

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA

RELAZIONE IDROLOGICA

Studio idrologico del bacino del Torrente Cervaro

SCALA:

-

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

IF1W 00 D 09 RI ID0001 001 A

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato | Data |
|------|---------------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|
| A | EMISSIONE ESECUTIVA | C. Cesali | Nov. 2018 | F. Cesali | Nov. 2018 | D. Aprea | Nov. 2018 | A. Vito | Nov. 2018 |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle Varianti
Dott. Ing. Angelo Vattazzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° A20783

INDICE

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | PREMESSA..... | 5 |
| 2. | INQUADRAMENTO DELL'AREA | 6 |
| 3. | IL BACINO DEL TORRENTE CERVARO..... | 7 |
| 4. | STUDIO IDROLOGICO..... | 9 |
| 4.1 | ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI | 10 |
| | 4.1.1 <i>Va.Pi. Puglia: pluviometria</i> | 10 |
| | 4.1.2 <i>Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche</i> | 17 |
| 4.2 | ANALISI DELLE REGISTRAZIONI IDROMETRICHE | 23 |
| 4.3 | STIMA DELLE PORTATE AL COLMO | 28 |
| | 4.3.1 <i>Metodo razionale</i> | 28 |
| | 4.3.2 <i>Metodo di Nash</i> | 32 |
| | 4.3.3 <i>Definizione delle portate di piena dall'analisi statistica delle registrazioni idrometriche</i> | 34 |
| | 4.3.4 <i>Confronto tra le differenti metodologie adottate</i> | 34 |
| 4.4 | DEFINIZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA DI PROGETTO | 36 |
| 5. | RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI..... | 38 |


| | | | | | | |
|--|--|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0001 001 | REV. A |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|---|-----------|
| <i>Fig. 1 – Inquadramento dell’area di studio.....</i> | <i>6</i> |
| <i>Fig. 2 – Sottobacini del Torrente Cervaro.</i> | <i>8</i> |
| <i>Fig. 3 – Torrente Cervaro: area analizzata dall’AdB Puglia nell’ambito del P.O. FESR 2007-2013.</i> | <i>10</i> |
| <i>Fig. 4 – Sottobacini del Torrente Cervaro: Sottozone VAPI.....</i> | <i>15</i> |
| <i>Fig. 5 – Torrente Cervaro: stazione idrometrica di Incoronata.</i> | <i>24</i> |
| <i>Fig. 6 – Stazione idrometrica di Incoronata: serie storica dei valori di portata massima giornaliera annuale (periodo: 1951-2012).</i> | <i>25</i> |
| <i>Fig. 7 – Torrente Cervaro, sottobacino 1 (Orsara): confronto tra i valori di portata al colmo ottenuti secondo differenti approcci.</i> | <i>35</i> |
| <i>Fig. 8 – Torrente Cervaro, sottobacino 2 (Bovino): confronto tra i valori di portata al colmo ottenuti secondo differenti approcci.</i> | <i>35</i> |
| <i>Fig. 9 – Torrente Cervaro, sottobacino 1 (Orsara): idrogrammi di piena di progetto, per differenti tempi di ritorno.</i> | <i>37</i> |
| <i>Fig. 10 – Torrente Cervaro, sottobacino 2 (Bovino): idrogrammi di piena di progetto, per differenti tempi di ritorno.....</i> | <i>37</i> |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|---|-----------|
| <i>Tab. 1 – Sottobacini del Torrente Cervaro: dati morfometrici.</i> | <i>7</i> |
| <i>Tab. 2 – Torrente Cervaro: valori di portata al colmo in corrispondenza delle sezioni 13 e 19 (fonte: studio dell’AdB Puglia).</i> | <i>10</i> |
| <i>Tab. 3 – Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Puglia.</i> | <i>14</i> |
| <i>Tab. 4 – Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_T per le piogge in Puglia, per alcuni valori del periodo di ritorno.</i> | <i>14</i> |
| <i>Tab. 5 – Stazione pluviometrica di Bovino: altezza di pioggia per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore (periodo 1929-2000).</i> | <i>18</i> |
| <i>Tab. 6 – Stazione pluviometrica di Faeto: altezza di pioggia per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore (periodo 1941-2000).</i> | <i>19</i> |
| <i>Tab. 7 – Stazione pluviometrica di Orsara di Puglia: altezza di pioggia per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore (periodo 1962-2000).</i> | <i>19</i> |

| | | | | | | |
|--|--|-------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0001 001 | REV. A |

| | |
|---|-----------|
| <i>Tab. 8 – Stazione pluviometrica di Monteleone di Puglia: altezza di pioggia per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore (periodo 1936-2000).....</i> | <i>20</i> |
| <i>Tab. 9 – Stazione pluviometrica di Savignano Irpino: altezza di pioggia per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore (periodo 1932-2000).</i> | <i>22</i> |
| <i>Tab. 10 – Valori dei parametri a e n per le stazioni pluviometriche considerate.</i> | <i>23</i> |
| <i>Tab. 11 – Stazione idrometrica di Incoronata: valori di portata giornaliera massima annuale (periodo: 1951-2012).....</i> | <i>25</i> |
| <i>Tab. 12 – Stazione idrometrica di Incoronata: valori di portata $Q_{max,g}$, per differenti tempi di ritorno, secondo le distribuzioni di probabilità di Gumbel e Fuller.</i> | <i>27</i> |
| <i>Tab. 13 – Stazione idrometrica di Incoronata: valori di portata massima giornaliera, al colmo e specifica, per differenti tempi di ritorno, secondo la distribuzione di Fuller.</i> | <i>27</i> |
| <i>Tab. 14 – Stazione idrometrica di Incoronata: valori di portata massima giornaliera, al colmo e specifica, per differenti tempi di ritorno, secondo la distribuzione di Gumbel.....</i> | <i>28</i> |
| <i>Tab. 15 – Valori del Curve Number (CN) per le differenti coperture del suolo del CLC (Elaborazione ADIS).</i> | <i>30</i> |
| <i>Tab. 16 – Sottobacino 1 (Orsara): valori dell'altezza di pioggia, per vari tempi di ritorno, relativi alle stazioni pluviometriche considerate.....</i> | <i>31</i> |
| <i>Tab. 17 – Sottobacino 2 (Bovino): valori dell'altezza di pioggia, per vari tempi di ritorno, relativi alle stazioni pluviometriche considerate.....</i> | <i>31</i> |
| <i>Tab. 18 – Sottobacino 1 (Orsara): valori dell'altezza di pioggia (ragguagliata all'area) per una durata pari a t_r, al variare del tempo di ritorno.</i> | <i>31</i> |
| <i>Tab. 19 – Sottobacino 2 (Bovino): valori dell'altezza di pioggia (ragguagliata all'area) per una durata pari a t_r, al variare del tempo di ritorno.</i> | <i>32</i> |
| <i>Tab. 20 – Sottobacino 1 (Orsara): valori del coefficiente di deflusso e della portata al colmo, per i tempi di ritorno considerati.</i> | <i>32</i> |
| <i>Tab. 21 – Sottobacino 2 (Bovino): valori del coefficiente di deflusso e della portata al colmo, per i tempi di ritorno considerati.</i> | <i>32</i> |
| <i>Tab. 22 – Sottobacino 1 (Orsara): modello di Nash, valori della portata al colmo, per differenti tempi di ritorno.</i> | <i>33</i> |
| <i>Tab. 23 – Sottobacino 2 (Bovino): modello di Nash, valori della portata al colmo, per differenti tempi di ritorno.</i> | <i>33</i> |
| <i>Tab. 24 – Valori di portata al colmo, per differenti tempi ritorno derivanti dall'analisi statistica delle registrazioni idrometriche in corrispondenza della stazione di Incoronata e delle sezioni di chiusura di interesse.....</i> | <i>34</i> |

1. PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del Progetto di Raddoppio della Tratta Bovino - Orsara, nell'ambito dell'Itinerario Napoli-Bari, oggetto di approfondimenti progettuali sul progetto preliminare.

Il suddetto progetto si sviluppa in affiancamento al Torrente Cervaro. È stato condotto quindi lo studio idrologico del bacino idrografico di interesse finalizzato alla valutazione delle portate al colmo di progetto e dei relativi idrogrammi di piena da imporre/assumere come condizioni al contorno nel modello idraulico bidimensionale sviluppato.

Lo studio idrologico si compone delle seguenti fasi:

- analisi pluviometrica per la definizione dell'altezza totale di precipitazione;
- definizione della precipitazione netta, ovvero la componente di precipitazione che partecipa al deflusso, pari alla precipitazione totale depurata da quella che risulta persa in conseguenza a perdite idrologiche (immagazzinamento superficiale, vegetazione, evaporazione, infiltrazione);
- trasformazione afflussi-deflussi per il calcolo delle caratteristiche dell'onda di piena, per vari tempi di ritorno.

Le analisi sono state sviluppate nel rispetto della Pianificazione di Bacino attualmente in vigore (PIANO DI BACINO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO – P.A.I. dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia, aggiornamento 27/02/2017), nonché dei risultati dei recenti studi idrologico-idraulici condotti dall'Autorità di Bacino nell'ambito del P.O. FESR 2007 – 2013: *PROGRAMMA PLURIENNALE DI ATTUAZIONE DELL'ASSE II – “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”*.

2. INQUADRAMENTO DELL'AREA

La tratta ferroviaria Bovino – Orsara si sviluppa interamente nella Regione Puglia. Il nuovo tracciato ferroviario ha inizio alla pk 29+050.29 in corrispondenza della P.S.E. dell'attuale comunicazione P/D S60U/1200/0.040 in prossimità del termine della tratta Cervaro - Bovino recentemente attivata. Il tracciato quindi prosegue come prolungamento della nuova linea a doppio binario e dopo un breve tratto di affiancamento all'attuale ferrovia piega verso Nord per dirigersi verso la fermata attuale di Orsara (termine della tratta). Per i primi 2 km quindi la ferrovia è allo scoperto dapprima in rilevato fino alla pk 30+950 poi in trincea fino all'imbocco della galleria (pk 31+044).

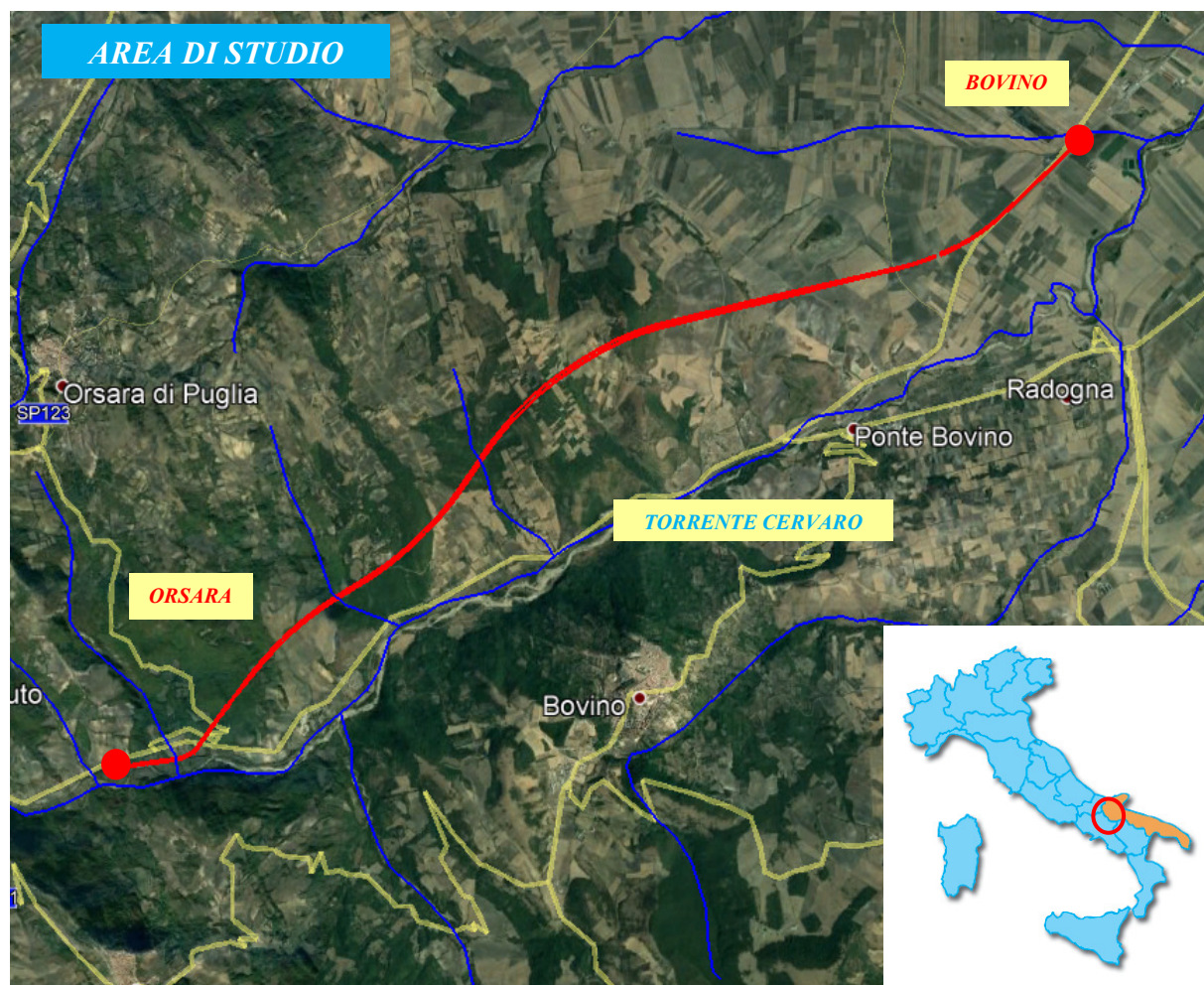


Fig. 1 – Inquadramento dell'area di studio.

| | | | | | | |
|---|--|---------|----------|------------|------|---------|
|  | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | IF1W | 00 D 09 | RI | ID0001 001 | A | 7 di 38 |

La galleria si sviluppa complessivamente per 9871 m circa; l'imbocco lato Napoli si attesta alla pk 40+915.41. In prossimità di questa uscita è previsto il collegamento con la linea storica (km 40+913.63 - BD). Il tracciato ferroviario della tratta Bovino - Orsara si ferma quindi alla pk 40+889.79 (BP).

