161.26
24	125.56	136.99	152.40	167.77	188.04
a	59.64	65.74	73.96	82.16	92.97
n	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22

Tabella 5: Stazione pluviometrica di Minervino Murge: risultati dell'analisi dei dati da Annali Idrologici

STAZIONE PLUVIOMETRICA CASTEL DEL MONTE					
t (ore)	Altezza di precipitazione h (Tr) [mm]				
	TR30	TR50	TR100	TR200	TR500
0.08	23.66	25.98	29.12	32.26	36.39
0.25	32.13	35.19	39.31	43.41	48.83
1	47.29	51.59	57.38	63.15	70.76
2	57.37	62.46	69.33	76.16	85.19
3	64.24	69.86	77.44	84.99	94.95
6	77.93	84.58	93.56	102.50	114.30
12	94.54	102.42	113.04	123.63	137.59
24	114.69	124.01	136.58	149.11	165.63
a	47.29	51.59	57.38	63.15	70.76
n	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27

Tabella 6: Stazione pluviometrica di Castel del Monte: risultati dell'analisi dei dati da Annali Idrologici

3.2 Analisi delle precipitazioni con il metodo Va.P.I.

In questo capitolo si illustreranno i risultati del Progetto Va.P.I. per la stima delle precipitazioni di assegnato tempo di ritorno per il territorio di interesse in questo studio. Questa sintesi è stata articolata con riferimento a indagini effettuate nella modellazione dei dati pluviometrici ed idrometrici della regione, contenute nel Rapporto Regionale pubblicato, Valutazione delle Piene in Puglia [Copertino e Fiorentino, 1994], a cui si rimanda per ogni ulteriore approfondimento.

Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV con regionalizzazione di tipo gerarchico. Per l'individuazione delle regioni omogenee di primo e secondo livello si è fatto ricorso a generazioni sintetiche Montecarlo in grado di riprodurre la struttura correlativa delle serie osservate. I risultati dello studio citato hanno evidenziato la consistenza di due zone di primo e secondo livello. L'intero territorio di competenza del

compartimento di Bari del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale risulta quindi diviso in due sottozone: una settentrionale e una centro-meridionale. La sottozona settentrionale comprende il Gargano, il Tavoliere, i Monti Dauni, l'Ofanto e la zona settentrionale dell'Alta Murgia e della Puglia Centrale; la sottozona centro-meridionale comprende invece la zona meridionale dell'Alta Murgia e della Puglia Centrale, la Murgia dei Trulli, l'Arco Jonico Tarantino, la Campagna Brindisina e il Tavoliere Salentino.

L'analisi di terzo livello è invece basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota, la quale ha portato alla individuazione di quattro sottozone nella parte settentrionale e due nella parte meridionale. In definitiva il territorio di competenza della regione Puglia è stato quindi suddiviso in 6 zone pluviometriche omogenee.

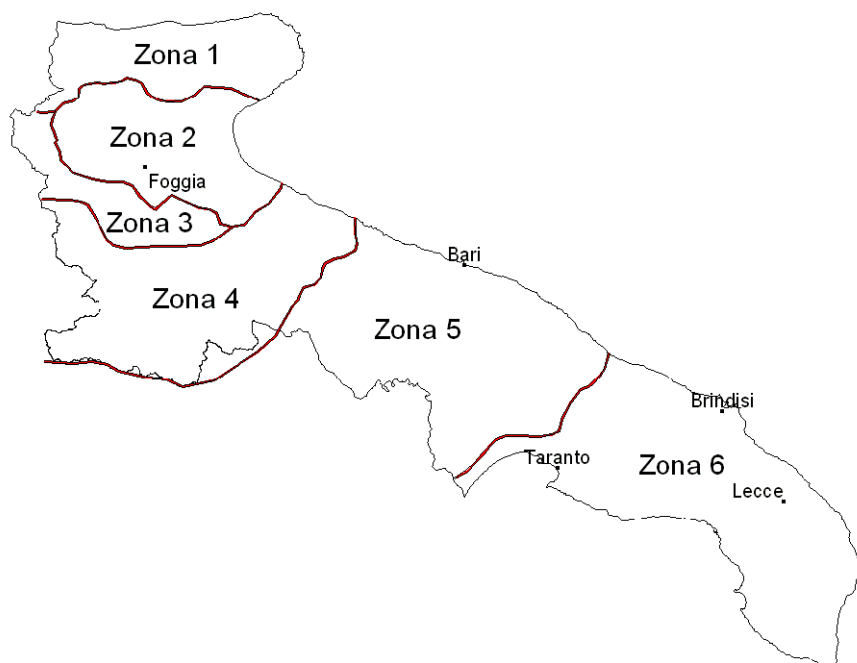


Figura 6: Regione Puglia: Zone omogenee al 3° livello di regionalizzazione

I dati pluviometrici utilizzati nell'Analisi sono quelli pubblicati sugli annali idrologici del Compartimento di Bari del S.I.M.I.: le osservazioni pluviometriche interessano il periodo dal 1932 al 1994 in tutte le stazioni di studio, con almeno quindici anni di misure, dei massimi annuali delle precipitazioni giornaliere ed orarie.

1° e II° Livello di regionalizzazione

Nell'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia condotta sulle piogge giornaliere, è stata accolta l'ipotesi secondo la quale le stazioni appartengano ad una zona unica, al primo livello nella zona settentrionale, entro la quale si possano ritenere costanti i valori teorici dei parametri Λ^* e Θ^* .

Anche nella procedura operata al secondo livello di regionalizzazione, la verifica dell'ipotesi di unica zona omogenea ha condotto ad un risultato positivo con valore costante di Λ_1 .

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 19 DI 59

Piogge	$\theta^*=2.352$	$\Lambda^*=0.772$	$\Lambda_1=45$
--------	------------------	-------------------	----------------

Tabella 7: Parametri del VAPI per il I e II livello di regionalizzazione per la zona in esame ricavata dall'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia

L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione ha consentito dunque, conoscendo Λ_1 , Λ^* e θ^* , la determinazione delle curve regionali di crescita della precipitazione.

Il valore di K_T può essere calcolato in funzione di T attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita:

$$K_T = a + b \ln(T)$$

In cui:

$$a = \frac{(\theta^* \ln \Lambda^* + \ln \Lambda_1)}{\eta}$$

$$b = \frac{\theta^*}{\eta}$$

$$\eta = \ln \Lambda_1 + C - T_0$$

$$T_0 = \sum_{i=11}^{\infty} \frac{(-1)^i \Lambda_*^i}{i!} \Gamma\left(\frac{i}{\theta_*}\right)$$

$$C = 0.5772 \quad (\text{costante di Eulero})$$

Che, dati i valori assunti dai parametri della distribuzione TCEV in Puglia, diventa:

$$K_T = 0.5648 + 0.415 \ln(T)$$

Nella tabella seguente sono riportati, i valori di K_T relativi ai valori del periodo di ritorno più comunemente adottati in questo studio.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 20 DI 59

T	10	20	30	50	100	200	300
K_T	1.52	1.81	1.98	2.19	2.48	2.76	2.93

Tabella 8 – Valori del fattore di crescita per la zona in esame ricavata dall’ Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia

III° Livello di regionalizzazione

Lo studio svolto nell’Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia ha individuato diverse aree omogenee al terzo livello di regionalizzazione, nel quale si analizza la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda o mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali. A tal fine sono stati indagati eventuali legami esistenti tra i valori medi x_g dei massimi annuali delle piogge giornaliere e parametri geografici significativi (ad esempio la quota sul livello del mare) delle diverse località.

Lo studio ha condotto l'analisi su 85 serie caratterizzate da almeno 10 anni di osservazione ed ha individuato le aree omogenee al terzo livello proponendo che in ciascuna area x_g sia costante, oppure variabile linearmente in funzione della quota h sul livello medio mare della stazione di osservazione, con la relazione:

$$\ln(x_g) = C h + D$$

i cui parametri C e D sono determinabili attraverso regressione lineare.

Nella parte settentrionale della Puglia sono state individuate quattro zone pluviometriche omogenee, visibili in Figura 7. L’area in esame in questo studio è situata all’interno della zona 4.

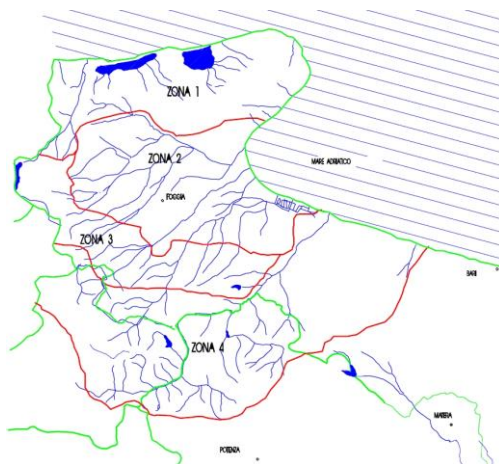


Figura 7 – Zone omogenee rispetto al valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere

La relazione che lega l’altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito (h), per le aree in esame, viene generalizzata nella forma:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 21 DI 59

$$\mu(X_t) = \alpha t^{(Ch+D+\log \alpha - \log a) / \log 24}$$

in cui α è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di $\mu(X_t)$ relativi alle serie ricadenti in ciascuna zona omogenea; $\alpha = x_g / x_{24}$ è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata 24 ore per serie storiche di pari numerosità. Per la Puglia il valore del coefficiente α è praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89; C e D sono i coefficienti della regressione lineare fra il valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota sul livello del mare.

I valori dei parametri sono riportati nella Tabella 9.

Zona	α	a	C	D	n
1	0.89	28.66	.00503	3.959	-
2	"	22.23	-	-	.247
3	"	25.325	.000531	3.811	-
4	"	24.7	-	-	.256

Tabella 9 - Parametri del VAPI per il III livello di regionalizzazione per la zona in esame ricavata dall' Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia

Nel seguito di questo studio, grazie ai risultati illustrati, si sono determinate le altezze di precipitazioni di riferimento per ogni bacino idrografico di ogni attraversamento idraulico lungo la tratta ferroviaria oggetto del presente studio, grazie all'individuazione della zona omogenea in cui ricade il bacino e alla determinazione di un'altitudine media rappresentativa dell'area scolante stessa.

Nello specifico il bacino del fiume Ofanto ricade esclusivamente nella zona omogenea 4, per la quale vale la seguente equazione:

$$\text{Zona 4: } x(t,z) = 24.70 t^{0.256}$$

t

z

dove t è il tempo caratteristico dell'evento relativo al modello idrologico adottato e z è la quota media sul livello medio del mare del bacino idrografico.

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 22 DI 59

4 STUDIO IDROLOGICO TORRENTE TITTADegna

Si riporta di seguito lo studio idrologico sviluppato al fine di definire gli idrogrammi di piena per il Torrente Tittadegna, lo studio è propedeutico alla implementazione del modello bidimensionale sviluppato nell'ambito del presente progetto e presentato nell'elaborato IA6C00T10RIID0002001A.

Il Torrente Tittadegna ha un carattere prevalentemente torrentizio ad andamento stagionale e sottende un bacino idrografico di circa 290 km² (Figura 8). Il torrente è uno dei principali affluenti che, in destra idraulica, alimentano il corso principale del fiume Ofanto.



Figura 8 – Bacino corso d'acqua principale

Lungo il corso d'acqua del Torrente Tittadegna, gli alvei sono prevalentemente naturali aventi profondità alquanto variabile e con sezioni in gran parte definite da sponde ricoperte da vegetazione. Il tratto esaminato in questo studio non presenta un alveo inciso; infatti il tratto di linea ferroviaria interessato dal torrente in esame è compreso tra i due cavalcaferrovia esistenti alle pk 3+791 e 4+578 (Figura 9). Nella seguente figura si riporta un inquadramento della linea ferroviaria in cui sono individuate le opere interessate dal corso d'acqua.

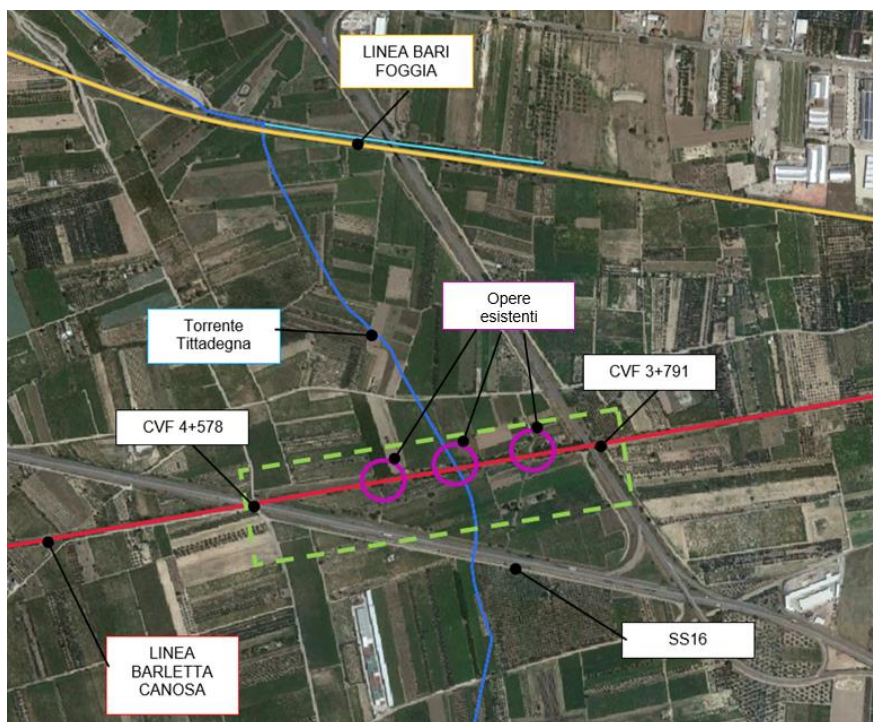


Figura 9 – Inquadramento territoriale

Lo studio idrologico eseguito in questo progetto considera come riferimenti generale lo *Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia* (di seguito denominato *AdBP del 2015*) e la *Revisione delle perimetrazioni delle aree a diversa pericolosità idraulica del Fiume Ofanto dal Ponte Romano alla foce - Relazione Tecnica*, entrambi sviluppati dall'Autorità di Bacino della Puglia.