Dall'uscita della galleria Orsara si procede con la realizzazione del rilevato ferroviario di approccio al "futuro" viadotto Cervaro (Tratta Orsara-Hirpinia, Il lotto funzionale) fino alla pk 41+046.85.

Il collegamento ferroviario provvisorio di 1^a fase prevede la chiusura della tratta Bovino - Orsara sulla linea esistente Foggia - Napoli alla pk 42+677.3, in prossimità dell'attuale fermata di Orsara.

3. **IL BACINO DEL TORRENTE CERVARO**

Il torrente Cervaro nasce dal monte Le Felci (853 m di quota) presso Monteleone di Puglia, si immette in provincia di Avellino e rientra in quella di Foggia fra Panni e Montaguto; incanalato nell'ultimo tratto, prende il nome di canale Cervaro Nuovo e sfocia, dopo circa 80 km di percorso, nel golfo di Manfredonia, mentre due rami si immettono nelle vasche di colmata del Cervaro. Costeggiato, da Radogna a Stradola, dalla SS 90, riceve a sinistra il torrente Lavella e il torrente Sannoro, a destra il torrente Bilera.

Relativamente al tracciato di progetto, ed in particolare ai due tratti allo "scoperto" (iniziale e finale), il bacino idrografico del T. Cervaro, chiuso in prossimità di Orsara, ricopre un'area di 205 km² circa; mentre fino a Bovino, ha una estensione di 298 km² (Fig. 2).

I dati morfometrici relativi ai due sottobacini considerati sono riportati in Tab. 1.

| <i>Sottobacino</i> | <i>Superficie (km²)</i> | <i>Lunghezza asta principale (km)</i> | <i>Quota massima (m slm)</i> | <i>Quota minima (m slm)</i> | <i>Quota media (m slm)</i> |
|--------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| (1) Orsara | 204.8 | 41.60 | 1105.0 | 343.0 | 671.4 |
| (2) Bovino | 298.0 | 50.0 | 1105.0 | 209.0 | 619.62 |

Tab. 1 – Sottobacini del Torrente Cervaro: dati morfometrici.

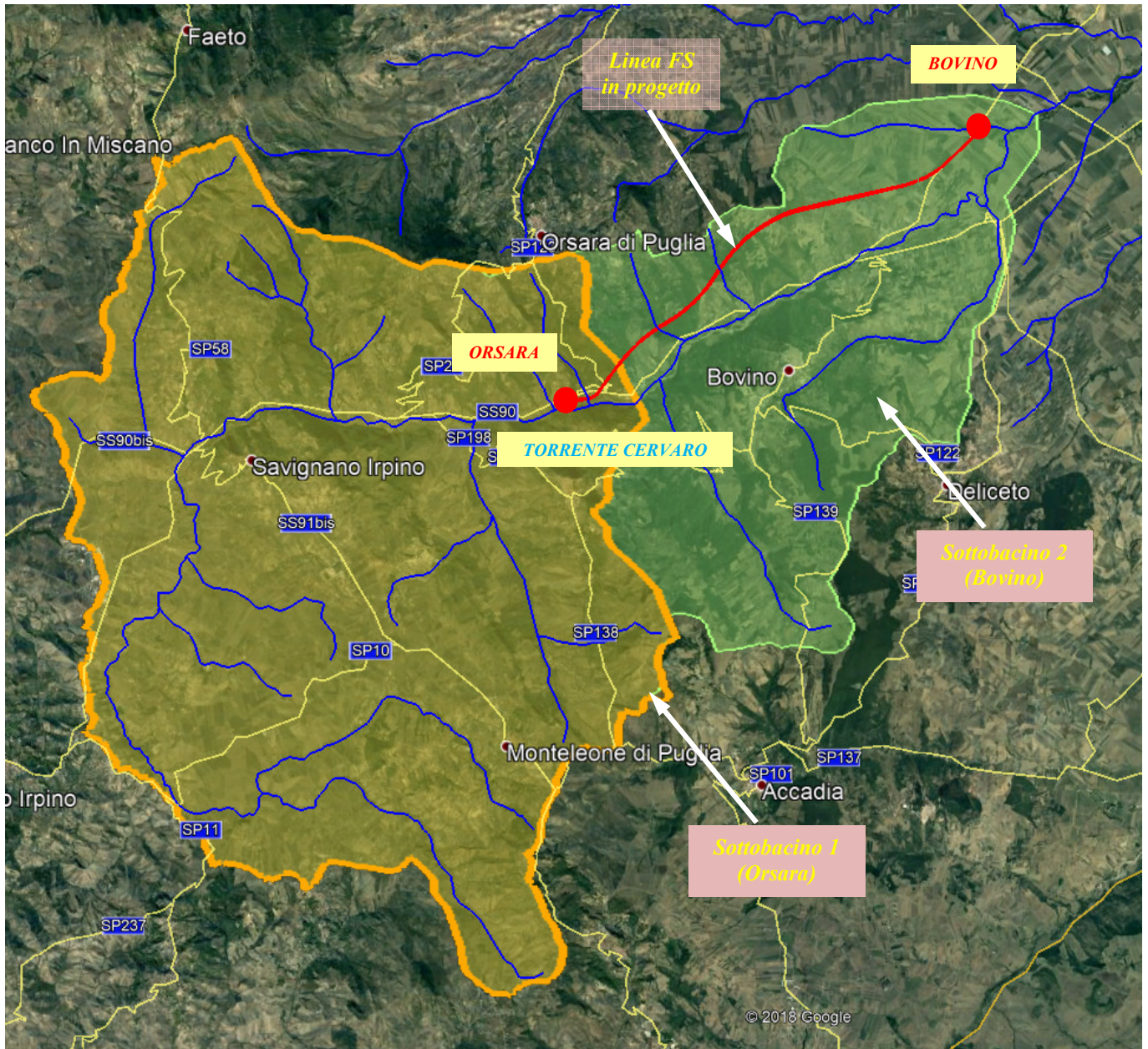


Fig. 2 – Sottobacini del Torrente Cervaro.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|----------------|-------------------------|-----------|-------------------|
|  | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0001 001 | REV. A | FOGLIO 9 di 38 |

4. STUDIO IDROLOGICO

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idrologica del bacino del Torrente Cervaro nel territorio di competenza dell’Autorità di Bacino della Puglia (AdB Puglia) è attualmente riportato nel Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.), approvato dal Comitato Istituzionale dell’AdB Puglia con delibera n° 39 del 30/11/2005, aggiornato successivamente a più riprese e ancora in fase di aggiornamento relativamente al Torrente Cervaro.

In particolare, nell’ambito del P.O. FESR 2007-2013, l’Autorità di Bacino della Puglia (AdB Puglia) ha prodotto uno studio idrologico-idraulico (i.e. *“Studio per la definizione delle opere necessarie per la messa in sicurezza del reticolo idrografico pugliese”*) del bacino del T. Cervaro a partire dalla sezione che sottende un bacino con area contribuyente uguale o maggiore a 25 km² sino alla confluenza con il T. Sannoro (Fig. 3), nel quale ricade l’intervento in oggetto. Le proposte di variazione delle perimetrazioni a diversa pericolosità idraulica hanno in parte già ricevuto l’approvazione da parte della Commissione della Provincia di Foggia. In tale studio, per l’individuazione delle caratteristiche pluviometriche dell’evento critico, si è operato in conformità a quanto previsto dalla metodologia Va.Pi. Puglia (descritta in seguito) sviluppata dal Gruppo Nazionale di Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI), mediante l’applicazione delle procedure di regionalizzazione. Determinate le curve di possibilità pluviometrica, le portate di piena sono state valutate mediante l’applicazione della ben nota formula razionale, come da metodologia Va.Pi..

I valori di portata al colmo in corrispondenza della sezione 13 (Tav. 5.1.2_Cervaro_2D_tav.2 del sopraccitato studio dell’AdB Puglia) a Orsara, e della sezione 19 (Tav. 5.1.2_Cervaro_2D_tav.3 del sopraccitato studio dell’AdB Puglia) a Bovino, sono riportati in Tab. 2.

Nel presente studio sono stati rivalutati i valori di portata al colmo, in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei sottobacini di interesse, ricorrendo a differenti metodologie (dirette e indirette). Nel dettaglio, oltre ad applicare la metodologia Va.Pi. Puglia, sono state raccolte ed elaborate le osservazioni pluviometriche ed idrometriche disponibili, registrate presso le stazioni di misura della zona, e sono stati applicati differenti modelli di trasformazione afflussi-deflussi per la determinazione delle portate massime di progetto e dei relativi idrogrammi di piena per i tempi di ritorno (Tr) di 30, 200, 300, 500 anni, in conformità alle analisi già sviluppate dall’AdB Puglia e alla normativa di riferimento in materia di compatibilità idraulica delle opere di attraversamento (Tr 200 - NTC 2018, Cap. 5; Tr 300 – Manuale di Progettazione RFI, per bacini idrografici con superficie superiore a 10 km²).

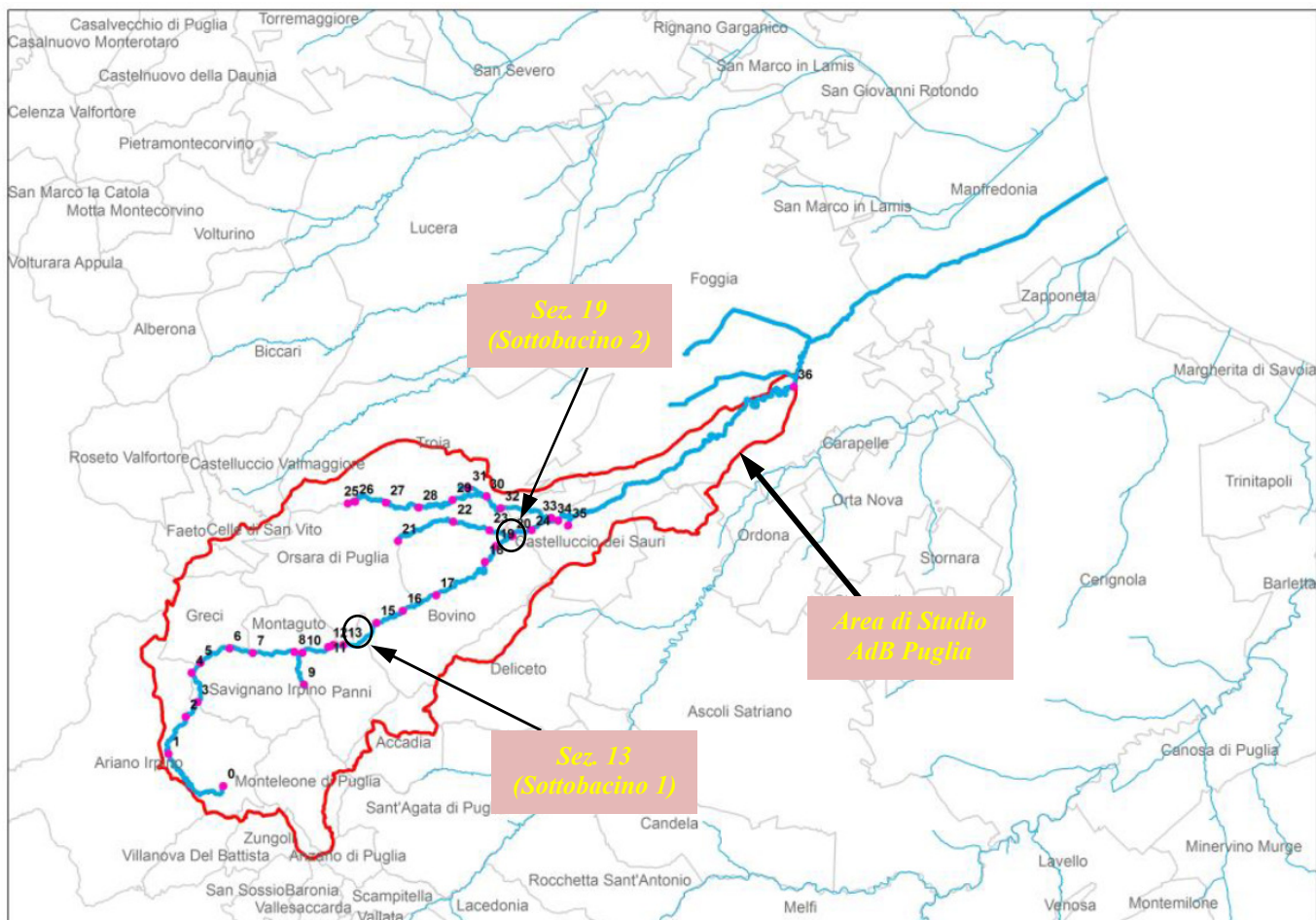


Fig. 3 – Torrente Cervaro: area analizzata dall'AdB Puglia nell'ambito del P.O. FESR 2007-2013.

| Tr (anni) | Q [mc/s] (Orsara – sez. 13) | Q [mc/s] (Bovino – sez. 19) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|
| 30 | 349.9 | 417.4 |
| 200 | 560.5 | 664.5 |
| 500 | 664.4 | 786.4 |

Tab. 2 – Torrente Cervaro: valori di portata al colmo in corrispondenza delle sezioni 13 e 19 (fonte: studio dell'AdB Puglia).