Coerentemente con gli studi sopra citati l'analisi idrologica è stata sviluppata in due fasi:

- una prima fase svolta in ambiente GIS che comprende la delimitazione dei bacini e dei relativi sottobacini afferenti al corso d'acqua di studio: questo processo è stato sviluppato tenendo conto delle interferenze idrauliche con la linea di progetto, della rilevanza degli affluenti al corso d'acqua principale e dell'interesse a valutare l'immissione di portata esaminata nello studio idraulico;
- una seconda fase in cui è stato utilizzato il modello idrologico HEC-HMS precedentemente descritto per simulare i processi di afflusso-deflusso e ottenere le portate al colmo di piena per i fissati tempi di ritorno in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei bacini e sottobacini identificati precedentemente.

Per ricostruire la rete idrografica e individuare i limiti dei bacini e dei sottobacini, delineati a partire dalle sezioni di interesse, è stato utilizzato il modello digitale del terreno alla risoluzione di 8 m, disponibile presso il portale cartografico regionale della Regione Puglia. Sfruttando il DTM dell'area di interesse tramite applicativo GIS, è stata identificata la rete idrografica dell'area di studio. È stato così possibile individuare i principali parametri morfologici che costituiscono parte dell'input per la modellazione idrologica; questi sono l'area del bacino, la lunghezza e la pendenza media del bacino.

Per la stima dei valori dei CN sono stati presi come riferimento i dati presenti nello studio dell'AdBP del 2015 (Figura 10).

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 24 DI 59

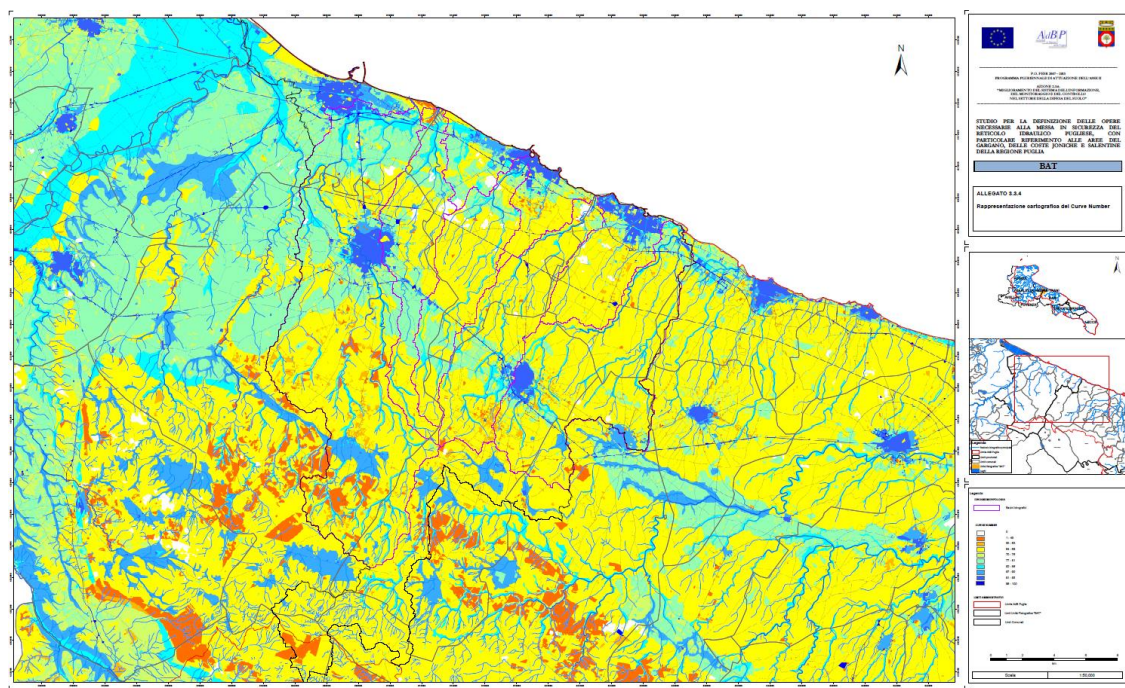


Figura 10: Rappresentazione cartografica del Curve Number – da Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia (Autorità di Bacino della Puglia)

A titolo esemplificativo, nell'immagine sottostante (Figura 11) si riporta uno schema della procedura utilizzata per lo sviluppo di un modello idrologico con HEC-HMS.

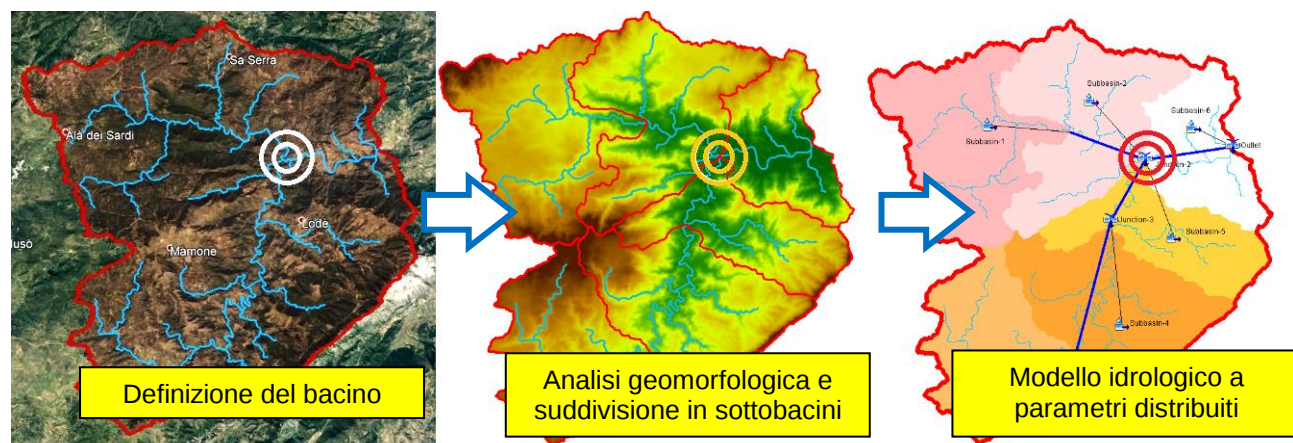


Figura 11: Procedura di sviluppo di un modello idrologico

Il modello idrologico così implementato è stato calibrato prendendo come riferimento i risultati dell'analisi idrologica riportata negli studi sopracitati. La modellazione idrologica, in coerenza con gli studi dell'AdB, è stata eseguita tramite il software HEC-HMS utilizzando il metodo dell'idrogramma unitario istantaneo – SCS.

Al modello idrologico così sviluppato sono stati applicati gli ietogrammi ricostruiti dai dati di pioggia sviluppati all'interno del progetto Va.P.I. e sono stati calcolati gli idrogrammi di piena alle sezioni utili al modello idraulico bi-dimensionale.

Per lo sviluppo dello studio idrologico e idraulico del Torrente Tittadegna, l'Autorità di Bacino ha reso disponibili l'idrogramma di piena alla sezione 124, le schede sugli attraversamenti, la rappresentazione cartografica del Curve Number e la mappatura dell'indice di Manning.

In occasione dell'incontro tenutosi il 05 Marzo 2020, la AdB si è impegnata a fornire i dati, (idrogrammi di piena e mappe di scabrezza) utilizzati per l'implementazione del modello compreso nello studio della Autorità di Bacino della Regione Puglia (AdB)², tali dati sono risultati disponibili nella fase conclusiva del progetto; pertanto queste informazioni sono state utilizzate, non come input diretto per il modello, ma come confronto che ha supportato e validato i risultati degli studi idrologici (esposti nella presente relazione) e idraulici (esposti nella relazione dedicata IA6C00T10RIID0002001A).

Il confronto con i valori delle portate massime e l'idrogramma di piena della sez 124 sono riportati nel paragrafo 4.2.5.

Le informazioni relative all'indice di manning sono utilizzate per la definizione delle aree di scabrezza all'interno del dominio di calcolo presentato all' interno della relazione idraulica.

4.1 METODOLOGIA

La finalità dello studio idrologico è stata quella di generare, per i corsi d'acqua naturali e i relativi bacini, gli idrogrammi di piena. Lo studio è stato effettuato assumendo che la portata abbia il medesimo tempo di ritorno della pioggia che l'ha generata (linearità della trasformazione), valutando così le portate alle sezioni di chiusura dei bacini per i sopracitati tempi di ritorno.

La modellazione idrologica dell'area in esame è stata effettuata tramite il software HEC-HMS, che consente la definizione degli elementi concettuali che rappresentano il bacino e i processi fisici che avvengono in esso. Tramite questo modello è possibile simulare la risposta dei bacini idrografici a un evento meteorico di caratteristiche note.

Il software HEC HMS, sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center, è un codice 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.

² Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia – Ofanto, Dicembre 2015

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 26 DI 59

4.1.1 Ietogramma “Chicago”

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

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, aggiungendosi solo due “code” all'inizio ed alla fine dell'evento (vedi Figura 12).

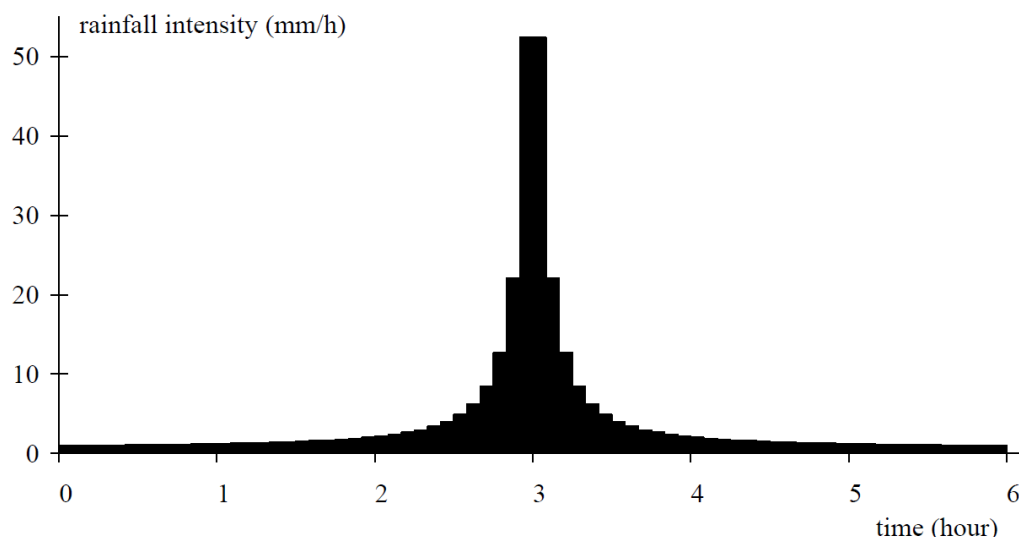


Figura 12: Distribuzione tipo di uno ietogramma Chicago

4.1.2 Metodo del Curve Number (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.

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

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 27 DI 59

(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 ;

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

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

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

Il Soil Conservation Service, ed altri autori, forniscono valori empirici di CN a seconda delle caratteristiche idrogeologiche del tipo di suolo, dell'uso del suolo congiuntamente alle pratiche agricole o ai trattamenti dei terreni e della condizione di umidità iniziale (condizioni I, II, o III). La Figura 13 riporta i valori di CN per diverse tipologie di uso del suolo, trattamento, condizione idrologica e caratteristiche idrogeologiche. Queste ultime sono specificate suddividendo i terreni in quattro gruppi (A, B, C e D) in dipendenza dalla loro capacità di infiltrazione (Tabella 10).

Tipo di copertura 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 13: 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 10: 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.

Inoltre, è necessario 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 è sempre proporzionale alla massima ritenzione potenziale del terreno (S), calcolato quindi come $c \cdot S$ con c pari a 0,2.

4.1.3 SCS - Metodo dell'Idrogramma Unitario Istantaneo

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

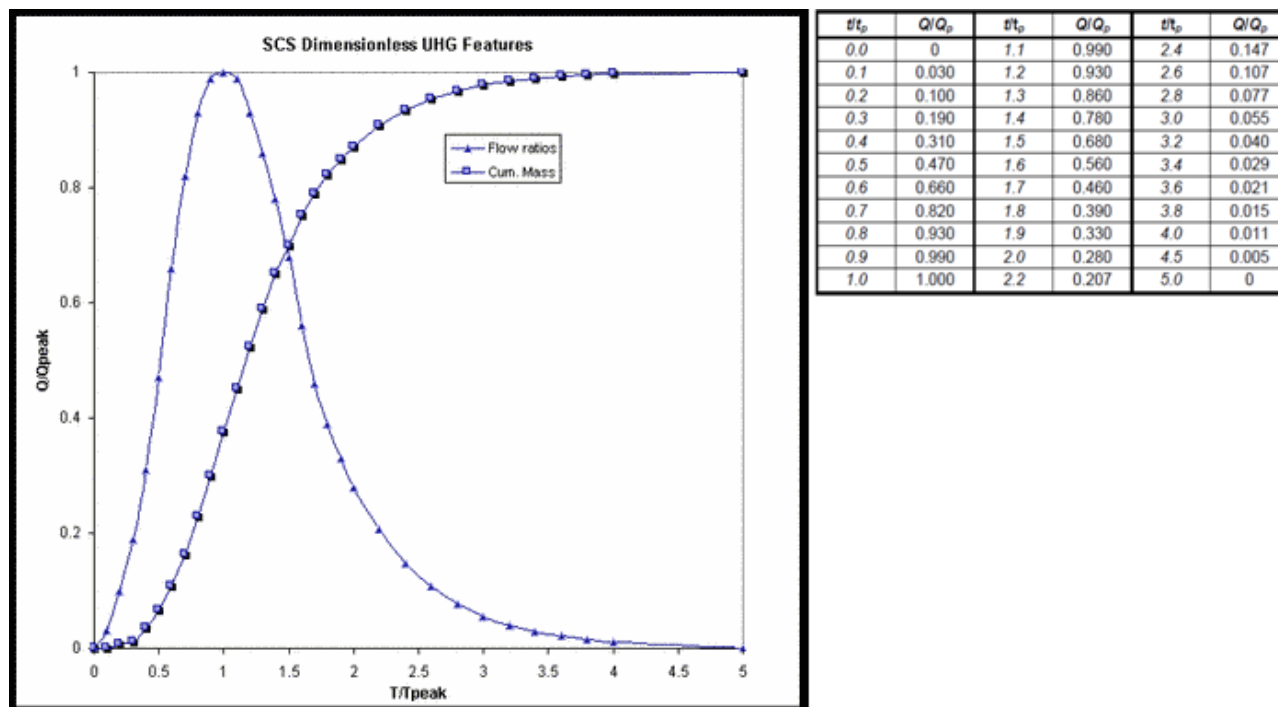


Figura 14: Idrogramma Unitario SCS adimensionalizzato

I parametri dell'idrogramma sono i seguenti:

D = durata della precipitazione efficace unitaria;

Q_p = portata di picco derivante dalla precipitazione efficace;

T_1 = tempo di ritardo, intervallo temporale tra il baricentro della precipitazione efficace e l'istante temporale in cui si verifica la portata di picco;

T_p = tempo di picco, intervallo temporale compreso tra l'inizio della precipitazione e l'istante temporale in cui si verifica la portata di picco;

T_c = tempo di concentrazione, calcolato sulla base delle caratteristiche del bacino, rappresenta il tempo che intercorre tra la fine della precipitazione efficace e il punto di flesso della curva di discesa dell'idrogramma;

T_r = tempo di recessione, l'intervallo temporale tra il tempo di picco e la fine dell'idrogramma, dato dal rapporto $r=T_r/T_p$;

T_b = durata totale dell'idrogramma, $T_b=T_r+T_p$;

P_e = Runoff o precipitazione efficace.

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

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

Dove:

L = lunghezza dell'asta principale (m),

S = massima ritenzione potenziale, calcolata secondo il metodo del Curve Number,

Y = pendenza media del bacino (%).

Il tempo di picco, T_p può essere calcolato come:

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

La portata di picco è calcolata come:

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

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

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

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

4.2 VALUTAZIONE DELLE MASSIME PORTATE AL COLMO DI PIENA (PORTATA DI PROGETTO)

4.2.1 Delimitazione del bacino del Torrente Tittadegna

Il bacino idrografico del Torrente Tittadegna esaminato in questo studio è stato delimitato in corrispondenza dell'intersezione dell'asta fluviale con la linea ferroviaria in corrispondenza del viadotto 3+931 (Figura 15); sono stati inoltre considerati due ulteriori sottobacini, Tittadegna_sez75 e Tittadegna_sez DX, corrispondenti ai limiti sud-ovest e sud-est dell'area del modello idraulico 2D sviluppato.

La sezione di chiusura del sottobacino a sud-ovest corrisponde con la sezione 75 all' interno dello studio dell'AdBP del 2015, ed è stata quindi denominata Tittadegna_sez75; in questo modo è stato possibile avere un confronto con i risultati ottenuti dall' analisi idrologica.

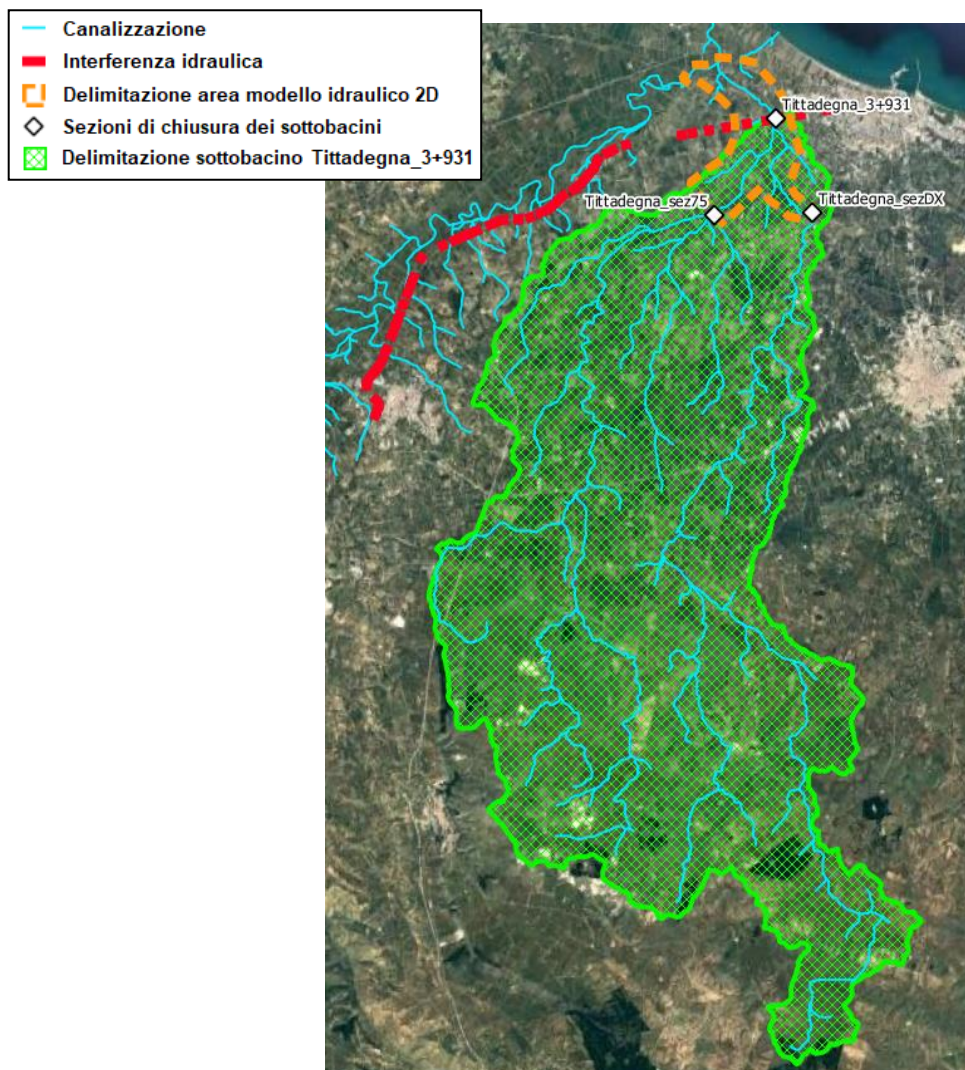


Figura 15: Delimitazione sottobacino Tittadegna_3+931

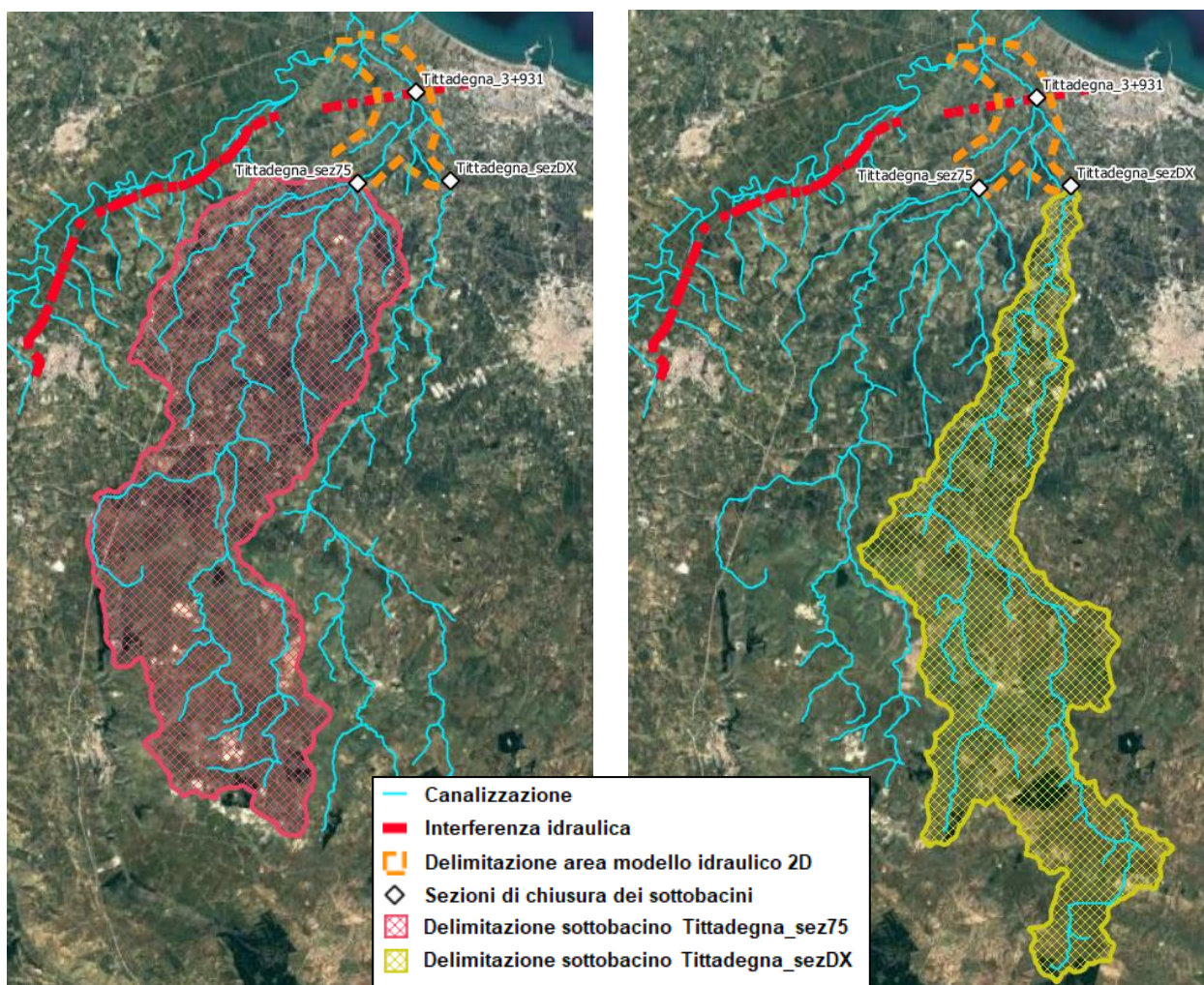


Figura 16: Delimitazione sottobacini Tittadegna_sez75 e Tittadegna_sezDX

I sottobacini analizzati risultano quindi i seguenti (Tabella 12).

BACINO	Area bacino
	[km ²]
Tittadegna_3+931	329.7
Tittadegna_sezDX	136.9
Tittadegna_sez75	174.7

Tabella 12: Sottobacini analizzati

4.2.2 Metodologia di studio sviluppata per l'analisi idrologica del Torrente Tittadegna

Come anticipato precedentemente, il bacino idrografico del Torrente Tittadegna è stato analizzato all'interno di due studi sviluppati dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia. Questi studi sono stati utilizzati come riferimento nell'implementazione del modello idrologico del Torrente Tittadegna qui sviluppato. In particolare:

- da *Revisione delle perimetrazioni delle aree a diversa pericolosità idraulica del Fiume Ofanto dal Ponte Romano alla foce* - *Relazione Tecnica* è stata desunta la durata critica dello ietogramma di tipo "Chicago" pari a 24 ore;
- con lo *Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia* è stato effettuato un confronto dei valori ottenuti in questa analisi, come i valori del Curve Number e la metodologia di calcolo della portata di piena;
- In entrambi gli studi, sono state utilizzate le curve di possibilità pluviometrica sviluppate con il Metodo Va.P.I.

In entrambi gli studi sono presenti dei valori di picco di portata in corrispondenza di alcune sezioni di chiusura di sottobacini, le quali sono state utilizzate per confrontare le portate ottenute nell'analisi di questo progetto.

Il bacino del Torrente Tittadegna analizzato in questo studio ricade quasi interamente nelle aree analizzate dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia; come si può vedere dalla Figura 17, nello studio dell'AdBP del 2015 sono riportate le sezioni di chiusura dei sottobacini esaminati. La sezione 75 coincide con il lato sud-ovest di delimitazione dell'area del modello idraulico 2D; il valore di portata al colmo di piena riportato nello studio per diversi tempi di ritorno è stato utilizzato per confrontare e validare il valore di portata ottenuto nel presente studio.