4.1 Analisi delle precipitazioni

4.1.1 Va.Pi. Puglia: pluviometria

Per i massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata, è stato adottato un modello di regionalizzazione basato sull'uso della distribuzione di probabilità TCEV (legge di distribuzione di

probabilità del Valore Estremo a Doppia Componente), che rappresenta la distribuzione del massimo valore conseguito, in un dato intervallo di tempo, da una variabile casuale distribuita secondo la miscela di due leggi esponenziali, nell'ipotesi che il numero di occorrenze di detta variabile, nello stesso intervallo di tempo, segua la legge di Poisson (Rossi e Versace, 1982; Rossi *et al.*, 1984). Essa ha già mostrato in diverse altre occasioni una buona adattabilità alle serie storiche delle massime altezze di pioggia di una qualsiasi durata (Fiorentino *et al.* 1984; Fiorentino e Gabriele, 1984).

La funzione di probabilità cumulata del modello TCEV può essere espressa nella forma:

$$F_X(x) = \exp\left\{-\Lambda_1 \exp\left(-\frac{x}{\Theta_1}\right) - \Lambda_2 \exp\left(-\frac{x}{\Theta_2}\right)\right\} \quad x \geq 0$$

La funzione ha quattro parametri, Λ_1 , Θ_1 , Λ_2 e Θ_2 . I parametri contraddistinti dal pedice 1 sono relativi agli eventi più frequenti (componente base) mentre quelli con pedice 2 si riferiscono ad eventi più gravosi e rari (componente straordinaria). Ognuna delle due componenti è, a tutti gli effetti, una legge di Gumbel. I parametri Λ_1 e Λ_2 esprimono, rispettivamente per le due componenti, il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori ad una soglia. I parametri Θ_1 e Θ_2 esprimono invece la media di tali eventi. Spesso è utile fare riferimento, anziché alla X , alla variabile standardizzata

$$Y = \frac{X}{\Theta_1} - \ln \Lambda_1$$

caratterizzata dalla funzione di probabilità cumulata:

$$F_Y(y) = \exp\left\{-\exp(-y) - \Lambda_* \exp\left(-\frac{y}{\Theta_*}\right)\right\}$$

nella quale risulta:

$$\Theta_* = \frac{\Theta_2}{\Theta_1} \quad \text{e} \quad \Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\Theta_*}}$$

L'espressione completa della funzione di probabilità cumulata della TCEV può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale $K_{t,T} = X_{t,T} / \mu(X_t)$ dove con $\mu(X_t)$ si è indicato il *valore indice* (la media della variabile). La funzione di probabilità cumulata di questa nuova variabile $K_{t,T}$ è la cosiddetta *curva di crescita* la quale dipende dai parametri Λ^* , Θ^* , Λ_1 e Θ_1 , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

Tale curva risulta avere validità nell'ambito di sottozone omogenee, per cui rappresenta uno strumento di uso particolarmente comodo. Infatti, nell'ambito delle suddette sottozone, è sufficiente determinare la media della variabile ($\mu(X_t)$) per avere, a partire dalla $K_{t,Tr}$, la distribuzione di probabilità finale.

$$F_x(x) = \mu(X_t) K_{t,Tr}$$

Sulle relazioni che intercorrono tra momenti teorici e parametri della distribuzione TCEV si basa la strutturazione regionale della stima dei parametri del modello TCEV, in particolare con riferimento ai momenti del secondo e del terzo ordine. Va innanzitutto detto che mediante l'espressione dei momenti teorici del modello TCEV, si dimostra che il coefficiente di variazione teorico dipende da Λ_* , Θ_* e Λ_1 ed è quindi indipendente da Θ_1 , mentre il coefficiente di asimmetria teorico dipende da Λ_* e Θ_* ed è quindi indipendente da Λ_1 e Θ_1 . La stima su base regionale di parametri dipendenti da momenti di ordine elevato si rende necessaria in quanto i coefficienti di asimmetria e di variazione campionari, espressi rispettivamente dalle relazioni:

$$C_A = \sqrt{N} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^3}{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \right]^{3/2}} \quad C_V = \frac{N}{\sqrt{N-1}} \cdot \frac{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2 \right]^{3/2}}{\sum_{i=1}^N x_i}$$

stimati dalle serie storiche dei massimi annuali delle portate istantanee, o delle piogge di fissata durata, presentano una variabilità spaziale che nell'ambito di vaste aree non è superiore alla variabilità campionaria. In altri termini, presentano variabilità campionaria molto elevata, ma bassa variabilità spaziale. Ciò consente di ipotizzare l'esistenza di regioni nelle quali si può ammettere che i valori teorici di tali momenti siano costanti. Per le relazioni di cui si è detto in precedenza si ha come conseguenza la costanza dei parametri del modello TCEV direttamente legati ai suddetti momenti campionari.

La procedura di regionalizzazione adottata nello studio regionale è di tipo gerarchico strutturata su tre livelli:

1° Livello di regionalizzazione:

Si assume che il coefficiente di asimmetria C_A sia costante in una regione molto ampia (l'intera Italia Appenninica ed insulare ad eccezione della Sardegna). Ciò implica, per quanto detto in precedenza, la costanza dei parametri Λ_* e Θ_* del modello TCEV nella medesima zona.

Inoltre in una regione omogenea rispetto a Λ^* e Θ^* , risulta unica la funzione di probabilità cumulata della variabile standardizzata Y , in quanto essa dipende soltanto dai due suddetti parametri del modello.

In assenza di dati sufficienti a mettere in discussione localmente la validità di questa assunzione, si pone che ovunque Λ^* e Θ^* assumano i valori calcolati nell'ambito della zona unica.

II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione si assume che la regione omogenea rispetto a Λ_* e Θ_* possa suddividersi in sottozone in cui il coefficiente di variazione C_V risulti costante, nel senso che vari con piccoli scarti di disturbo spaziale intorno a valori medi differenti da una zona all'altra.

Per il modello TCEV questo si traduce nella costanza del parametro Λ_1 , nella sottozona omogenea, oltre che di Λ_* e Θ_* . Il valore di Λ_1 relativo alla sottozona va stimato utilizzando tutti i dati disponibili nella zona.

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a Λ_1 la variabile $K_{t,T} = X_{t,T}/\mu(X_t)$ risulta identicamente distribuita, si ha cioè una curva di crescita unica per l'intera sottozona.

III° Livello di regionalizzazione


Il terzo livello di regionalizzazione consiste nell'individuazione di aree omogenee nelle quali sia possibile determinare le relazioni che legano la media $\mu(X_t)$ (valore indice) alle caratteristiche fisiche di interesse.

Nell'analisi delle piogge orarie per ogni sito è possibile legare il valore medio $\mu(X_t)$ dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata t alle durate stesse, attraverso la curva di probabilità pluviometrica:

$$\mu(X_t) = a t^n$$

La stima delle precipitazioni per fissata durata in corrispondenza di un dato tempo di ritorno avviene tramite il calcolo dei valori della media dei massimi delle precipitazioni stesse μ_t relative ad una generica durata t , e la successiva amplificazione delle stesse attraverso il fattore di crescita (della media con il periodo di ritorno) K_T .

$$h_{t,T} = \mu(X_t) K_T$$

| | | | | | | |
|--|--|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0001 001 | REV. A |

Dalla procedura di regionalizzazione sopra descritta, per l'intera regione Puglia, sono stati ottenuti i seguenti valori dei parametri della distribuzione di probabilità adottata (Tab. 3).

| | | | | |
|---------------|------------------|-------------------|----------------|--------------|
| Piogge | $\Theta_*=2.352$ | $\Lambda_*=0.772$ | $\Lambda_1=45$ | $\eta=5.662$ |
|---------------|------------------|-------------------|----------------|--------------|

Tab. 3 – Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Puglia.

Conoscendo Λ_1 , Λ_* e Θ_* , è stato possibile quindi determinare le curve regionali di crescita della precipitazione; in particolare:

$$Tr = \frac{1}{1 - F_k(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\Theta_*} e^{-\eta k / \Theta_*})}$$

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa dell'equazione precedente per cui, fissato un valore Tr del periodo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_{Tr} . Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile. Si riportano di seguito, i valori di K_{Tr} ottenuti numericamente per alcuni valori del periodo di ritorno.

| | | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tr | 5 | 10 | 20 | 40 | 50 | 100 | 200 | 500 |
| K_{Tr} | 1.26 | 1.53 | 1.81 | 2.10 | 2.19 | 2.48 | 2.77 | 3.15 |

Tab. 4 – Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_{Tr} , per le piogge in Puglia, per alcuni valori del periodo di ritorno.

Nelle pratiche approssimazioni è possibile anche fare riferimento all'espressione semplificata:

$$K_{Tr} = \left(\frac{\mathcal{G}_* \text{Ln} \Lambda_*}{\eta} + \frac{\text{Ln} \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\mathcal{G}_*}{\eta} \text{Ln} T_r$$

che per la Regione Puglia, dati i valori assunti dai parametri della distribuzione TCEV, diventa:

$$K_{Tr} = 0.5648 + 0.415 \text{Ln} T_r$$

Lo studio svolto nell'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia ha individuato diverse aree omogenee.

In particolare, il territorio di competenza dell’Autorità di Bacino della Puglia è suddiviso in 6 aree pluviometriche omogenee, per ognuna delle quali è possibile calcolare la Curva di Possibilità Pluviometrica.

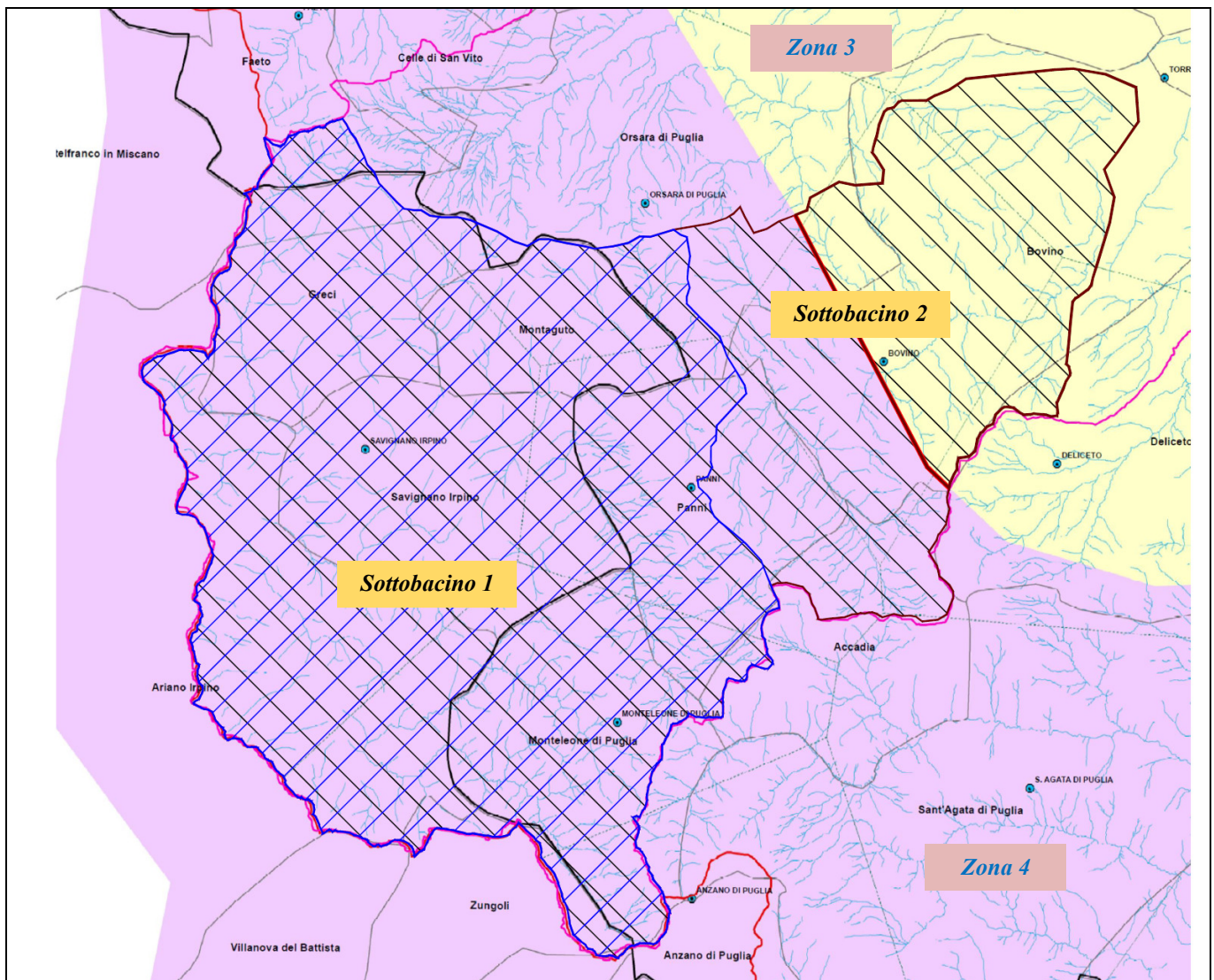


Fig. 4 – Sottobacini del Torrente Cervaro: Sottozone VAPI.