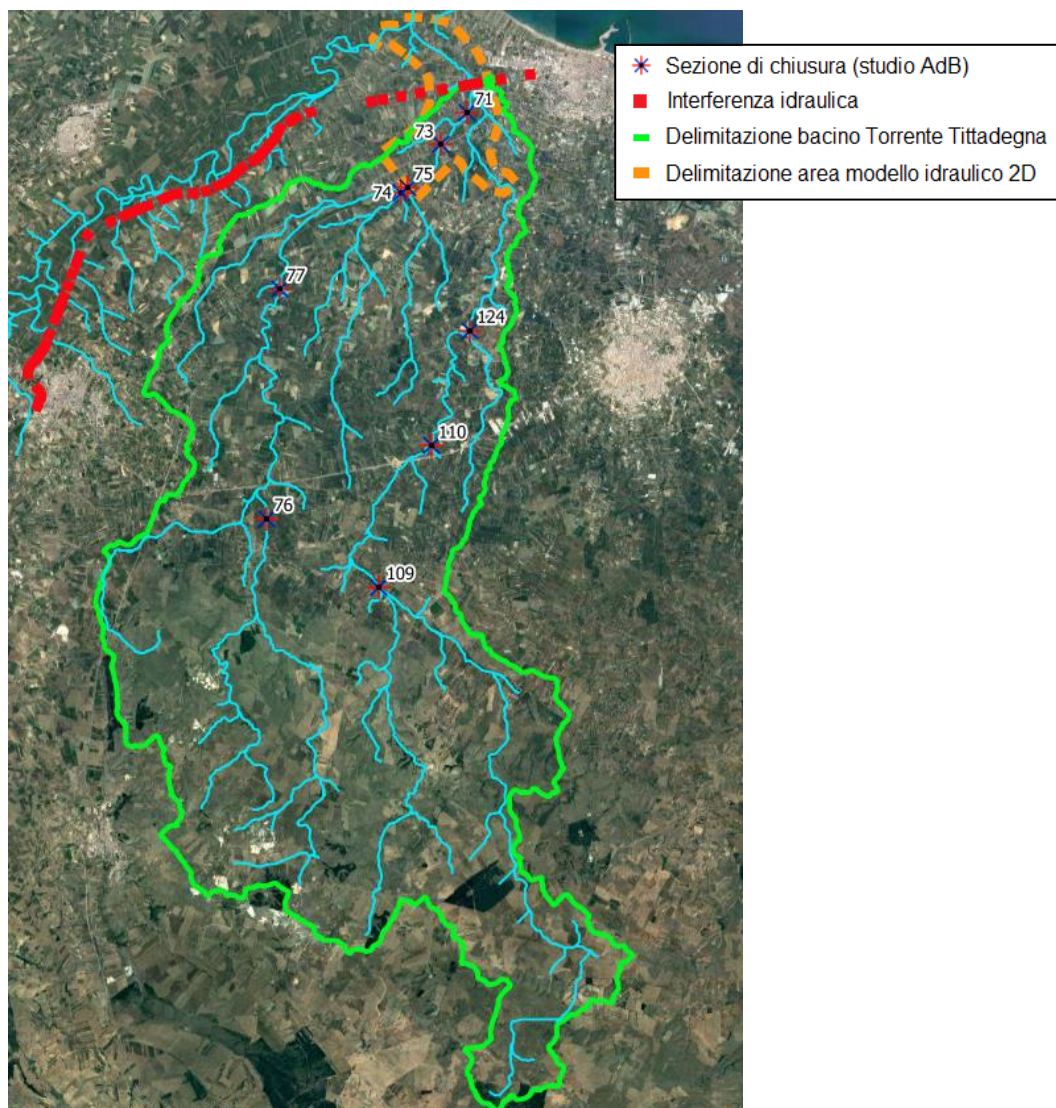


Figura 17: Sezioni di chiusura - Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia (Autorità di Bacino Regione Puglia)

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA					
	POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA6C	00	F 10	RIID0001 001	A	35 DI 59

4.2.3 Studio idrologico del bacino del Torrente Tittadegna

L'analisi del Torrente Tittadegna è stata eseguita utilizzando il metodo del SCS – Curve Number per la determinazione della pioggia netta o deflusso superficiale. Sono stati quindi determinati i valori medi areali di CN relativi ai sottobacini considerati in questo studio (Tabella 13).

BACINO	Area bacino	CN (Curve Number)
	[km ²]	
Tittadegna_3+931	329.7	73.2
Tittadegna_sezDX	136.9	67.9
Tittadegna_sez75	174.7	76.4

Tabella 13: Parametro CN relativo ai sottobacini del Torrente Tittadegna

Il calcolo dell'idrogramma di piena è stato effettuato con il Metodo dell'Idrogramma Unitario Istantaneo (SCS). Dall'analisi del Digital Terrain Model relativo ai sottobacini è stato individuato il reticolo idrografico e le lunghezze delle linee di drenaggio; inoltre è stata calcolata la pendenza media dei bacini (Tabella 14).

BACINO	Area bacino	Lunghezza asta principale	Pendenza media del bacino
	[km ²]	[km]	[%]
Tittadegna_3+931	329.7	51.2	7.6
Tittadegna_sezDX	136.9	45.5	6.5
Tittadegna_sez75	174.7	39.8	6.3

Tabella 14: Parametri caratteristici dei sottobacini del Torrente Tittadegna estrapolati tramite applicativo G.I.S.

Tramite questi valori è stato possibile calcolare, come riportato nei paragrafi 4.1.2 e 4.1.3, i parametri necessari all'implementazione del modello in HEC-HMS (Tabella 15).

BACINO	Area bacino	S (massima ritenzione potenziale del terreno)	Ia (Initial Abstraction)	Tc (tempo di concentrazione)	L (tempo di ritardo)
	[km ²]	[mm]	[mm]	[h]	[min]
Tittadegna_3+931	329.7	92.8	18.6	14.1	509
Tittadegna_sezDX	136.9	119.9	24.0	16.1	578
Tittadegna_sez75	174.7	78.5	15.7	11.6	417

Tabella 15: Parametri caratteristici dei sottobacini del Torrente Tittadegna calcolati

Lo schema idrologico del bacino del Torrente Tittadegna è stato quindi ricostruito all'interno del modello HEC-HMS come riportato in Figura 18; sono stati creati tre sottobacini (Tittadegna_3+931, Tittadegna_sezDX e Tittadegna_sez75).

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 36 DI 59

Le portate sono state calcolate in prossimità delle sezioni Outlet di ciascun sottobacino per ciascun tempo di ritorno (30, 50, 100, 200 e 500).

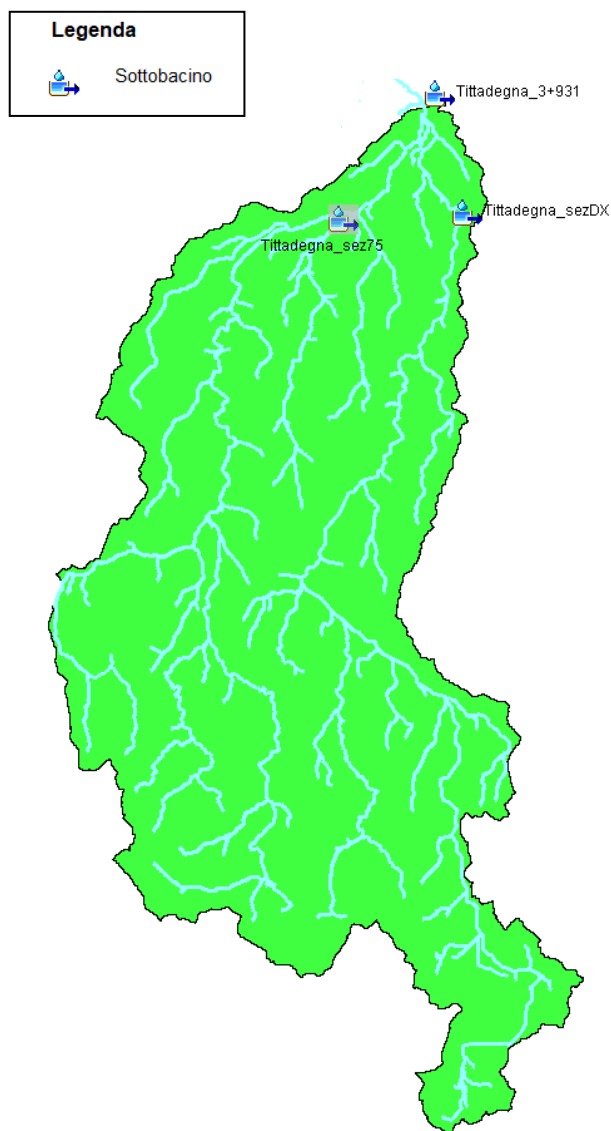


Figura 18: Modello del bacino del Torrente Tittadegna in HEC-HMS

I parametri precedentemente valutati sono stati implementati nel modello HEC-HMS sviluppato (Tabella 16):

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 37 DI 59

BACINO	Area bacino	la (Initial Abstraction)	CN (Curve Number)	L (tempo di ritardo)
	[km ²]	[mm]		[min]
Tittadegna_3+931	329.7	18.6	73.2	509
Tittadegna_sezDX	136.9	24.0	67.9	578
Tittadegna_sez75	174.7	15.7	76.4	417

Tabella 16: Parametri dei sottobacini del Torrente Tittadegna implementati nel modello HEC-HMS

4.2.4 Valutazione delle massime portate al colmo di piena (portata di progetto) per il bacino del Torrente Tittadegna

Il modello così costruito è stato utilizzato per calcolare i valori massimi delle portate al colmo di piena in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei sottobacini. Sono state quindi applicate le altezze di pioggia ricavate dall'analisi delle precipitazioni con il metodo Va.P.I. precedentemente descritta (paragrafo 3.2).

Sono stati quindi implementati nel modello HEC-HMS gli ietogrammi di tipo "Chicago" ricostruiti a partire dalle curve di possibilità pluviometrica ricavate con il metodo Va.P.I.

Come indicato dalle normative, riportate nel capitolo 2, la portata di progetto, per la verifica delle opere, corrisponde ad un evento con tempo di ritorno pari a 200anni. Facendo riferimento al Manuale di progettazione delle opere ferroviarie, per le opere di attraversamento principali, sono state inoltre calcolate le portate al colmo di piena per tempi di ritorno pari a 30, 50, 100, 200 e 500 anni.

Le portate dei bacini considerati nel modello sono riportate in Tabella 17.

Sezioni	Superficie drenata	Portata Tr=30	Portata Tr=50	Portata Tr=100	Portata Tr=200	Portata Tr=500
	(km ²)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
Tittadegna_3+931	329.7	253.1	304.5	377.2	452.6	555.7
Tittadegna_sezDX	136.9	74.8	91.9	116.3	142.1	177.8
Tittadegna_sez75	174.7	179.1	213.2	261.0	310.2	377.0

Tabella 17: Portate al colmo di piena alle sezioni di chiusura da dati pluviometrici Metodo Va.P.I. – Tr=30-50-100-200-500 - bacino del Fiume Tittadegna

Si riportano gli idrogrammi di piena per ciascun tempo di ritorno alle sezioni di chiusura dei sottobacini analizzati (Figura 19, Figura 20 e Figura 21).

Idrogrammi di piena - sottobacino Tittadegna sez_75

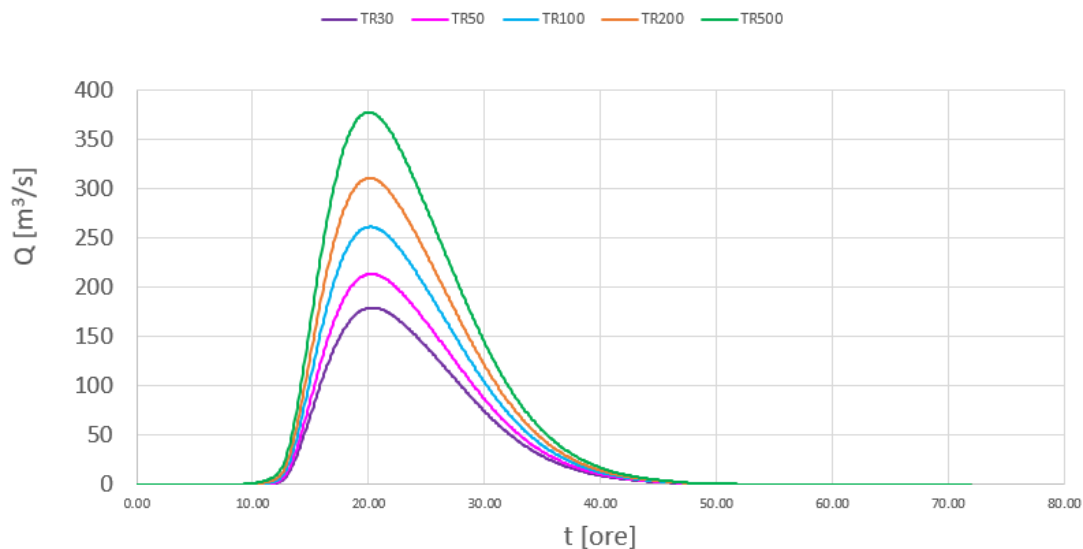


Figura 19: idrogrammi di piena – sottobacino Tittadegna sez_75 – Tr=30-50-100-200-500