Nello specifico, i sottobacini ricadenti nel bacino del torrente Cervaro, interessano le zone omogenee 2, 3 e 4, per le quali valgono le seguenti equazioni:

Zona 2:
$$h(t) = 22.23 \cdot K_{Tr} \cdot t^{0.247}$$

Zona 3: $h(t,z) = 25.325 \cdot K_{Tr} \cdot t^{[(0.696+0.000531 \cdot z)/3.178]}$

Zona 4: $h(t) = 24.70 \cdot K_{Tr} \cdot t^{0.256}$

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. L'applicazione della formula della curva di possibilità pluviometrica consente la stima dell'altezza media di precipitazione espressa in mm. Nell'ambito del presente studio, relativamente al sottobacino 1, chiuso a Orsara, si è fatto riferimento alla CPP della **Zona 4** ($a = 24.7$; $n = 0.256$). Il sottobacino 2 (chiuso a Bovino) ricade in parte in **Zona 4** (superficie = 245.4 km²) e in parte in **Zona 3** (superficie = 52.6 km²). Sono stati quindi applicati i valori medi dei parametri a e n , pesati sull'estensione del sottobacino nelle due sottozone ($a = 24.8$; $n = 0.268$) (Fig. 4).

All'analisi pluviometrica segue la valutazione delle portate al colmo di piena, mediante l'applicazione della formula razionale, attraverso un legame correlativo tra la piena indice x , la superficie del bacino ed il valore medio $i(tr)$ dei massimi annuali delle intensità di pioggia puntuali di durata pari al tempo di ritardo caratteristico del bacino. La formula assume la seguente espressione:

$$x = i(t_r) \cdot S \cdot C^* / 3.6$$

In cui x è la piena indice espressa in m³/s; C^* è il coefficiente probabilistico di piena; tr è il tempo di ritardo del bacino espresso in ore; $i(tr)$ è l'intensità dei massimi annuali delle intensità di pioggia puntuali di durata pari al tempo di ritardo caratteristico del bacino, espresso in mm/h. Il coefficiente probabilistico di piena C^* porta in conto, oltre all'effetto naturale di laminazione del picco di piena rispetto al picco di pioggia, l'effetto della riduzione areale delle piogge e le perdite idrologiche nel bilancio di piena, dovute principalmente al fenomeno dell'infiltrazione nel suolo ed a quello dell'intercettazione da parte della vegetazione. Tale coefficiente può essere valutato tramite la relazione:

$$C = 0.09 + 0.47 \cdot (1 - PP)$$

con PP = percentuale di bacino permeabile. Nel caso oggetto di studio, per l'intero bacino del Cervaro, C^* può essere assunto pari a 0.381. Per il tempo di ritardo del bacino, si può ricorrere invece alla formulazione:

$$t_r = 0.344 \cdot S^{0.5}$$

con S = area del bacino espressa in km².

| | | | | | | |
|---|--|------------------|----------------|-------------------------|-----------|--------------------|
|  | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0001 001 | REV. A | FOGLIO 17 di 38 |

Ai risultati ottenuti viene applicato il fattore di crescita K_{Tr} che contestualizza la piena all'evento considerato e il coefficiente di riduzione areale K_A , valutabile tramite la relazione:

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

con d che rappresenta la durata dell'evento, S la superficie del bacino considerato, $c_1 = 0.0021$, $c_2 = 0.53$ e $c_3 = 0.25$.

4.1.2 Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche

Sono state raccolte le registrazioni pluviometriche delle stazioni di Bovino, Faeto, Monteleone di Puglia, Orsara di Puglia e Savignano Irpino, ricadenti nei sottobacini in esame.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i dati di altezza di pioggia massima, per durate pari a 1, 3, 6, 12, 24 ore, per le cinque stazioni di misura prese in esame (Fonte: Annali idrologici).

Tali dati sono stati quindi elaborati statisticamente ricorrendo al metodo di Gumbel, il quale prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale al campione di dati di precipitazione intesi come variabili indipendenti.

La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

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

Introducendo la variabile ridotta y :

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

si ha la forma canonica:

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

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

| Stazione Pluviometrica - BOVINO | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| ANNO | ORE | | | | | ANNO | ORE | | | | |
| | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 | | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
| | mm | mm | mm | mm | mm | | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1929 | 50.0 | 64.0 | 64.2 | 64.2 | 64.2 | 1969 | 26.4 | 28.0 | 33.2 | 51.0 | 71.8 |
| 1932 | 20.8 | 35.8 | 36.8 | 36.8 | 40.0 | 1970 | 32.6 | 34.6 | 41.2 | 53.8 | 74.6 |
| 1933 | 24.6 | 28.0 | 29.6 | 41.8 | 50.2 | 1971 | 11.6 | 17.0 | 26.2 | 39.6 | 52.8 |
| 1934 | 14.0 | 19.0 | 27.6 | 36.0 | 54.0 | 1973 | 32.4 | 55.2 | 61.0 | 64.6 | 64.6 |
| 1935 | 17.8 | 17.8 | 29.6 | 36.2 | 38.8 | 1974 | 18.6 | 29.2 | 30.2 | 38.2 | 43.8 |
| 1936 | 22.0 | 32.0 | 39.8 | 53.0 | 80.6 | 1975 | 32.2 | 46.4 | 75.8 | 89.8 | 106.2 |
| 1942 | 34.0 | 38.4 | 39.0 | 50.4 | 64.8 | 1976 | 38.2 | 48.0 | 48.0 | 49.0 | 62.0 |
| 1943 | 16.6 | 28.2 | 40.4 | 60.0 | 64.2 | 1977 | 12.2 | 15.8 | 18.2 | 21.2 | 25.4 |
| 1945 | 12.6 | 16.0 | 29.0 | 53.0 | 90.6 | 1978 | 23.4 | 25.2 | 45.0 | 54.0 | 67.6 |
| 1946 | 33.6 | 36.6 | 37.0 | 38.0 | 51.6 | 1979 | 21.4 | 33.2 | 40.8 | 54.0 | 56.8 |
| 1951 | 39.0 | 43.0 | 46.2 | 46.2 | 54.4 | 1980 | 68.2 | 72.4 | 72.6 | 72.6 | 72.6 |
| 1952 | 37.6 | 39.0 | 39.0 | 39.0 | 47.0 | 1981 | 29.8 | 31.8 | 31.8 | 31.8 | 35.6 |
| 1953 | 15.4 | 20.6 | 33.4 | 47.4 | 56.0 | 1982 | 37.0 | 50.6 | 50.6 | 50.6 | 50.6 |
| 1954 | 20.2 | 28.4 | 31.6 | 40.0 | 59.4 | 1983 | 16.6 | 25.0 | 45.0 | 62.8 | 82.4 |
| 1955 | 28.6 | 42.2 | 57.8 | 77.8 | 130.2 | 1984 | 17.6 | 26.8 | 39.6 | 62.2 | 94.4 |
| 1956 | 19.4 | 30.0 | 47.6 | 74.2 | 98.2 | 1985 | 17.4 | 28.4 | 51.6 | 86.0 | 104.2 |
| 1957 | 19.8 | 33.8 | 53.0 | 69.8 | 98.4 | 1986 | 23.8 | 30.6 | 39.2 | 68.2 | 73.4 |
| 1958 | 21.8 | 25.8 | 29.4 | 50.2 | 56.2 | 1988 | 17.4 | 18.2 | 36.2 | 48.0 | 48.4 |
| 1959 | 32.4 | 32.8 | 36.0 | 49.4 | 52.8 | 1991 | 18.4 | 27.0 | 29.4 | 39.6 | 55.6 |
| 1960 | 24.2 | 26.2 | 29.0 | 34.4 | 38.2 | 1992 | 16.6 | 21.6 | 27.6 | 39.0 | 48.2 |
| 1961 | 16.8 | 25.0 | 47.0 | 58.8 | 89.6 | 1993 | 33.8 | 33.8 | 36.4 | 45.0 | 49.0 |
| 1962 | 20.2 | 32.4 | 46.2 | 48.4 | 51.6 | 1994 | 26.0 | 31.0 | 31.2 | 34.0 | 42.8 |
| 1963 | 18.4 | 31.8 | 38.2 | 44.6 | 73.6 | 1995 | 25.0 | 25.4 | 25.4 | 39.8 | 44.2 |
| 1964 | 21.8 | 28.4 | 36.0 | 44.4 | 64.8 | 1996 | 28.0 | 36.6 | 36.6 | 36.6 | 46.0 |
| 1965 | 19.2 | 23.8 | 30.6 | 42.6 | 55.6 | 1997 | 35.6 | 38.4 | 38.4 | 43.8 | 58.2 |
| 1966 | 25.2 | 29.4 | 30.2 | 30.2 | 43.8 | 1998 | 29.6 | 63.0 | 63.0 | 63.0 | 63.6 |
| 1967 | 40.0 | 83.8 | 84.2 | 84.6 | 85.2 | 1999 | 43.6 | 46.2 | 46.4 | 46.4 | 58.2 |
| 1968 | 24.2 | 30.4 | 38.8 | 55.2 | 70.8 | 2000 | 19.0 | 25.8 | 40.8 | 59.4 | 59.4 |

Tab. 5 – Stazione pluviometrica di Bovino: altezza di pioggia per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore (periodo 1929-2000).

| Stazione Pluviometrica - FAETO | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| ANNO | ORE | | | | | ANNO | ORE | | | | |
| | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 | | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
| | mm | mm | mm | mm | mm | | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1941 | 13.0 | 25.0 | 41.6 | 54.6 | 63.4 | 1981 | 14.8 | 18.2 | 24.0 | 31.6 | 32.2 |
| 1942 | 11.2 | 21.0 | 30.4 | 48.4 | 64.2 | 1982 | 24.6 | 24.6 | 34.0 | 46.8 | 50.2 |
| 1943 | 14.0 | 37.0 | 58.0 | 96.0 | 147.2 | 1984 | 12.6 | 17.4 | 29.2 | 49.4 | 82.2 |
| 1950 | 24.4 | 25.2 | 32.0 | 32.0 | 32.2 | 1985 | 16.0 | 24.0 | 41.0 | 64.4 | 81.0 |
| 1958 | 16.4 | 25.4 | 33.0 | 45.8 | 53.6 | 1988 | 19.0 | 20.6 | 40.0 | 44.2 | 44.4 |
| 1960 | 47.6 | 58.8 | 62.2 | 62.2 | 63.4 | 1989 | 27.4 | 31.0 | 36.2 | 42.6 | 51.0 |
| 1961 | 20.4 | 35.4 | 35.4 | 41.6 | 68.4 | 1990 | 34.6 | 39.6 | 59.4 | 85.2 | 118.6 |
| 1963 | 19.0 | 29.8 | 36.2 | 37.0 | 54.6 | 1991 | 29.0 | 34.8 | 41.4 | 49.2 | 69.8 |
| 1964 | 27.6 | 27.6 | 30.6 | 42.8 | 52.2 | 1992 | 29.2 | 34.4 | 39.0 | 62.2 | 70.6 |
| 1966 | 24.2 | 24.4 | 29.2 | 43.6 | 60.4 | 1993 | 18.0 | 20.0 | 37.4 | 52.4 | 57.0 |
| 1967 | 19.2 | 19.2 | 27.0 | 30.4 | 45.8 | 1994 | 12.8 | 30.8 | 44.6 | 48.6 | 64.4 |
| 1970 | 32.0 | 36.6 | 36.8 | 37.0 | 58.2 | 1997 | 18.4 | 29.2 | 33.2 | 36.0 | 40.8 |
| 1971 | 24.2 | 51.6 | 67.8 | 89.2 | 108.6 | 1998 | 30.4 | 44.0 | 44.0 | 53.0 | 56.8 |
| 1974 | 24.4 | 33.2 | 36.6 | 37.4 | 37.8 | 1999 | 26.8 | 31.2 | 32.6 | 33.2 | 38.3 |
| 1975 | 10.0 | 19.2 | 27.6 | 35.0 | 47.0 | 2000 | 18.2 | 22.0 | 25.2 | 35.4 | 46.0 |
| 1979 | 18.4 | 22.8 | 27.6 | 45.0 | 64.0 | | | | | | |

Tab. 6 – Stazione pluviometrica di Faeto: altezza di pioggia per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore (periodo 1941-2000).

| Stazione Pluviometrica - ORSARA DI PUGLIA | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| ANNO | ORE | | | | | ANNO | ORE | | | | |
| | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 | | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
| | mm | mm | mm | mm | mm | | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1962 | 17.6 | 33.4 | 46.0 | 50.4 | 55.0 | 1979 | 28.6 | 28.8 | 29.4 | 36.4 | 73.6 |
| 1963 | 21.0 | 22.4 | 23.2 | 36.4 | 63.8 | 1981 | 19.0 | 33.6 | 33.6 | 33.6 | 33.6 |
| 1964 | 17.8 | 22.0 | 38.0 | 54.4 | 76.0 | 1982 | 32.6 | 41.0 | 44.0 | 47.0 | 58.2 |
| 1965 | 22.8 | 26.6 | 33.0 | 47.6 | 63.8 | 1983 | 26.4 | 39.4 | 57.8 | 57.8 | 57.8 |
| 1966 | 26.0 | 33.4 | 44.8 | 48.6 | 52.8 | 1984 | 12.6 | 26.0 | 37.6 | 70.8 | 107.4 |
| 1967 | 31.0 | 41.2 | 55.2 | 57.0 | 66.4 | 1990 | 16.4 | 30.0 | 57.2 | 81.0 | 113.2 |
| 1968 | 28.2 | 51.4 | 56.6 | 72.6 | 84.6 | 1991 | 29.0 | 35.8 | 36.2 | 36.2 | 62.4 |
| 1969 | 38.6 | 38.6 | 38.6 | 38.6 | 46.4 | 1992 | 17.4 | 25.0 | 29.2 | 42.0 | 47.0 |
| 1970 | 18.2 | 35.0 | 47.0 | 55.2 | 71.0 | 1995 | 34.6 | 56.4 | 56.4 | 56.4 | 56.4 |
| 1971 | 14.8 | 25.0 | 38.2 | 49.0 | 71.8 | 1996 | 19.8 | 20.2 | 25.2 | 37.2 | 41.2 |
| 1972 | 25.6 | 43.2 | 45.6 | 47.0 | 65.0 | 1997 | 22.0 | 24.4 | 34.0 | 60.0 | 88.4 |
| 1974 | 23.6 | 39.0 | 57.2 | 57.4 | 58.2 | 1998 | 24.6 | 55.0 | 55.8 | 56.0 | 56.0 |
| 1976 | 38.4 | 41.0 | 44.2 | 48.6 | 70.6 | 1999 | 35.8 | 39.4 | 41.2 | 41.2 | 46.6 |
| 1978 | 20.0 | 26.6 | 54.6 | 69.8 | 103.0 | 2000 | 32.6 | 63.6 | 67.6 | 67.8 | 68.2 |

Tab. 7 – Stazione pluviometrica di Orsara di Puglia: altezza di pioggia per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore (periodo 1962-2000).

| Stazione Pluviometrica - MONTELEONE DI PUGLIA | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| ANNO | ORE | | | | | ANNO | ORE | | | | |
| | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 | | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
| | mm | mm | mm | mm | mm | | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1936 | 31.0 | 36.2 | 46.0 | 46.0 | 46.0 | 1970 | 26.2 | 27.2 | 35.2 | 48.0 | 74.8 |
| 1937 | 14.2 | 16.2 | 20.4 | 32.8 | 38.2 | 1971 | 9.6 | 16.8 | 32.2 | 48.0 | 56.4 |
| 1938 | 26.6 | 32.4 | 32.4 | 48.0 | 89.0 | 1972 | 38.0 | 41.2 | 41.4 | 41.4 | 46.0 |
| 1939 | 13.8 | 17.4 | 19.0 | 30.0 | 34.6 | 1975 | 16.8 | 30.6 | 34.4 | 51.8 | 58.0 |
| 1940 | 11.0 | 20.6 | 23.0 | 34.0 | 41.6 | 1976 | 12.0 | 16.2 | 17.8 | 26.8 | 33.8 |
| 1941 | 11.6 | 17.0 | 22.6 | 31.8 | 41.6 | 1977 | 28.4 | 35.6 | 36.0 | 36.2 | 36.6 |
| 1948 | 40.4 | 45.6 | 45.6 | 45.6 | 52.2 | 1978 | 56.4 | 58.8 | 58.8 | 58.8 | 58.8 |
| 1949 | 55.8 | 69.2 | 107.8 | 134.0 | 136.8 | 1979 | 26.0 | 29.4 | 35.0 | 40.0 | 70.4 |
| 1952 | 23.0 | 42.4 | 45.6 | 55.4 | 61.2 | 1980 | 27.0 | 31.8 | 35.2 | 50.8 | 72.8 |
| 1953 | 17.0 | 20.0 | 26.6 | 40.4 | 65.4 | 1981 | 26.6 | 30.4 | 30.4 | 30.6 | 30.6 |
| 1954 | 16.8 | 26.4 | 35.6 | 42.6 | 63.2 | 1982 | 16.6 | 20.0 | 27.6 | 30.6 | 36.0 |
| 1955 | 39.8 | 48.6 | 55.2 | 58.2 | 68.0 | 1983 | 16.0 | 25.0 | 41.0 | 78.0 | 94.2 |
| 1956 | 15.4 | 21.9 | 40.8 | 71.6 | 94.6 | 1985 | 15.0 | 25.4 | 46.0 | 80.6 | 100.2 |
| 1958 | 20.2 | 25.6 | 31.8 | 37.4 | 41.8 | 1987 | 39.0 | 56.6 | 56.6 | 57.6 | 57.8 |
| 1959 | 17.0 | 28.0 | 42.4 | 49.0 | 53.6 | 1988 | 17.0 | 20.8 | 40.8 | 53.8 | 54.2 |
| 1960 | 25.0 | 36.8 | 40.2 | 45.6 | 51.6 | 1989 | 45.0 | 47.0 | 47.4 | 47.4 | 47.4 |
| 1961 | 21.8 | 54.0 | 79.0 | 92.2 | 95.0 | 1990 | 13.8 | 29.8 | 52.2 | 72.4 | 100.2 |
| 1962 | 18.4 | 24.0 | 27.6 | 27.6 | 38.4 | 1991 | 12.0 | 24.6 | 39.4 | 62.8 | 67.2 |
| 1964 | 49.4 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 65.0 | 1993 | 29.0 | 47.4 | 47.4 | 47.4 | 49.2 |
| 1965 | 9.6 | 15.4 | 23.0 | 30.2 | 65.0 | 1995 | 18.6 | 20.2 | 32.2 | 35.0 | 39.2 |
| 1966 | 16.0 | 23.6 | 33.2 | 38.8 | 49.6 | 1996 | 12.2 | 23.6 | 40.2 | 42.6 | 42.6 |
| 1967 | 18.8 | 21.6 | 21.6 | 34.4 | 43.6 | 1998 | 16.2 | 20.0 | 28.2 | 50.6 | 54.8 |
| 1968 | 32.6 | 34.6 | 37.0 | 63.4 | 70.4 | 1999 | 30.0 | 43.8 | 47.8 | 50.4 | 55.8 |
| 1969 | 33.6 | 35.6 | 35.6 | 35.6 | 40.0 | 2000 | 18.2 | 27.2 | 42.6 | 55.2 | 55.4 |

Tab. 8 – Stazione pluviometrica di Monteleone di Puglia: altezza di pioggia per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore (periodo 1936-2000).

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

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

A denominatore si ha $N+1$ in luogo di N per evitare che il più grande evento verificatosi sia caratterizzato da una frequenza cumulata di non superamento pari a 1: valore che rappresenta l'evento impossibile da superare.

Il metodo di Gumbel per la stima dei parametri della distribuzione si fonda sull'ipotesi di confondere la probabilità di non superamento di una certa altezza di precipitazione (relativa ad una popolazione) con la sua frequenza cumulata di non superamento (che si riferisce, invece ad un campione della popolazione suddetta), cioè:

$$F(h_i) \cong F_i$$

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

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

Con questa assunzione, la variabile ridotta y dipende solamente da h con la relazione lineare:

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

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

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

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

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

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

E' stata quindi ricavata l'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 $j(T_r, \tau)$ è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

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

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

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

| Stazione Pluviometrica - SAVIGNANO IRPINO | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| ANNO | ORE | | | | | ANNO | ORE | | | | |
| | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 | | 1 | 3 | 6 | 12 | 24 |
| | mm | mm | mm | mm | mm | | mm | mm | mm | mm | mm |
| 1932 | 20.4 | 20.4 | 21.8 | 24.2 | 37.4 | 1976 | 18.8 | 21.6 | 24.8 | 26.2 | 40.4 |
| 1933 | 20.0 | 31.0 | 31.0 | 31.0 | 31.0 | 1977 | 12.4 | 14.6 | 17.8 | 31.2 | 36.6 |
| 1934 | 39.2 | 41.0 | 41.6 | 43.2 | 47.2 | 1978 | 16.0 | 20.4 | 25.2 | 36.0 | 51.8 |
| 1935 | 17.0 | 21.2 | 22.2 | 32.6 | 43.8 | 1979 | 20.8 | 23.0 | 23.6 | 24.8 | 46.6 |
| 1936 | 31.8 | 44.4 | 45.4 | 48.2 | 56.4 | 1980 | 13.0 | 25.6 | 35.6 | 51.4 | 54.8 |
| 1949 | 20.0 | 36.0 | 60.0 | 85.2 | 87.6 | 1981 | 26.2 | 26.2 | 26.2 | 26.2 | 32.4 |
| 1952 | 27.6 | 36.8 | 38.2 | 39.6 | 42.4 | 1982 | 32.0 | 37.4 | 45.2 | 46.8 | 48.6 |
| 1953 | 29.0 | 30.6 | 32.2 | 33.2 | 36.2 | 1983 | 17.0 | 17.8 | 23.6 | 30.4 | 38.4 |
| 1955 | 23.2 | 34.8 | 40.6 | 41.6 | 48.0 | 1984 | 16.4 | 22.6 | 32.4 | 42.4 | 45.6 |
| 1957 | 14.2 | 15.0 | 20.4 | 33.4 | 44.6 | 1985 | 25.4 | 30.6 | 45.2 | 81.6 | 100.4 |
| 1965 | 12.0 | 18.6 | 24.0 | 35.6 | 70.0 | 1986 | 43.0 | 75.0 | 75.0 | 75.0 | 75.0 |
| 1967 | 20.0 | 24.6 | 37.0 | 37.2 | 64.4 | 1991 | 52.0 | 67.0 | 67.6 | 67.8 | 67.8 |
| 1970 | 30.0 | 38.4 | 45.4 | 49.6 | 78.0 | 1996 | 58.2 | 62.4 | 62.4 | 62.4 | 62.6 |
| 1971 | 14.6 | 22.6 | 39.4 | 62.6 | 83.0 | 1998 | 14.8 | 16.8 | 28.2 | 45.4 | 46.6 |
| 1972 | 35.2 | 39.4 | 40.6 | 40.6 | 40.8 | 2000 | 15.8 | 28.8 | 29.4 | 38.6 | 38.6 |
| 1974 | 22.0 | 36.0 | 46.6 | 51.2 | 52.2 | | | | | | |

Tab. 9 – Stazione pluviometrica di Savignano Irpino: altezza di pioggia per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore (periodo 1932-2000).

| | | | | | | |
|--|--|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0001 001 | REV. A |

Nella tabella seguente sono indicati i valori dei parametri a e n delle CPP adottate, per i diversi tempi di ritorno considerati, relativamente alle stazioni pluviometriche in esame.

| Tempo di ritorno (anni) | 500 | | 300 | | 200 | | 30 | |
|--------------------------------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|-----------|----------|
| Stazione | a | n | a | n | a | n | a | n |
| <i>Bovino</i> | 70.36 | 0.2223 | 66.25 | 0.2246 | 62.99 | 0.2266 | 47.68 | 0.2396 |
| <i>Savignano Irpino</i> | 76.28 | 0.1682 | 71.55 | 0.1708 | 67.80 | 0.1732 | 50.12 | 0.1885 |
| <i>Monteleone di Puglia</i> | 72.71 | 0.2324 | 68.25 | 0.2344 | 64.70 | 0.2362 | 48.00 | 0.2477 |
| <i>Faeto</i> | 52.47 | 0.3418 | 49.64 | 0.3414 | 47.39 | 0.3412 | 36.79 | 0.3392 |
| <i>Orsara di Puglia</i> | 57.77 | 0.2832 | 54.80 | 0.2841 | 52.44 | 0.2849 | 41.37 | 0.2896 |

Tab. 10 – Valori dei parametri a e n per le stazioni pluviometriche considerate.

L'altezza di pioggia (ragguagliata all'area) può essere valutata mediante l'applicazione del metodo dei poligoni di Thiessen (o dei topoieti). In particolare, il volume di pioggia (V_p) caduto all'interno di un poligono di Thiessen o topoieto è uguale all'altezza di precipitazione misurata nella relativa stazione pluviometrica per l'area del poligono.

Il volume di pioggia caduto sull'intero bacino sarà quindi fornito dalla somma dei prodotti di cui prima con l'avvertenza che, per quei topoieti che parzialmente ricadono fuori dalla regione in esame, si dovrà considerare solo l'area della porzione del poligono o del topoieto che appartiene al bacino:

$$V_p = \sum_{i=1}^N h_i (\Omega_i \cap S)$$

in cui i è il generico topoieto/poligono di Thiessen; N , il numero dei topoieti; h_i , l'altezza di pioggia misurata nella stazione; Ω_i è l'area del topoieto; S , la superficie del bacino. Quindi, l'altezza di pioggia (h) ragguagliata all'area può essere dedotta come $h = V_p/S$.

4.2 Analisi delle registrazioni idrometriche

Sono stati considerati i valori delle portate giornaliere massime annuali, negli anni **1951 – 2012**, registrati presso la stazione idrometrica di Incoronata, situata ad una distanza di circa 20 km da Bovino e circa 30 km da Orsara (Fig. 5).

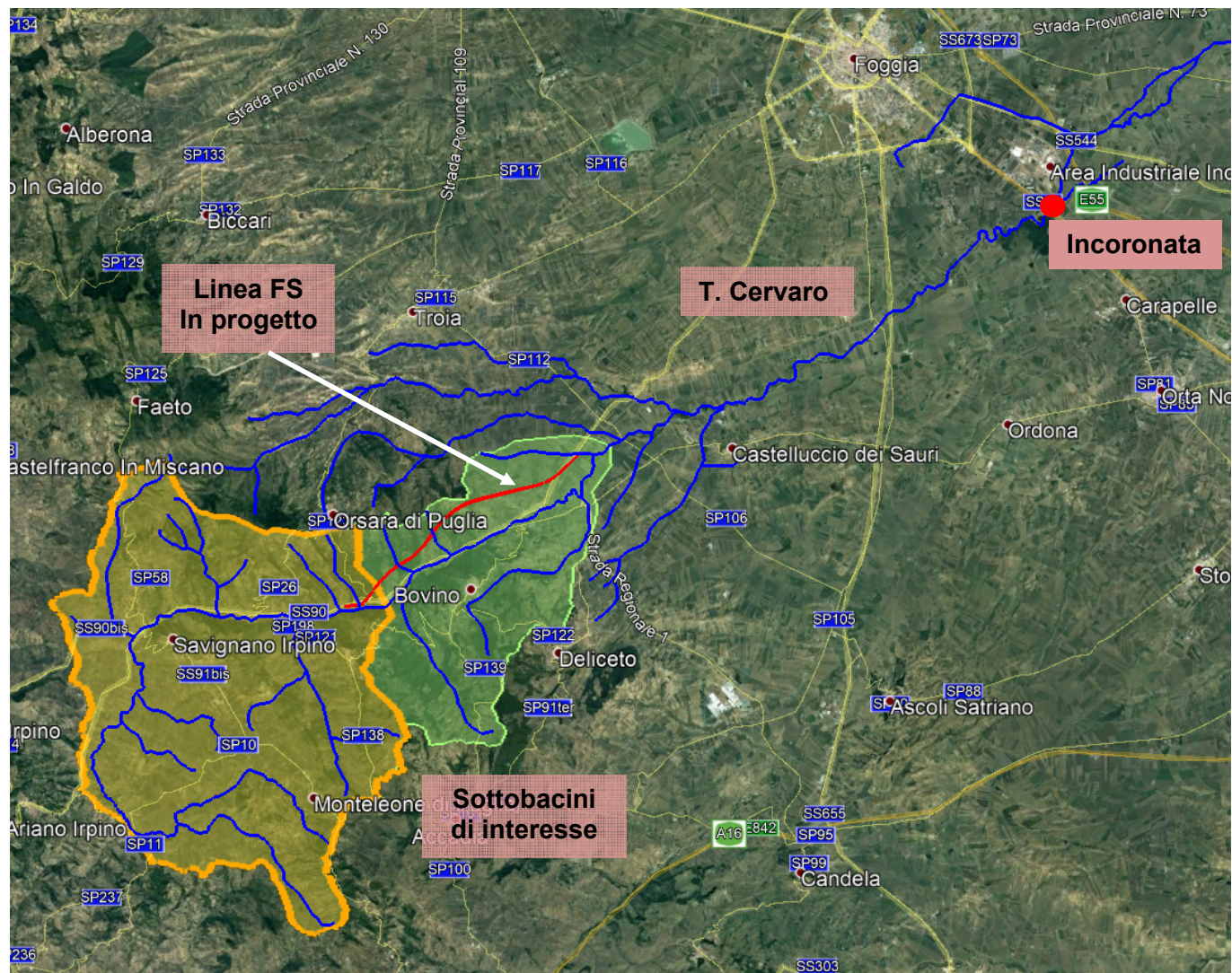


Fig. 5 – Torrente Cervaro: stazione idrometrica di Incoronata.