Idrogrammi di piena - sottobacino Tittadegna sez_DX

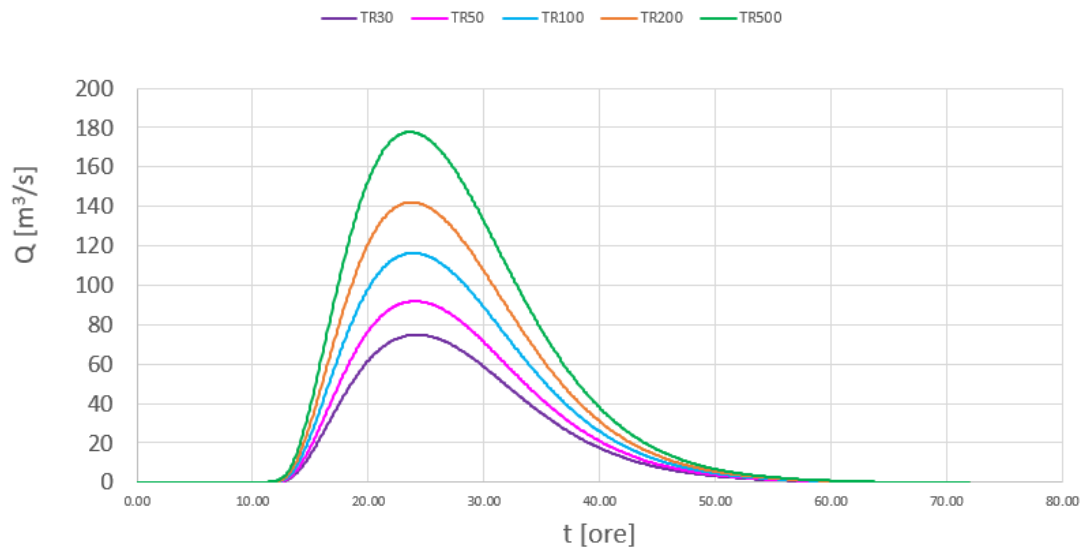


Figura 20: Idrogrammi di piena – sottobacino Tittadegna sez_DX – Tr=30-50-100-200-500

Idrogrammi di piena - sottobacino Tittadegna sez_3+931

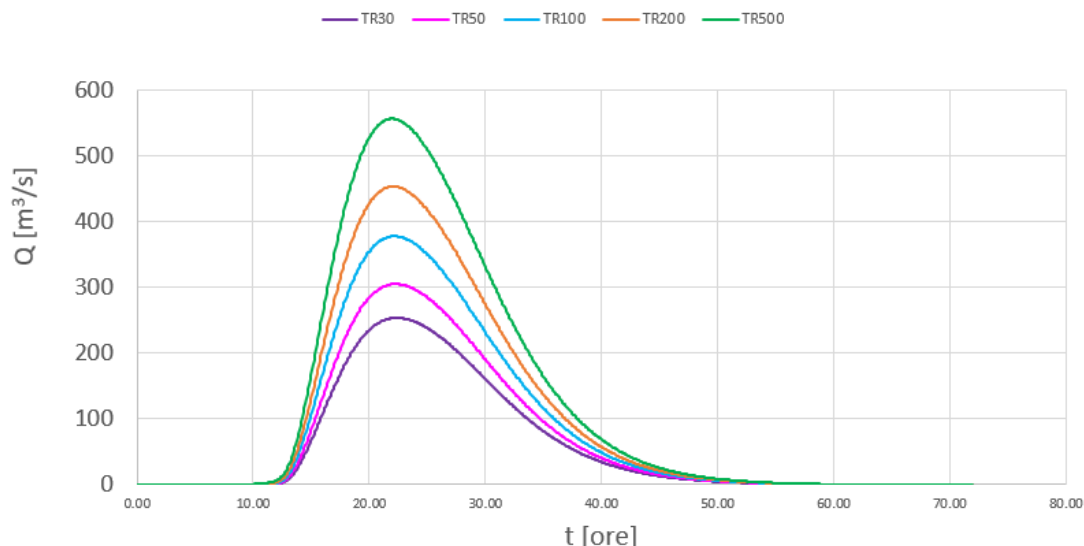


Figura 21: Idrogrammi di piena – sottobacino Tittadegna sez_3+931 – Tr=30-50-100-200-500

4.2.5 Confronto con gli studi redatti dalla Autorità di Bacino

I valori massimi ottenuti nel presente studio (indicati con PFTE nella seguente tabella) sono stati confrontati con i valori presenti all' interno dello studio dell'AdB del 2015 (*“Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del gargano, delle coste joniche e salentine della regione puglia – ofanto”*) e riportati in Tabella 18.

Bacini		Q TR30 (mc/s)		Q TR200 (mc/s)		Q TR500 (mc/s)	
PFTE	AdB	PFTE	AdB	PFTE	AdB	PFTE	AdB
Tittadegna_3+931	Sez 72	253.1	284.44	452.6	454.56	555.7	540.4
Tittadegna_sez75	Sez 75	179.1	178.4	310.2	284.39	377	337.54
Tittadegna_sezDX	Sez 124	74.8	83.13	142.1	137.55	177.8	164.89

Tabella 18 Confronto Qmax con i valori fpresenti nello studio AdB del 2015

Per quanto riguarda la sez DX (sez 124 studio AdB), è stato possibile fare un confronto con gli idrogrammi di piena forniti dall' AdB. Si riporta di seguito la sovrapposizione degli idrogrammi per eventi con TR200.

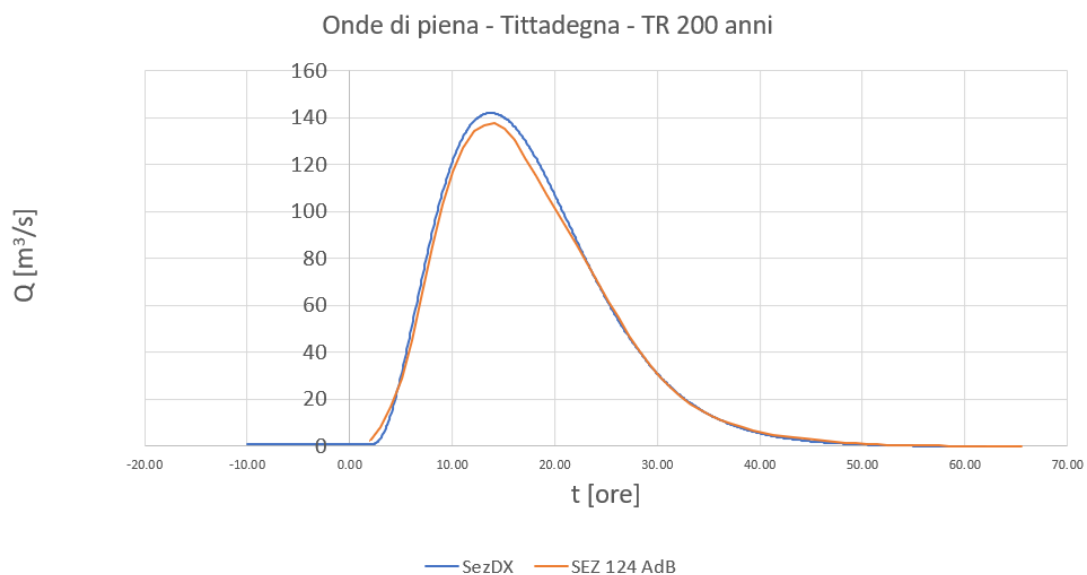


Figura 22: Confronto con Idrogramma di piena fornito dall' AdB – sez 124

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 41 DI 59

5 STUDIO IDROLOGICO INTERFERENZE IDRAULICHE

Nel seguente capitolo viene riportato lo studio per la stima delle portate idrologiche in corrispondenza degli attraversamenti esistenti. Sulla base di analisi geomorfologiche tramite applicativo GIS sono stati identificati i bacini idrografici afferenti alle opere idrauliche esistenti lungo la linea ferroviaria.

Nel dettaglio l'analisi effettuata ha seguito le seguenti fasi:

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

5.1 Analisi pluviometrica

L'analisi pluviometrica è stata sviluppata a partire dai dati degli Annali Idrologici e dall'analisi delle precipitazioni con il Metodo Va.P.I. (vedi paragrafo 3); in questo modo è stato possibile ottenere e utilizzare per le verifiche idrauliche il dato di pioggia più gravoso per ogni bacino esaminato.

5.2 Caratterizzazione ed individuazione 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 tramite la Pk 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 8 m disponibile nel portale cartografico regionale della Regione Puglia.

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

Si riportano le immagini contenenti le delimitazioni dei bacini.