Di seguito, i dati idrometrici presi in esame in forma tabellare e grafica (fonte: Annali Idrologici pubblicati dal Servizio Idrografico del Ministero dei LL.PP.).

| ANNO | Q _{maxg} [m ³ /s] | ANNO | Q _{maxg} [m ³ /s] | ANNO | Q _{maxg} [m ³ /s] | ANNO | Q _{maxg} [m ³ /s] |
|------|--|------|--|------|--|------|--|
| 1951 | 44.50 | 1964 | 101.00 | 1977 | 32.00 | 1992 | 173.00 |
| 1952 | 13.80 | 1965 | 148.00 | 1978 | 163.00 | 1994 | 26.80 |
| 1953 | 95.70 | 1966 | 38.30 | 1979 | 159.00 | 1996 | 27.80 |
| 1954 | 56.10 | 1967 | 26.10 | 1980 | 110.00 | 1997 | 45.80 |
| 1955 | 116.00 | 1968 | 162.00 | 1981 | 65.10 | 1998 | 31.00 |
| 1956 | 134.00 | 1969 | 96.20 | 1982 | 56.00 | 1999 | 58.70 |
| 1957 | 244.00 | 1970 | 44.70 | 1983 | 44.50 | 2000 | 49.50 |
| 1958 | 71.30 | 1971 | 72.60 | 1984 | 182.00 | 2001 | 14.50 |
| 1959 | 80.30 | 1972 | 56.50 | 1985 | 142.00 | 2002 | 24.00 |
| 1960 | 57.70 | 1973 | 62.80 | 1988 | 51.50 | 2011 | 120.50 |
| 1961 | 228.00 | 1974 | 69.60 | 1989 | 11.00 | 2012 | 34.30 |
| 1962 | 77.80 | 1975 | 92.70 | 1990 | 10.40 | | |
| 1963 | 114.00 | 1976 | 135.00 | 1991 | 152.00 | | |

Tab. 11 – Stazione idrometrica di Incoronata: valori di portata giornaliera massima annuale (periodo: 1951-2012).

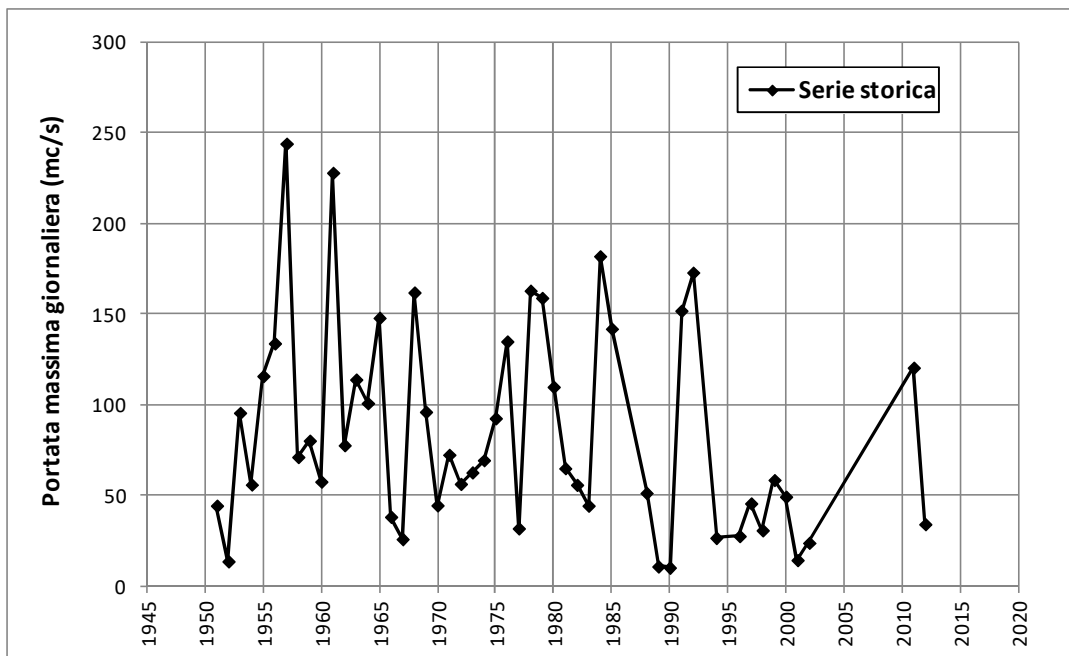


Fig. 6 – Stazione idrometrica di Incoronata: serie storica dei valori di portata massima giornaliera annuale (periodo: 1951-2012).

Per l'analisi statistica delle portate, sono stati quindi calcolati dapprima la media (μ) e lo scarto quadratico medio (σ) del campione dei dati: $\mu = 84.50$ mc/s; $\sigma = 56.7$.

Sono state quindi considerate le seguenti distribuzioni di probabilità:

- *Gumbel*

$$Q_{\max, g} = \xi - \frac{1}{\alpha} \left\{ \ln \left[\ln \left(\frac{TR}{TR - 1} \right) \right] \right\}$$

con $Q_{\max, g}$ = portata massima giornaliera, corrispondente ad un determinato tempo di ritorno TR (non la portata che mediamente viene uguagliata o superata ogni TR anni, ma la media di tutte le portate che possono superare quest'ultima); $\xi = \mu - 0.45 \cdot \sigma$, $\alpha = 1.283/\sigma$.

- *Fuller & Coutagne*

$$Q_{\max, g} = q \cdot \left\{ 1 + \frac{1}{b \cdot q} \log_{10} [TR] \right\}$$

con $q = \mu \cdot \sigma$, $b = 0.434/\sigma$.

Sono stati dunque ricavati i valori di portata ($Q_{\max, g}$), per differenti tempi di ritorno (Tab. 12), secondo le distribuzioni di probabilità considerate, in corrispondenza della sezione di chiusura presso la stazione di Incoronata, che sottende un bacino di 657 km². La portata al colmo corrispondente ad un determinato tempo di ritorno (Q_{TR}) può essere valutata ricorrendo a formule empiriche, disponibili nella letteratura tecnica, che in dipendenza della superficie del bacino (S) sottesa alle sezione di chiusura, permettono di valutare il cosiddetto coefficiente di punta: $C = Q_{TR}/Q_{\max, g}$. In particolare, sono state considerate le seguenti formulazioni:

- *Fuller & Tonini*

$$C = \frac{Q_{TR}}{Q_{\max, g}} = 1 + 68 \cdot S^{-0.5}$$

- *Cotecchia*

$$C = \frac{Q_{TR}}{Q_{\max, g}} = \begin{cases} 32 \cdot S^{-0.313}, & \text{per } S > 120 - 140 \text{ km}^2 \\ 16 \cdot S^{-0.19}, & \text{per } S < 120 - 140 \text{ km}^2 \end{cases}$$

da cui $C = 3.65$, secondo la formula di Fuller & Tonini; $C = 4.20$, secondo la formula di Cotecchia.

| TR | Gumbel | Fuller |
|------------|-----------------------|-----------------------|
| (anni) | $Q_{max,g}$ (mc/s) | $Q_{max,g}$ (mc/s) |
| 5 | 125.3 | 119.10 |
| 30 | 208.6 | 220.81 |
| 50 | 231.5 | 249.81 |
| 100 | 262.3 | 289.15 |
| 200 | 293.1 | 328.50 |
| 300 | 311.1 | 351.52 |
| 500 | 333.7 | 380.52 |
| 600 | 341.7 | 390.87 |
| 800 | 354.5 | 407.20 |
| 1000 | 364.3 | 419.86 |

Tab. 12 – Stazione idrometrica di Inconronata: valori di portata $Q_{max,g}$, per differenti tempi di ritorno, secondo le distribuzioni di probabilità di Gumbel e Fuller.

In definitiva, come coefficiente di punta è stato assunto un valore pari alla media dei valori ottenuti con le predette espressioni, ossia $C = 3.93$.

Il valore della portata Q_{TR} per diversi tempi di ritorno è stato calcolato (per ogni tempo di ritorno) considerando i valori di $Q_{max,g}$ calcolati secondo le distribuzioni di Gumbel e Fuller (Tab. 12), e moltiplicando questi ultimi per il coefficiente di punta C sopra determinato. I valori ottenuti, unitamente al valore della portata specifica, sono riportati nelle tabelle seguenti.

| TR (anni) | Portata al colmo (Fuller) | | |
|--------------|---------------------------|------------------|-----------------------------|
| | $Q_{max,g}$ mc/s | Q_{TR} mc/s | $q = Q_{max}/S$ mc/s Kmq |
| 5 | 119.1 | 467.62 | 0.71 |
| 30 | 220.8 | 867.0 | 1.31 |
| 50 | 249.8 | 980.86 | 1.49 |
| 100 | 289.2 | 1135.35 | 1.72 |
| 200 | 328.5 | 1289.85 | 1.96 |
| 300 | 351.5 | 1380.23 | 2.10 |
| 500 | 380.5 | 1494.09 | 2.27 |

Tab. 13 – Stazione idrometrica di Inconronata: valori di portata massima giornaliera, al colmo e specifica, per differenti tempi di ritorno, secondo la distribuzione di Fuller.

| TR (anni) | Portata al colmo (Gumbel) | | |
|--------------|---------------------------|------------------|---|
| | $Q_{max,g}$ mc/s | Q_{TR} mc/s | $q = Q_{max}/S$ mc/s Km ² |
| 5 | 125.3 | 491.80 | 0.75 |
| 30 | 208.6 | 818.95 | 1.25 |
| 50 | 231.5 | 908.82 | 1.38 |
| 100 | 262.3 | 1030.03 | 1.57 |
| 200 | 293.1 | 1150.81 | 1.75 |
| 300 | 311.1 | 1221.35 | 1.86 |
| 500 | 333.7 | 1310.15 | 1.99 |

Tab. 14 – Stazione idrometrica di Incoronata: valori di portata massima giornaliera, al colmo e specifica, per differenti tempi di ritorno, secondo la distribuzione di Gumbel.

4.3 Stima delle portate al colmo


Il calcolo delle portate al colmo di progetto è stato effettuato secondo i seguenti approcci:

- Metodo razionale, sulla base delle curve di possibilità pluviometrica derivanti dall'analisi di frequenza regionale (metodologia Va.Pi. Puglia) e dall'elaborazione statistica dei dati di pioggia registrati presso le stazioni di misura di Bovino, Orsara di Puglia, Faeto, Monteleone di Puglia, Savignano Irpino;
- Metodo di Nash, sulla base delle curve di possibilità pluviometrica derivanti dall'analisi di frequenza regionale (metodologia Va.Pi. Puglia);
- Elaborazione statistica delle registrazioni idrometriche, con riferimento alla sezione di chiusura dei sottobacini di interesse.

4.3.1 Metodo razionale

Il metodo razionale o cinematico costituisce uno dei metodi più comuni per il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione incidente su un determinato bacino. Il metodo si basa sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

1. la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;

| | | | | | | |
|---|--|---------|----------|------------|------|----------|
|  | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | IF1W | 00 D 09 | RI | ID0001 001 | A | 29 di 38 |

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

La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è pari a:

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

in cui Q_{\max} = portata di piena [m^3/sec]; φ = coefficiente di deflusso; h = pioggia netta [m]; S = area del bacino [km^2]; τ_c = tempo di corrivazione [ore]. La determinazione del tempo di corrivazione può farsi mediante alcune classiche formule empiriche di uso comune; in particolare, per il sottobacino del T. Cervaro in esame, dalla notevole estensione (205 kmq circa), può essere applicata la ben nota formula di Giandotti:

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

con S = area del bacino [km^2]; L = lunghezza dell'asta principale [km]; h_m = altitudine media del bacino imbrifero sotteso [m s.m.m.]; h_0 = quota della sezione di chiusura del bacino [m s.m.m.]. In analogia con le analisi condotte dall'AdB Puglia, nel presente studio è stata applicata la relazione, precedentemente introdotta, per il calcolo del tempo di ritardo caratteristico del bacino, da cui $\tau_c = t_r = 4.9$ ore, relativamente al sottobacino 1 (Orsara) e $\tau_c = t_r = 5.9$ ore, relativamente al sottobacino 2 (Bovino).