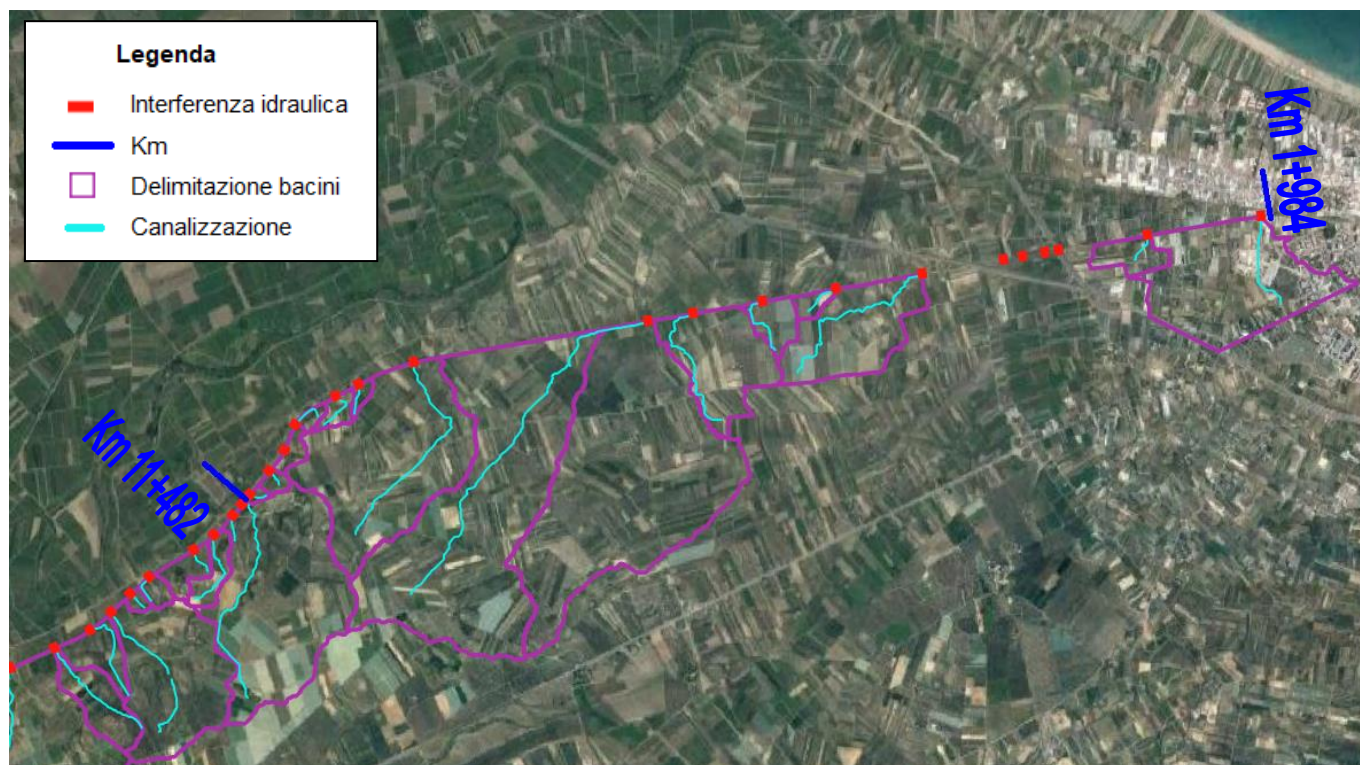


Figura 23: Delimitazione dei bacini – da Km 1+984 a Km 11+482

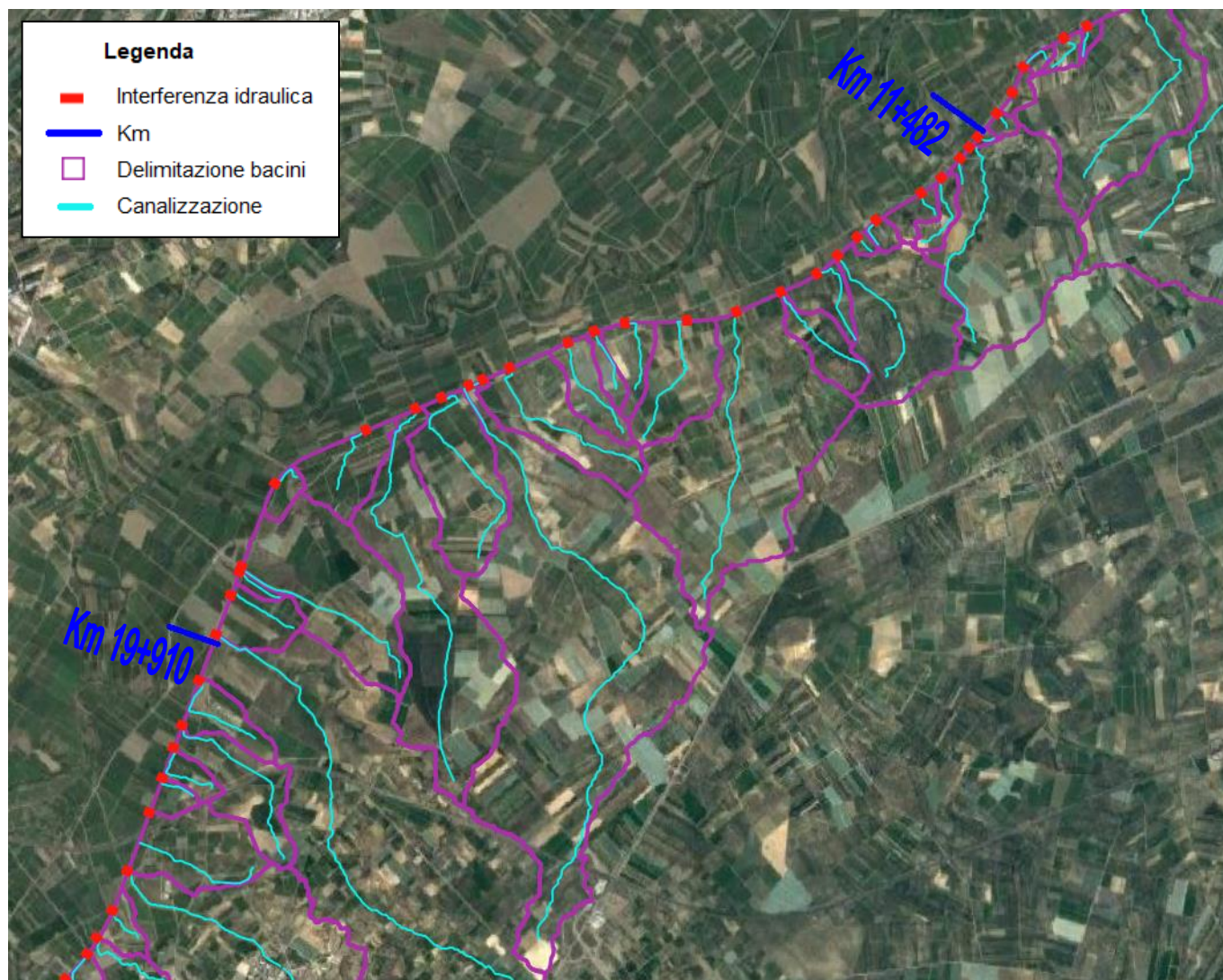


Figura 24: Delimitazione dei bacini – da Km 11+482 a Km 19+910

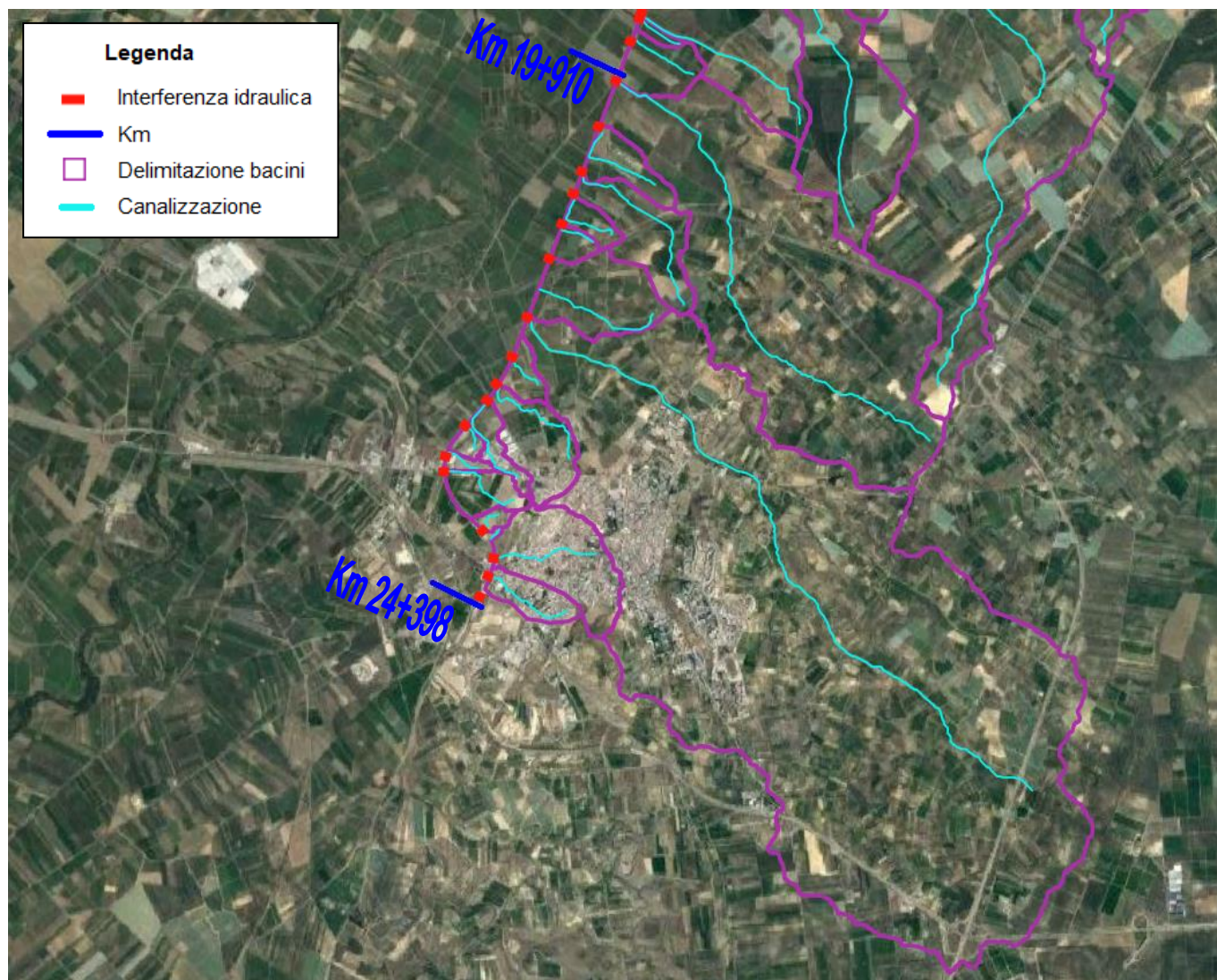


Figura 25: Delimitazione dei bacini – da Km 19+910 a Km 24+398

In particolare, sono state ricostruite tramite analisi spaziale le seguenti caratteristiche:

- l'area del bacino;
- la lunghezza dell'asta idrografica principale;
- la quota iniziale dell'asta principale (H_{top} river);
- la quota del bacino alla sezione di chiusura (H_0).
- la quota media del bacino (H_{medio});
- la pendenza media dell'asta idrografica principale;

Le caratteristiche topografiche sono riportate nelle seguenti tabelle.

Pk bacino	Area bacino	Lunghezza asta principale	H_{top} river	H_0	H_{medio}	Pendenza media dell'asta
	[km ²]	[km]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[m/m]
2+997	0.16	0.30	21.50	20.84	21.31	0.002
5+009	0.76	1.50	26.03	18.07	24.18	0.005
5+779	0.06	0.20	25.00	23.27	24.61	0.009
6+436	0.16	0.50	25.05	23.13	25.35	0.004
7+056	0.71	1.10	31.00	20.52	26.45	0.010
7+500	2.96	3.00	61.00	20.62	36.23	0.013
7+900	3.01	3.30	66.00	22.02	47.56	0.013
9+553	1.72	2.10	62.00	18.08	44.14	0.021
10+076	0.03	0.20	41.00	26.91	37.17	0.070
10+303	0.07	0.43	49.00	20.26	41.31	0.067
10+742	0.03	0.20	47.60	24.87	42.91	0.114
10+985	0.06	0.21	48.50	21.14	39.26	0.129
11+215	0.04	0.17	52.60	24.24	40.99	0.169
11+482	0.02	0.15	47.00	25.25	32.14	0.145
11+596	1.75	2.10	80.60	25.25	65.10	0.026
11+960	0.14	0.87	68.00	29.28	58.13	0.045
12+186	0.12	0.25	63.90	27.77	49.37	0.144
12+642	0.06	0.27	42.80	30.99	44.83	0.044
12+865	0.03	0.16	39.00	33.10	37.32	0.037
13+097	1.10	1.48	85.80	33.18	69.70	0.036
13+343	0.20	0.90	75.90	32.48	48.63	0.048
13+696	0.29	1.24	87.50	34.11	71.11	0.043
14+121	2.66	2.89	124.00	32.23	89.21	0.032
14+567	0.61	1.10	110.00	34.76	65.26	0.068
15+108	0.23	0.70	78.00	34.86	55.67	0.062
15+384	0.10	0.59	82.00	35.33	68.38	0.079
15+636	0.28	1.09	109.00	35.34	73.43	0.067
16+189	0.72	1.92	112.00	32.99	70.50	0.041

Pk bacino	Area bacino	Lunghezza asta principale	H _{top} river	H ₀	H _{medio}	Pendenza media dell'asta
	[km ²]	[km]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[m/m]
16+449	0.01	0.05	35.70	33.64	35.23	0.041
16+578	5.23	5.00	159.00	35.56	109.98	0.025
16+841	0.88	2.32	101.50	34.04	61.08	0.029
17+088	2.05	4.20	141.00	35.56	100.50	0.025
17+561	0.41	0.74	62.80	37.20	51.23	0.034
18+491	0.09	0.31	42.60	37.78	46.74	0.016
19+273	1.34	1.99	121.90	41.11	75.97	0.041
19+326	0.05	0.30	51.40	40.68	44.25	0.036
19+542	0.30	0.72	62.80	40.24	49.38	0.031
19+910	5.13	4.50	159.00	43.28	119.80	0.026
20+337	0.26	0.60	71.90	44.45	61.22	0.046
20+759	0.57	1.60	124.10	45.36	88.41	0.049
20+965	0.12	0.50	74.70	46.45	62.61	0.057
21+248	0.09	0.38	70.00	47.47	59.26	0.060
21+571	0.63	1.00	103.30	49.72	79.33	0.054
22+116	14.36	6.93	188.00	54.35	160.07	0.019
22+487	0.13	0.42	69.10	55.29	64.20	0.033
22+765	0.46	1.41	89.00	62.04	85.57	0.019
22+930	0.15	0.90	94.70	65.99	82.33	0.032
23+221	0.06	0.28	77.60	70.01	75.53	0.027
23+541	0.05	0.30	81.00	74.26	78.92	0.022
23+674	0.22	0.70	105.00	77.29	89.91	0.040
24+303	0.05	0.20	96.00	79.28	87.86	0.084
24+398	0.01	0.11	89.40	77.10	81.77	0.110
24+578	0.73	1.30	112.30	77.66	109.49	0.027

Tabella 19: Caratteristiche topografiche dei bacini

5.3 STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO

5.3.1 Metodo cinematico o razionale

Il metodo utilizzato per la stima delle portate in corrispondenza degli attraversamenti idraulici minori è quello definito come razionale o del ritardo di corrivazione. Il metodo razionale permette il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione e si basa sulle seguenti ipotesi:

- la formazione della piena si basa unicamente su un fenomeno di trasferimento di massa liquida;
- ogni singola goccia di pioggia si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui è caduta;
- la velocità di ogni singola goccia non è influenzata dalla presenza delle altre gocce, cioè ognuna di esse è indipendente dalle altre;

- la portata defluente si ottiene sommando tra loro le portate elementari provenienti dalle singole aree del bacino che si presentano allo stesso istante nella sezione di chiusura;
- la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento.

Dalle ipotesi (1) e (2), sopra formulate, il tempo impiegato da ciascuna goccia di pioggia per raggiungere la sezione di chiusura del bacino, definito come tempo di corrivazione puntuale, risulta essere necessariamente univoco per ogni punto del bacino stesso; il tempo di corrivazione massimo viene a coincidere con il tempo di corrivazione del bacino.

Nella Figura 26 è riportato uno schema del funzionamento del modello cinematico con tre precipitazioni di diversa durata (minore, uguale e maggiore rispetto al tempo di corrivazione).

Si noti come per un tempo di pioggia pari a quello di corrivazione l'idrogramma di piena assume la forma triangolare.

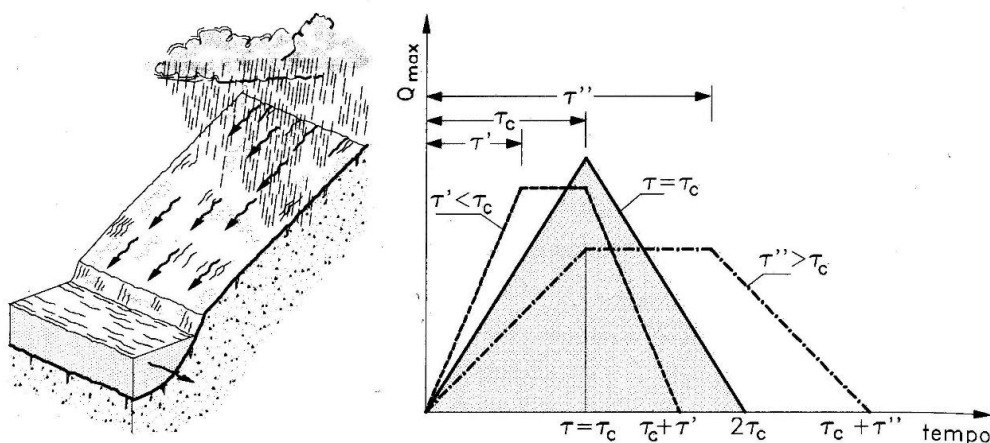


Figura 26: Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione

La definizione della portata di piena avviene tramite la formula:

$$Q = \frac{1000}{3600} \frac{\varphi A h(t_c, Tr)}{t_c}$$

dove

φ = coefficiente adimensionale di deflusso (o di riduzione);

A = superficie del bacino (km²);

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 48 DI 59

$h(t_c, Tr)$ = altezza di pioggia netta di durata e tempo di ritorno prefissati (mm);

t_c = tempo di corrivazione del bacino (ore).

Utilizzando, per il calcolo dell'altezza di pioggia, un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione, si ottengono le portate maggiormente critiche in quanto sono tali da mettere tutto il bacino in condizione di contribuire al deflusso attraverso la sezione considerata ed allo stesso tempo sono quelle più intense in quanto di ridotta durata.

5.3.2 Definizione 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.

Di seguito si riportano le relazioni più comunemente utilizzate:

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

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

dove

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

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

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

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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 49 DI 59

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.

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

k

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

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

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

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

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

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

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

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 50 DI 59

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:

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

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

Ventura: Considerando la pendenza i_a e la superficie in km², Ventura esprime invece il tempo di corrivazione come:

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

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

5.3.3 Metodo dell'idrogramma Unitario Istantaneo – SCS

Il metodo di calcolo della portata di piena sviluppato nel presente studio è quello dell'idrogramma Unitario Istantaneo sviluppato dal Soil Conservation Service, analogo a quello utilizzato nello studio idrologico dell'idraulica maggiore (paragrafo 4.1.3).

Tramite questo metodo è possibile calcolare la pioggia totale e la pioggia netta utilizzando il tempo di corrivazione del bacino.

L'altezza di pioggia è stata calcolata tramite la formula:

$$h = at_c^n$$

dove a e n sono i parametri delle curve di possibilità pluviometrica e t_c è il tempo di corrivazione del bacino.

Dato che i bacini, ad eccezione del bacino interferente alla pk 22+116, presentano una superficie inferiore ai 10km², per il calcolo del tempo di corrivazione sono state utilizzate le formule di Pasini, Pezzoli, Ventura, Chow Kirpich e Kerby. Per il bacino alla pk 22+116, che presenta una superficie maggiore di 10km², è stata utilizzata la formulazione di Giandotti in sostituzione della formula di Kerby.

Per il calcolo della pioggia efficace è necessario valutare la massima ritenzione potenziale del terreno, calcolata mediante la formula:

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 51 DI 59

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

dove CN è il Curve Number il cui valore viene desunto dalla rappresentazione cartografica del Curve Number presenti nello studio dell'AdBP del 2015 (Figura 27).

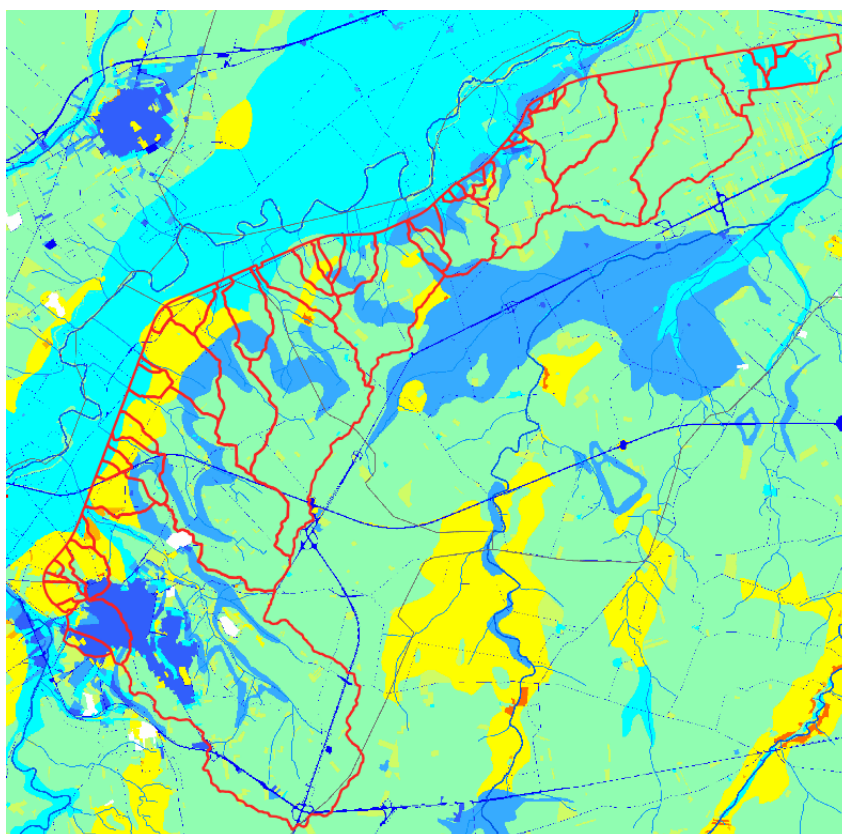


Figura 27: Individuazione bacini sulla rappresentazione cartografica del CN dell'AdBP

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

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

Nello studio degli attraversamenti idraulici le perdite iniziali (I_a) sono state stimate come:

$$I_a = k_{ia} S$$

dove k_{ia} è il coefficiente di perdite iniziali assunto pari a 0.05 e S la massima ritenzione potenziale del terreno.

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

	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA					
Relazione Idrologica Generale	COMMESSA IA6C	LOTTO 00	CODIFICA F 10	DOCUMENTO RIID0001 001	REV. A	FOGLIO 52 DI 59

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

dove

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

Il coefficiente di deflusso φ viene ottenuto calcolando il rapporto tra la pioggia totale e la pioggia efficace:

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

dove P_e è la pioggia efficace e h_{netta} l'altezza di pioggia.

La portata al colmo di piena si ottiene quindi con il metodo cinematico come:

$$Q = 278 \frac{\varphi S h}{t_c}$$

dove φ è il coefficiente di deflusso, S la massima ritenzione potenziale del terreno, h l'altezza di pioggia totale e t_c il tempo di corrivazione.

Dalla portata si ricava infine il coefficiente udometrico, come rapporto tra portata e superficie.

5.3.4 Calcolo delle portate di riferimento per le verifiche idrauliche

Come riportato nel capitolo 2, la portata di progetto, per la verifica delle opere, corrisponde ad un evento con tempo di ritorno pari a 200anni.

Sono stati quindi individuati i parametri necessari al calcolo della portata di piena e del coefficiente udometrico per un tempo di ritorno pari a 200 anni.

Per prima cosa sono stati calcolati i tempi di corrivazione dei bacini tramite le formule precedentemente presentate (paragrafo 5.3.2);

Pk bacino	t _c Giandotti	t _c Pasini	t _c Pezzoli	t _c Ventura	t _c Chow	t _c Kirpich	t _c Kerby	t _c medio
	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]
2+997	-	0.84	0.35	1.09	0.32	0.28	0.68	0.42
5+009	-	1.55	1.13	1.52	0.67	0.68	1.17	0.84
5+779	-	0.27	0.12	0.34	0.16	0.12	0.41	0.23
6+436	-	0.74	0.44	0.81	0.37	0.33	0.76	0.49
7+056	-	1.02	0.62	1.09	0.45	0.43	0.89	0.59
7+500	-	1.93	1.42	1.89	0.77	0.81	1.31	1.50
7+900	-	2.01	1.57	1.91	0.82	0.88	1.37	1.58
9+553	-	1.15	0.80	1.15	0.53	0.52	1.00	0.91
10+076	-	0.08	0.04	0.09	0.08	0.05	0.25	0.13
10+303	-	0.13	0.09	0.13	0.13	0.10	0.36	0.20
10+742	-	0.06	0.03	0.07	0.07	0.04	0.22	0.11
10+985	-	0.07	0.03	0.09	0.07	0.04	0.22	0.11
11+215	-	0.05	0.02	0.06	0.05	0.03	0.19	0.09
11+482	-	0.04	0.02	0.05	0.05	0.03	0.18	0.09
11+596	-	1.03	0.71	1.04	0.50	0.48	0.94	0.82
11+960	-	0.25	0.23	0.22	0.24	0.20	0.55	0.33
12+186	-	0.09	0.04	0.12	0.07	0.05	0.24	0.12
12+642	-	0.13	0.07	0.15	0.11	0.08	0.32	0.17
12+865	-	0.09	0.05	0.11	0.09	0.06	0.26	0.14
13+097	-	0.67	0.43	0.71	0.36	0.32	0.75	0.48
13+343	-	0.28	0.23	0.26	0.24	0.20	0.55	0.33
13+696	-	0.37	0.33	0.33	0.30	0.26	0.66	0.41
14+121	-	1.19	0.89	1.16	0.57	0.57	1.05	0.96
14+567	-	0.36	0.23	0.38	0.24	0.20	0.56	0.33
15+108	-	0.24	0.16	0.25	0.19	0.15	0.46	0.27
15+384	-	0.15	0.12	0.14	0.15	0.12	0.40	0.23
15+636	-	0.28	0.23	0.26	0.24	0.20	0.56	0.33
16+189	-	0.59	0.52	0.53	0.41	0.37	0.82	0.53
16+449	-	0.04	0.01	0.05	0.04	0.02	0.15	0.07
16+578	-	2.04	1.75	1.85	0.88	0.95	1.44	1.63
16+841	-	0.80	0.75	0.70	0.51	0.49	0.97	0.66
17+088	-	1.40	1.46	1.15	0.79	0.83	1.32	1.20
17+561	-	0.39	0.22	0.44	0.23	0.19	0.55	0.32
18+491	-	0.26	0.13	0.31	0.17	0.13	0.43	0.25
19+273	-	0.74	0.54	0.73	0.42	0.39	0.83	0.55
19+326	-	0.14	0.09	0.14	0.13	0.09	0.35	0.19
19+542	-	0.37	0.22	0.39	0.24	0.20	0.55	0.33
19+910	-	1.92	1.54	1.80	0.82	0.86	1.36	1.52
20+337	-	0.27	0.15	0.31	0.19	0.15	0.46	0.27
20+759	-	0.47	0.40	0.43	0.34	0.30	0.72	0.45
20+965	-	0.18	0.12	0.19	0.16	0.12	0.40	0.23
21+248	-	0.14	0.08	0.16	0.13	0.09	0.35	0.19
21+571	-	0.40	0.24	0.44	0.25	0.20	0.57	0.34
22+116	3.11	3.60	2.74	3.47	1.18	1.35	-	2.82
22+487	-	0.23	0.13	0.26	0.16	0.13	0.42	0.24

Pk bacino	t _c Giandotti [ore]	t _c Pasini [ore]	t _c Pezzoli [ore]	t _c Ventura [ore]	t _c Chow [ore]	t _c Kirpich [ore]	t _c Kerby [ore]	t _c medio [ore]
22+765	-	0.68	0.56	0.63	0.43	0.40	0.84	0.56
22+930	-	0.31	0.28	0.28	0.27	0.23	0.61	0.37
23+221	-	0.17	0.09	0.19	0.14	0.10	0.37	0.20
23+541	-	0.18	0.11	0.19	0.15	0.11	0.40	0.22
23+674	-	0.29	0.19	0.30	0.22	0.17	0.51	0.30
24+303	-	0.08	0.04	0.10	0.08	0.05	0.24	0.12
24+398	-	0.03	0.02	0.03	0.05	0.03	0.17	0.08
24+578	-	0.65	0.44	0.67	0.36	0.33	0.75	0.48

Tabella 20: Tempi di corrivazione dei bacini

Per ogni attraversamento idraulico è stata identificata la stazione pluviometrica di riferimento; sono stati quindi utilizzati i dati degli Annali Idrologici della Protezione Civile Puglia e i dati ricavati delle precipitazioni con il Metodo Va.P.I., da cui sono stati calcolati i parametri necessari al calcolo della portata di piena.

Si riportano le tabelle contenenti i parametri calcolati e le portate di progetto ottenute dal calcolo utilizzando i dati pluviometrici dagli Annali Idrologici (Tabella 21) e dai dati ricavati tramite Metodo Va.P.I. (Tabella 22).

Le portate calcolate in corrispondenza degli attraversamenti idraulici evidenziati in giallo nelle tabelle sottostanti sono state aggregate all'attraversamento idraulico limitrofo; in particolare:

- la portata calcolata in corrispondenza dell'attraversamento idraulico Ponticello Sottopassaggio km.16+449 è stata sommata alla portata dell'attraversamento Sottopassaggio Km 16+189;
- la portata calcolata in corrispondenza dell'attraversamento idraulico Campata Sottopassaggio km.24+398 è stata sommata alla portata dell'attraversamento Sottopassaggio km.24+578.