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

In particolare, in relazione alle formazioni geologiche presenti, assumendo una classe di umidità media (II) e una categoria del suolo D, si ottiene CN (medio) pari a 84 per il sottobacino 1 (Orsara) e CN = 82, per il sottobacino 2 (Bovino).

RELAZIONE IDROLOGICA

| | | | | | |
|----------|---------|----------|------------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| IF1W | 00 D 09 | RI | ID0001 001 | A | 30 di 38 |

| Codice Uso del Suolo (UDS) | UDS | A | B | C | D | Codice Uso del Suolo (UDS) | UDS | A | B | C | D |
|---------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|---------------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|
| AREE PORTUALI | 123 | 98 | 98 | 98 | 98 | PRATI ARTIFICIALI, COLTURE | | | | | |
| AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI | 124 | 92 | 93 | 94 | 95 | FORAGGERE OVE SI PUO RICONOSCERE | | | | | |
| AREE ESTRATTIVE | 131 | 89 | 92 | 94 | 95 | UNA SORTA DI AVVICINAMENTO CON I | | | | | |
| DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI | 132 | 90 | 92 | 94 | 95 | SEMINATIVI E UNA CERTA | | | | | |
| CANTIERI | 133 | 90 | 92 | 94 | 95 | PRODUTTIVITA, SONO SEMPRE | | | | | |
| AREE VERDI URBANE | 141 | 65 | 74 | 81 | 84 | POTENZIALMENTE RICONVERTITI A | | | | | |
| CIMITERI | 143 | 57 | 77 | 85 | 89 | SEMINATIVO, POSSONO ESSERE | | | | | |
| VIGNETI | 221 | 72 | 81 | 88 | 91 | RICONOSCIBILI MURETTI O MANUFATTI | 2112 | 67 | 71 | 81 | 89 |
| FRUTTEI E FRUTTI MINORI | 222 | 67 | 78 | 85 | 89 | SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE | | | | | |
| OLIVETI | 223 | 72 | 81 | 88 | 91 | ORTICOLE A PIENO CAMPO | 2121 | 66 | 77 | 85 | 89 |
| ARBORICOLTURA CON ESSENZE | | | | | | RISAIE | 2122 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| FORESTALI | 224 | 67 | 78 | 85 | 89 | VIVAI | 2123 | 66 | 77 | 85 | 89 |
| PRATI STABILI | 231 | 67 | 71 | 81 | 89 | COLTURA IN SERRA | 2124 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE A | | | | | | COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE | | | | | |
| COLTURE PERMANENTI | 241 | 59 | 74 | 82 | 86 | ALL'OLIVO | 2411 | 59 | 74 | 82 | 86 |
| SISTEMI CULTURALI E PARTICELLARI | | | | | | COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL | | | | | |
| COMPLESSI | 242 | 63 | 73 | 82 | 88 | VIGNETO | 2412 | 59 | 74 | 82 | 86 |
| AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA | | | | | | COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD | | | | | |
| COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI | | | | | | ALTRE COLTURE PERMANENTI (PASCOLI | | | | | |
| SPAZI NATURALI IMPORTANTI | 243 | 62 | 71 | 78 | 81 | E SEMINATIVI ARBORATI CON | | | | | |
| AREE AGROFORESTALI | 244 | 45 | 66 | 77 | 83 | COBERTURA DELLA SUGHERA DAL 5 AL | 2413 | 59 | 74 | 82 | 86 |
| BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGLIE | 313 | 39 | 51 | 63 | 70 | 25%) | | | | | |
| AREE A PASCOLO NATURALE | 321 | 67 | 71 | 81 | 89 | BOSCO DI LATIFOGLIE | 3111 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| SPIAGGE DUNE E SABBIE | 331 | 56 | 73 | 82 | 86 | ARBORICOLTURA CON ESSENZE | | | | | |
| PARETI ROCCIOSE E FALESIE | 332 | 98 | 98 | 98 | 98 | FORESTALI (LATIFOGLIE) | 3112 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| AREE CON VEGETAZIONE RADA | 333 | 70 | 75 | 84 | 90 | BOSCHI DI CONIFERE | 3121 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| PALUDI INTERNE | 411 | 100 | 100 | 100 | 100 | CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO | 3122 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| PALUDI SALMASTRE | 421 | 100 | 100 | 100 | 100 | FORMAZIONI VEGETALI BASSE E CHIUSE, | | | | | |
| SALINE | 422 | 100 | 100 | 100 | 100 | STABILI, COMPOSTE PRINCIPALMENTE DI | | | | | |
| ZONE INTERTIDALI | 423 | 98 | 98 | 98 | 98 | CESPUGLI, ARBUSTI E PIANTE ERBACEE | | | | | |
| LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI | 521 | 100 | 100 | 100 | 100 | (ERICHE, ROVI, GINESTRE, GINEPRI NANI | | | | | |
| MARI | 523 | 100 | 100 | 100 | 100 | ECC.) | 3221 | 51 | 58 | 73 | 80 |
| TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E | | | | | | FORMAZIONI DI RIPANON ARBOREE | 3222 | 51 | 58 | 73 | 80 |
| DENSO | 1111 | 89 | 92 | 94 | 96 | MACCHIA MEDITERRANEA | 3231 | 51 | 58 | 73 | 80 |
| TESSUTO RESIDENZIALE RADO | 1112 | 78 | 80 | 85 | 87 | GARIGA | 3232 | 51 | 58 | 73 | 80 |
| TESSUTO RESIDENZIALE RADO E | | | | | | AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE | 3241 | 45 | 55 | 68 | 75 |
| NUCLEIFORME A CARATTERE | | | | | | AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE | 3242 | 45 | 55 | 68 | 75 |
| RESIDENZIALE E SUBURBANO | 1121 | 74 | 75 | 78 | 80 | SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M | 3311 | 56 | 73 | 82 | 86 |
| TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE SPARSO E | | | | | | AREE DUNALI NON COPERTE DA | | | | | |
| FABBRICATI RURALI A CARATTERE | | | | | | VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE | 3312 | 56 | 73 | 82 | 86 |
| TIPICAMENTE AGRICOLO O RURALE | 1122 | 65 | 67 | 70 | 72 | A 25M | | | | | |
| INSEDIAMENTI INDUSTRIALI/ARTIG. E | | | | | | AREE DUNALI CON COPERTURA | | | | | |
| COMM. E SPAZI ANNESSI | 1211 | 89 | 92 | 94 | 95 | VEGETALE CON AMPIEZZA SUPERIORE A | 3313 | 56 | 73 | 82 | 86 |
| INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI | | | | | | 25 M | | | | | |
| SERVIZI | 1212 | 89 | 92 | 94 | 95 | LETTI ASCIUTTI DI TORRENTI DI | | | | | |
| RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI | | | | | | AMPIEZZA SUPERIORE A 25M | 3315 | 56 | 73 | 82 | 86 |
| (SVINCOLI, STAZIONI DI SERVIZIO, AREE | | | | | | FIUMI, TORRENTI E FOSSI | 5111 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| DI PARCHEGGIO ECC.) | 1221 | 98 | 98 | 98 | 98 | CANALI E IDROVIE | 5112 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| RETI FERROVIARIE COMPRESSE LE | | | | | | BACINI NATURALI | 5121 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| SUPERFICI ANNESSE (STAZIONI, | | | | | | BACINI ARTIFICIALI | 5122 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| SMISTAMENTI, DEPOSITI ECC.) | 1222 | 96 | 96 | 96 | 96 | LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI A | | | | | |
| GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO | | | | | | PRODUZIONE ITTICA NATURALE | 5211 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| E SMISTAMENTO MERCI (INTERPORTI E | | | | | | ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E | | | | | |
| SIMILI) | 1223 | 92 | 93 | 94 | 95 | STAGNI COSTIERI | 5212 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI | | | | | | ESTUARI E DELTA | 5213 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| DISTRIBUZIONE | | | | | | AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA | | | | | |
| (TELECOMUNICAZIONI/ENERGIA/IDRICHE) | 1224 | 92 | 93 | 94 | 95 | NATURALE | 5231 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| DISCARICHE | 1321 | 90 | 92 | 94 | 95 | ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO | 5232 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, | | | | | | PIOPPETTI, SALICETI, EUCALITTETI ECC. | | | | | |
| CIMITERI DI AUTOVEICOLI | 1322 | 90 | 92 | 94 | 95 | ANCHE IN FORMAZIONI MISTE | 31121 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| AREE RICREATIVE E SPORTIVE | 1421 | 70 | 78 | 83 | 88 | SUGHERETE | 31122 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| AREE ARCHEOLOGICHE | 1422 | 49 | 69 | 79 | 84 | CASTAGNETI DA FRUTTO | 31123 | 39 | 51 | 63 | 70 |
| SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE | 2111 | 58 | 72 | 81 | 85 | ALTRO | 31124 | 39 | 51 | 63 | 70 |

Tab. 15 – Valori del Curve Number (CN) per le differenti coperture del suolo del CLC (Elaborazione ADIS).

Quindi con riferimento al metodo del Soil Conservation Service (SCS), il coefficiente di deflusso (φ) può essere valutato come segue:

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

con P = altezza di pioggia di progetto corrispondente ad un tempo di ritorno TR e una durata τ_c ; $P_e = (P - 0.2 \cdot S)^2 / (P + 0.8 \cdot S)$; $S = 254 \cdot (100 / CN - 1)$.

Adottando le curve di possibilità pluviometrica derivanti dalla metodologia Va.Pi. si ottengono i valori di portata al colmo riportati nello studio dell'AdB Puglia sopra illustrato (Tab. 2).

Con riferimento invece ai risultati delle analisi statistiche eseguite con il metodo di Gumbel delle registrazioni pluviometriche delle stazioni di misura precedentemente descritte (Paragrafo 4.1.2), nella tabella seguente sono riportati i valori di altezza di pioggia (di durata pari al tempo di ritardo t_r), per vari tempi di ritorno, relativi alle stazioni pluviometriche considerate, unitamente all'area del poligono di Thiessen corrispondente, per i due sottobacini in esame.

| Stazione | Area Poligono Thiessen (kmq) | $h(\text{TR}30, t_r)$ [mm] | $h(\text{TR}200, t_r)$ [mm] | $h(\text{TR}300, t_r)$ [mm] | $h(\text{TR}500, t_r)$ [mm] |
|----------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Bovino | 3.6 | 69.82 | 90.36 | 94.73 | 100.23 |
| Savignano Irpino | 100.1 | 67.66 | 89.32 | 93.91 | 99.70 |
| Monteleone di Puglia | 66.05 | 71.20 | 94.24 | 99.12 | 105.27 |
| Faeto | 11.1 | 63.13 | 81.59 | 85.48 | 90.41 |
| Orsara di Puglia | 23.2 | 65.61 | 82.54 | 86.15 | 90.68 |

Tab. 16 – Sottobacino 1 (Orsara): valori dell'altezza di pioggia, per vari tempi di ritorno, relativi alle stazioni pluviometriche considerate.

| Stazione | Area Poligono Thiessen (kmq) | $h(\text{TR}30, t_r)$ [mm] | $h(\text{TR}200, t_r)$ [mm] | $h(\text{TR}300, t_r)$ [mm] | $h(\text{TR}500, t_r)$ [mm] |
|----------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Bovino | 93.4 | 73.06 | 94.33 | 98.85 | 104.54 |
| Savignano Irpino | 100.1 | 70.12 | 92.30 | 97 | 102.93 |
| Monteleone di Puglia | 66.05 | 74.62 | 98.55 | 103.62 | 110.01 |
| Faeto | 11.1 | 67.32 | 87.04 | 91.19 | 96.46 |
| Orsara di Puglia | 27.4 | 69.31 | 87.12 | 90.91 | 95.68 |

Tab. 17 – Sottobacino 2 (Bovino): valori dell'altezza di pioggia, per vari tempi di ritorno, relativi alle stazioni pluviometriche considerate.

Applicando il metodo dei topoi o dei poligoni di Thiessen, introdotto in precedenza, sono stati quindi ottenuti i seguenti valori di altezza di pioggia (ragguagliata all'area del bacino), per vari tempi di ritorno dell'evento pluviometrico.

| $h(\text{TR}30, t_r)$ [mm] | $h(\text{TR}200, t_r)$ [mm] | $h(\text{TR}300, t_r)$ [mm] | $h(\text{TR}500, t_r)$ [mm] |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 68.36 | 89.74 | 94.27 | 99.98 |

Tab. 18 – Sottobacino 1 (Orsara): valori dell'altezza di pioggia (ragguagliata all'area) per una durata pari a t_r , al variare del tempo di ritorno.

| $h(\text{TR}30, t_r)$ [mm] | $h(\text{TR}200, t_r)$ [mm] | $h(\text{TR}300, t_r)$ [mm] | $h(\text{TR}500, t_r)$ [mm] |
|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 71.86 | 93.65 | 98.27 | 104.1 |

Tab. 19 – Sottobacino 2 (Bovino): valori dell'altezza di pioggia (ragguagliata all'area) per una durata pari a t_r , al variare del tempo di ritorno.