Pk bacino	Stazione pluviometrica	t _c medio [ore]	h [mm]	P _{netta} mm	P _{efficace} mm	C	Q [m³/s]	u [l/sha]
1+984	Barletta	0.75	67.79	64.62	32.59	0.5	15.63	121.16
2+997	Barletta	0.42	57.91	54.53	24.36	0.4	2.59	159.92
5+009	Barletta	0.84	70.04	67.15	36.13	0.5	9.06	119.43
5+779	Barletta	0.23	48.80	46.38	22.70	0.5	1.67	276.19
6+436	Barletta	0.49	60.14	57.72	31.40	0.5	2.79	179.83
7+056	Masseria Santa Chiara	0.59	61.14	59.30	36.58	0.6	12.17	172.48
7+500	Masseria Santa Chiara	1.50	74.41	71.04	36.42	0.5	19.95	67.39
7+900	Masseria Santa Chiara	1.58	75.20	71.83	37.02	0.5	19.61	65.15
9+553	Masseria Santa Chiara	0.91	66.94	63.57	30.83	0.5	16.19	94.39
10+076	Masseria Santa Chiara	0.13	44.37	41.00	15.49	0.3	1.17	336.19
10+303	Masseria Santa Chiara	0.20	48.61	45.56	19.50	0.4	1.97	274.28
10+742	Masseria Santa Chiara	0.11	43.18	41.53	23.14	0.5	1.99	571.95
10+985	Masseria Santa Chiara	0.11	43.15	41.50	23.12	0.5	3.52	573.07
11+215	Masseria Santa Chiara	0.09	41.39	38.97	17.39	0.4	2.13	525.51
11+482	Masseria Santa Chiara	0.09	41.22	39.15	19.04	0.5	1.17	587.13
11+596	Masseria Santa Chiara	0.82	65.49	62.35	31.05	0.5	18.47	105.57
11+960	Masseria Santa Chiara	0.33	54.09	50.74	21.88	0.4	2.50	185.01
12+186	Masseria Santa Chiara	0.12	43.72	41.32	19.15	0.4	5.47	446.14

Pk bacino	Stazione pluviometrica	t _c medio	h	P _{netta}	P _{efficace}	C	Q	u
		[ore]	[mm]	mm	mm		[m³/s]	[l/sha]
12+642	Masseria Santa Chiara	0.17	47.21	45.19	23.83	0.5	2.22	384.95
12+865	Masseria Santa Chiara	0.14	44.89	41.81	16.90	0.4	1.04	347.31
13+097	Masseria Santa Chiara	0.48	58.48	54.74	23.13	0.4	14.83	134.79
13+343	Masseria Santa Chiara	0.33	54.09	52.36	31.51	0.6	5.42	266.36
13+696	Masseria Santa Chiara	0.41	56.62	54.16	28.35	0.5	5.64	192.75
14+121	Masseria Santa Chiara	0.96	67.66	64.38	31.85	0.5	24.65	92.69
14+567	Masseria Santa Chiara	0.33	54.26	51.50	24.87	0.5	12.63	207.15
15+108	Masseria Santa Chiara	0.27	51.74	48.44	20.52	0.4	4.92	214.30
15+384	Masseria Santa Chiara	0.23	49.95	45.05	14.19	0.3	1.75	175.22
15+636	Masseria Santa Chiara	0.33	54.26	50.50	20.32	0.4	4.79	169.25
16+189	Canosa	0.53	62.47	58.99	27.08	0.4	10.24	141.67
16+449	Canosa	0.07	38.79	36.37	15.61	0.4	0.37	618.69
16+578	Canosa	1.63	81.33	78.24	43.74	0.5	38.98	74.53
16+841	Canosa	0.66	65.67	62.77	32.58	0.5	12.17	137.78
17+088	Canosa	1.20	75.62	71.46	33.04	0.4	15.76	76.75
17+561	Canosa	0.32	55.61	50.75	17.42	0.3	6.18	149.36
18+491	Canosa	0.25	52.11	47.88	17.30	0.3	1.78	195.49
19+273	Canosa	0.55	62.86	58.15	22.19	0.4	15.18	113.09
19+326	Canosa	0.19	49.22	45.67	17.89	0.4	1.19	257.73
19+542	Canosa	0.33	55.77	51.60	19.70	0.4	4.98	166.84
19+910	Canosa	1.52	79.97	76.66	41.11	0.5	38.64	75.25
20+337	Canosa	0.27	53.05	48.59	17.13	0.3	4.73	179.45
20+759	Canosa	0.45	60.22	56.79	25.72	0.4	8.95	157.23
20+965	Canosa	0.23	51.07	46.22	14.90	0.3	2.20	183.45
21+248	Canosa	0.19	48.99	44.13	13.78	0.3	1.83	202.65
21+571	Canosa	0.34	56.20	51.19	17.33	0.3	8.98	142.13
22+116	Canosa	2.82	92.52	89.55	53.84	0.6	76.21	53.05
22+487	Canosa	0.24	51.70	46.54	14.47	0.3	2.24	169.16
22+765	Canosa	0.56	63.11	58.56	22.93	0.4	5.33	114.83
22+930	Canosa	0.37	57.37	52.94	19.80	0.3	2.27	148.71
23+221	Canosa	0.20	49.70	44.95	14.42	0.3	1.15	199.32
23+541	Canosa	0.22	50.74	45.47	13.70	0.3	0.86	173.44
23+674	Canosa	0.30	54.67	48.60	13.88	0.3	2.79	127.95
24+303	Canosa	0.12	44.21	38.77	10.18	0.2	1.15	231.51
24+398	Canosa	0.08	40.37	33.97	7.13	0.2	0.20	238.53
24+578	Canosa	0.48	61.04	59.19	36.38	0.6	15.37	209.96

Tabella 21: Parametri per la definizione dell'Idrogramma Unitario Istantaneo SCS - portata di progetto e coefficiente udometrico – Tr200 – dati da Annali Idrologici

Pk bacino	t _c medio	h	P _{netta}	P _{efficace}	C	Q	u
	[ore]	[mm]	mm	mm		[m³/s]	[l/sha]
1+984	0.75	63.37	60.19	29.29	0.5	14.05	108.89
2+997	0.42	54.78	51.41	22.22	0.4	2.37	145.86
5+009	0.84	65.30	62.42	32.45	0.5	8.14	107.25
5+779	0.23	46.78	44.36	21.22	0.5	1.56	258.15
6+436	0.49	56.73	54.31	28.72	0.5	2.55	164.51
7+056	0.59	59.62	57.78	35.29	0.6	11.74	166.39
7+500	1.50	75.76	72.38	37.45	0.5	20.51	69.29
7+900	1.58	76.74	73.36	38.20	0.5	20.23	67.22
9+553	0.91	66.59	63.22	30.57	0.5	16.06	93.60
10+076	0.13	40.33	36.96	13.07	0.3	0.99	283.80
10+303	0.20	45.08	42.03	17.17	0.4	1.73	241.43
10+742	0.11	39.01	37.36	19.84	0.5	1.70	490.42
10+985	0.11	38.99	37.34	19.82	0.5	3.01	491.28
11+215	0.09	37.06	34.64	14.45	0.4	1.77	436.79
11+482	0.09	36.87	34.80	15.90	0.4	0.98	490.40
11+596	0.82	64.83	61.69	30.56	0.5	18.18	103.90
11+960	0.33	51.35	48.00	20.05	0.4	2.29	169.51
12+186	0.12	39.61	37.22	16.28	0.4	4.65	379.35
12+642	0.17	43.51	41.48	20.99	0.5	1.95	339.04
12+865	0.14	40.91	37.83	14.39	0.4	0.89	295.71
13+097	0.48	56.48	52.74	21.81	0.4	13.98	127.06
13+343	0.33	51.35	49.62	29.22	0.6	5.03	246.99
13+696	0.41	54.30	51.83	26.57	0.5	5.29	180.61
14+121	0.96	67.47	64.18	31.71	0.5	24.54	92.27
14+567	0.33	51.54	48.79	22.90	0.4	11.63	190.75
15+108	0.27	48.64	45.34	18.48	0.4	4.43	193.00
15+384	0.23	46.60	41.70	12.45	0.3	1.53	153.73
15+636	0.33	51.54	47.79	18.60	0.4	4.38	154.90
16+189	0.53	58.06	54.59	24.01	0.4	9.08	125.60
16+449	0.07	34.57	32.15	12.84	0.4	0.31	508.81
16+578	1.63	77.37	74.28	40.57	0.5	36.16	69.13
16+841	0.66	61.31	58.40	29.26	0.5	10.93	123.75
17+088	1.20	71.48	67.32	30.13	0.4	14.37	69.98
17+561	0.32	51.16	46.30	14.94	0.3	5.30	128.17
18+491	0.25	47.67	43.44	14.73	0.3	1.52	166.46
19+273	0.55	58.45	53.74	19.52	0.3	13.36	99.48
19+326	0.19	44.80	41.25	15.17	0.3	1.01	218.51
19+542	0.33	51.32	47.15	17.01	0.3	4.30	144.05
19+910	1.52	75.97	72.65	37.99	0.5	35.71	69.54
20+337	0.27	48.60	44.14	14.61	0.3	4.03	153.04
20+759	0.45	55.79	52.36	22.67	0.4	7.88	138.56
20+965	0.23	46.63	41.78	12.56	0.3	1.86	154.69
21+248	0.19	44.57	39.71	11.52	0.3	1.53	169.38
21+571	0.34	51.75	46.74	14.89	0.3	7.71	122.09
22+116	2.82	89.02	86.05	50.91	0.6	72.06	50.17
22+487	0.24	47.26	42.10	12.20	0.3	1.89	142.64

Pk bacino	t _c medio	h	P _{netta}	P _{efficace}	C	Q	u
	[ore]	[mm]	mm	mm		[m³/s]	[l/sha]
22+765	0.56	58.71	54.16	20.20	0.3	4.70	101.20
22+930	0.37	52.92	48.49	17.15	0.3	1.96	128.83
23+221	0.20	45.28	40.52	12.10	0.3	0.97	167.27
23+541	0.22	46.31	41.03	11.50	0.2	0.72	145.53
23+674	0.30	50.22	44.15	11.76	0.2	2.36	108.42
24+303	0.12	39.86	34.41	8.27	0.2	0.93	187.99
24+398	0.08	36.10	29.70	5.60	0.2	0.16	187.33
24+578	0.48	56.62	54.76	32.64	0.6	13.79	188.41

Tabella 22: Parametri per la definizione dell'Idrogramma Unitario Istantaneo SCS - portata di progetto e coefficiente udometrico – Tr200 – dati ricavati tramite Metodo Va.P.I.

La verifica degli attraversamenti minori è stata quindi eseguita utilizzando il valore massimo ottenuto dai dati degli Annali Idrologici e quelli ricavati tramite Metodo Va.P.I. (Tabella 23).

Pk bacino	Annali Idrologici		Metodo Va.P.I.		Q _{max}
	Q	u	Q	u	
	[m³/s]	[l/sha]	[m³/s]	[l/sha]	
2+997	2.59	159.92	2.37	145.86	2.6
5+009	9.06	119.43	8.14	107.25	9.1
5+779	1.67	276.19	1.56	258.15	1.7
6+436	2.79	179.83	2.55	164.51	2.8
7+056	12.17	172.48	11.74	166.39	12.2
7+500	19.95	67.39	20.51	69.29	20.5
7+900	19.61	65.15	20.23	67.22	20.2
9+553	16.19	94.39	16.06	93.60	16.2
10+076	1.17	336.19	0.99	283.80	1.2
10+303	1.97	274.28	1.73	241.43	2.0
10+742	1.99	571.95	1.70	490.42	2.0
10+985	3.52	573.07	3.01	491.28	3.5
11+215	2.13	525.51	1.77	436.79	2.1
11+482	1.17	587.13	0.98	490.40	1.2
11+596	18.47	105.57	18.18	103.90	18.5
11+960	2.50	185.01	2.29	169.51	2.5
12+186	5.47	446.14	4.65	379.35	5.5
12+642	2.22	384.95	1.95	339.04	2.2
12+865	1.04	347.31	0.89	295.71	1.0
13+097	14.83	134.79	13.98	127.06	14.8
13+343	5.42	266.36	5.03	246.99	5.4
13+696	5.64	192.75	5.29	180.61	5.6
14+121	24.65	92.69	24.54	92.27	24.7
14+567	12.63	207.15	11.63	190.75	12.6
15+108	4.92	214.30	4.43	193.00	4.9
15+384	1.75	175.22	1.53	153.73	1.7
15+636	4.79	169.25	4.38	154.90	4.8
16+189	10.24	141.67	9.08	125.60	10.6

Pk bacino	Annali Idrologici		Metodo Va.P.I.		Qmax
	Q	u	Q	u	
	[m³/s]	[l/sha]	[m³/s]	[l/sha]	
16+578	38.98	74.53	36.16	69.13	39.0
16+841	12.17	137.78	10.93	123.75	12.2
17+088	15.76	76.75	14.37	69.98	15.8
17+561	6.18	149.36	5.30	128.17	6.2
18+491	1.78	195.49	1.52	166.46	1.8
19+273	15.18	113.09	13.36	99.48	15.2
19+326	1.19	257.73	1.01	218.51	1.2
19+542	4.98	166.84	4.30	144.05	5.0
19+910	38.64	75.25	35.71	69.54	38.6
20+337	4.73	179.45	4.03	153.04	4.7
20+759	8.95	157.23	7.88	138.56	8.9
20+965	2.20	183.45	1.86	154.69	2.2
21+248	1.83	202.65	1.53	169.38	1.8
21+571	8.98	142.13	7.71	122.09	9.0
22+116	76.21	53.05	72.06	50.17	76.2
22+487	2.24	169.16	1.89	142.64	2.2
22+765	5.33	114.83	4.70	101.20	5.3
22+930	2.27	148.71	1.96	128.83	2.3
23+221	1.15	199.32	0.97	167.27	1.2
23+541	0.86	173.44	0.72	145.53	0.9
23+674	2.79	127.95	2.36	108.42	2.8
24+303	1.15	231.51	0.93	187.99	1.2
24+303	15.37	209.96	13.79	188.41	15.6
24+578	6.32	286.80	5.63	255.40	6.3

Tabella 23: Confronto valori di portata e coefficienti udometrici tra i dati degli Annali Idrologici e i dati ricavati tramite Metodo Va.P.I. e portata massima – Tr200