Sono stati quindi calcolati i valori del coefficiente di deflusso e della portata al colmo di piena, al variare del tempo di ritorno.

| TR 30 | | TR 200 | | TR 300 | | TR 500 | |
|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|
| ϕ | Q (mc/s) | ϕ | Q (mc/s) | ϕ | Q (mc/s) | ϕ | Q (mc/s) |
| 0.47 | 373.0 | 0.56 | 578.0 | 0.57 | 623.1 | 0.59 | 681.0 |

Tab. 20 – Sottobacino 1 (Orsara): valori del coefficiente di deflusso e della portata al colmo, per i tempi di ritorno considerati.

| TR 30 | | TR 200 | | TR 300 | | TR 500 | |
|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|
| ϕ | Q (mc/s) | ϕ | Q (mc/s) | ϕ | Q (mc/s) | ϕ | Q (mc/s) |
| 0.44 | 441.0 | 0.53 | 686.3 | 0.54 | 740.6 | 0.56 | 809.9 |

Tab. 21 – Sottobacino 2 (Bovino): valori del coefficiente di deflusso e della portata al colmo, per i tempi di ritorno considerati.

4.3.2 Metodo di Nash

Il modello di Nash descrive il comportamento di un bacino idrografico mediante un numero n (parametro di forma) di invasi disposti in serie ciascuno dei quali caratterizzato da una stessa costante k (parametro di scala) di invaso. La funzione che descrive l'andamento dell'idrogramma è la seguente:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{n-1} e^{-t/k}}{k(n-1)!}$$

Ricorrendo ad una astrazione matematica, il modello di Nash può essere esteso al caso in cui il numero di serbatoi disposti in serie sia un numero reale. In tal caso la funzione fattoriale $(n-1)!$ viene sostituita con la funzione Gamma $\Gamma(\alpha)$ e la funzione $U(t)$ diventa:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{\alpha-1} e^{-t/k}}{k\Gamma(\alpha)}$$

Il tempo di ritardo ed il tempo di picco risultano pari a: $t_L = \alpha k$ e $t_p = (\alpha - 1)k$. Pertanto, ai fini della determinazione della portata al colmo e del relativo idrogramma unitario adimensionale, l'applicazione del modello di Nash richiede la conoscenza dei due parametri α (parametro di forma) e k (parametro di scala) legati al tempo di ritardo.

Per la stima di questi parametri è possibile procedere con diversi metodi, sfruttando i numerosi modelli geomorfologici disponibili in letteratura (Rodriguez et al. 1979, Rosso 1984), che sfruttano le caratteristiche del reticolo idrografico opportunamente analizzato secondo varie regole di classificazione (Strahler 1952), o più semplicemente ricorrendo alle espressioni che li correlano al più noto parametro idrologico ovvero il tempo di corrivazione del bacino ($\tau_c = t_r$, nel caso in esame).

Nella maggior parte dei casi, il parametro di forma n risulta compreso tra 2 e 3, mentre il valore del parametro di scala può essere valutato come $k = \tau_c/5$.


Nel caso in esame, sono stati adottati i seguenti parametri: $k = 0.98$ ore (sottobacino 1) e 1.19 ore (sottobacino 2), e $n = 3$, vista la forma dei sottobacini in esame che possono essere suddivisi in tre "serbatoi o invasi" disposti in serie. Quindi, con riferimento alle curve di possibilità pluviometrica derivanti dall'applicazione della metodologia Va.Pi. Puglia e considerando un coefficiente di ragguaglio all'area stimato secondo la formula precedentemente introdotta (metodologia Va.Pi. Puglia), e CN = 84 e 82, rispettivamente per i sottobacini 1 e 2 (come sopra determinati), si ottengono i seguenti valori di portata al colmo.

| TR (anni) | Q [mc/s] |
|-----------|----------|
| 30 | 337.11 |
| 200 | 569.16 |
| 300 | 620.66 |
| 500 | 685.88 |

Tab. 22 – Sottobacino 1 (Orsara): modello di Nash, valori della portata al colmo, per differenti tempi di ritorno.

| TR (anni) | Q [mc/s] |
|-----------|----------|
| 30 | 418.0 |
| 200 | 665.0 |
| 300 | 726.1 |
| 500 | 788.9 |

Tab. 23 – Sottobacino 2 (Bovino): modello di Nash, valori della portata al colmo, per differenti tempi di ritorno.

| | | | | | | |
|--|---|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0001 001 | REV. A |

4.3.3 Definizione delle portate di piena dall'analisi statistica delle registrazioni idrometriche

Per similitudine idrologica, ricorrendo alla formula di Gherardelli & Marchetti:

$$\frac{Q_a}{S_a^{-2/3}} = \frac{Q_b}{S_b^{-2/3}}$$

con Q_a e S_a , portata al colmo (determinata per i vari tempi di ritorno) e superficie del bacino sottesa alla sezione di chiusura presso la stazione di Incoronata; Q_b e S_b , portata al colmo e superficie del bacino sottesa alla sezione di chiusura di interesse, sono stati determinati i valori di portata al colmo, per differenti tempi di ritorno, per il Torrente Cervaro a Orsara (sottobacino 1) e a Bovino (sottobacino 2) (Tab. 24), secondo le distribuzioni di probabilità considerate (Gumbel, Fuller).

| TR (anni) | Sez. Stazione Incoronata (S = 657 km ²) | | Sottobacino 1 (S = 205 km ²) | | Sottobacino 2 (S = 298 km ²) | |
|--------------|--|--------------------|---|--------------------|---|--------------------|
| | Q (mc/s) Fuller | Q (mc/s) Gumbel | Q (mc/s) Fuller | Q (mc/s) Gumbel | Q (mc/s) Fuller | Q (mc/s) Gumbel |
| 30 | 867.00 | 818.95 | 398.59 | 376.50 | 511.8 | 483.4 |
| 200 | 1289.86 | 1150.81 | 592.99 | 529.07 | 761.4 | 679.3 |
| 300 | 1380.23 | 1221.35 | 634.54 | 561.50 | 814.8 | 721.0 |
| 500 | 1494.10 | 1310.15 | 686.89 | 602.32 | 882.0 | 773.4 |

Tab. 24 – Valori di portata al colmo, per differenti tempi ritorno derivanti dall'analisi statistica delle registrazioni idrometriche in corrispondenza della stazione di Incoronata e delle sezioni di chiusura di interesse.

4.3.4 Confronto tra le differenti metodologie adottate

Si riporta il confronto tra i valori di portata ricavati mediante le metodologie sopra descritte (Fig. 7), per i due sottobacini analizzati.

Le maggiori differenze tra i valori di portata al colmo ottenuti secondo i diversi approcci adottati si riscontrano per tempi di ritorno relativamente bassi (TR 30 anni); per tempi di ritorno elevati (TR 200, 300, 500 anni), con riferimento alle metodologie “Analisi Statistica Regist. Idromet. (Fuller)”, “Metodo razionale + Anal. Stat. Dati Pluviometrici (Gumbel)”, “Metodo di Nash + VaPi”, “Metodo razionale + VaPi – AdB Puglia”, si ottengono invece valori molto simili tra loro, per entrambi i sottobacini.

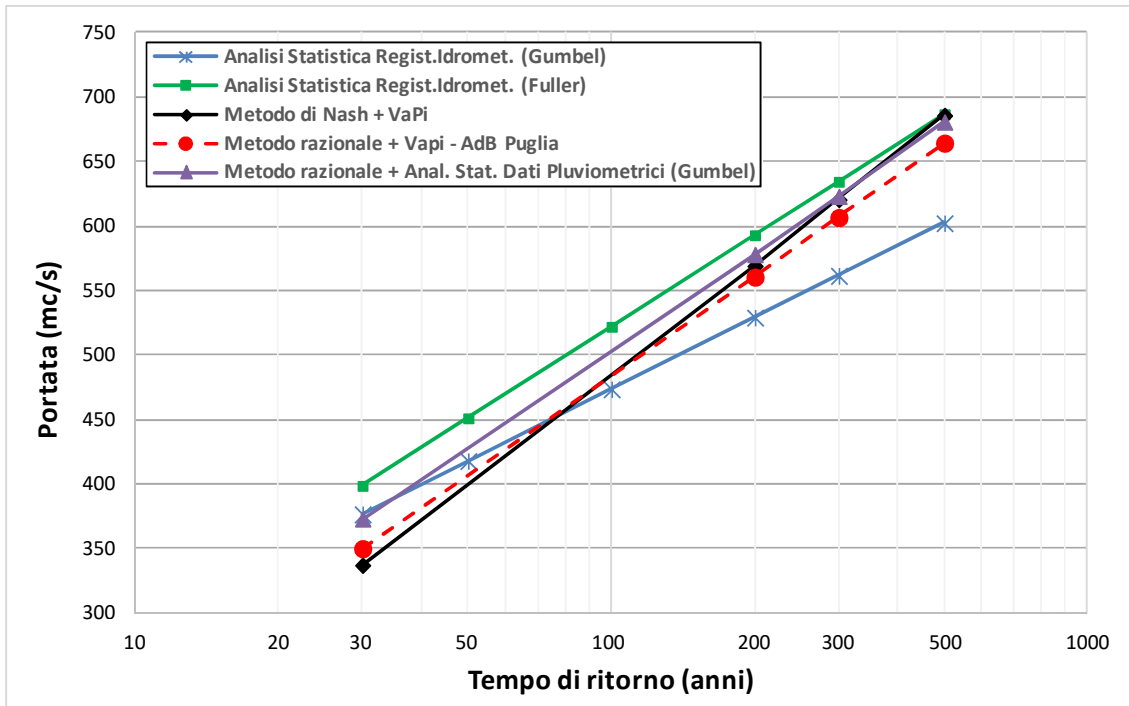


Fig. 7 – Torrente Cervaro, sottobacino 1 (Orsara): confronto tra i valori di portata al colmo ottenuti secondo differenti approcci.

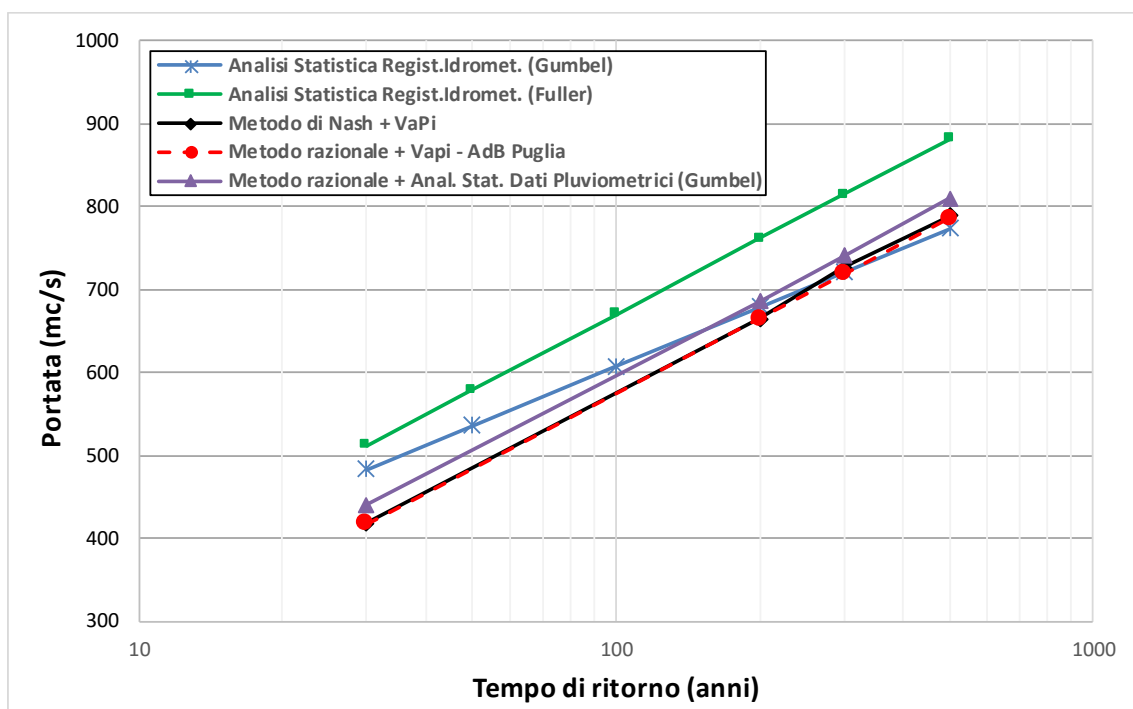


Fig. 8 – Torrente Cervaro, sottobacino 2 (Bovino): confronto tra i valori di portata al colmo ottenuti secondo differenti approcci.

| | | | | | | |
|---|--|---------|----------|------------|------|----------|
|  | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA | | | | | |
| | PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO |
| | IF1W | 00 D 09 | RI | ID0001 001 | A | 36 di 38 |

L'elaborazione statistica delle registrazioni idrometriche secondo la distribuzione di Fuller fornisce valori di portata al colmo più elevati rispetto alle altre metodologie.

Tuttavia, per la modellazione idraulica del Torrente Cervaro e le relative verifiche di compatibilità dell'intervento in progetto (che non prevede la realizzazione di opere in alveo), si è fatto riferimento ai valori di portata di piena ottenuti applicando il modello di Nash che fornisce risultati simili a quelli ricavati mediante l'applicazione del metodo razionale (entrambi sulla base delle curve di possibilità pluviometrica Va.Pi. Puglia), riportati nello studio dell'AdB Puglia, illustrato in precedenza.

4.4 Definizione degli idrogrammi di piena di progetto

Sulla base delle considerazioni precedenti, si è proceduto alla determinazione (tramite il software URBIS) degli idrogrammi di piena (per i tempi di ritorno considerati), da imporre come condizione al contorno nel modello idraulico 2D, assumendo i seguenti dati di input:

- LEGGE DI PIOGGIA: Metodologia VA.PI. Puglia

- IETOGRAMMA NETTO: rettangolare, metodo del CN (curve number) per la stima del coefficiente di deflusso, applicazione del parametro K_a (coeff. ragguglio all'area)

- MODELLO IDROGRAMMA: Nash con $n = 3$; $k = t/5$

Di seguito, gli idrogrammi di piena in corrispondenza delle sezioni di chiusura (sottobacini 1 e 2) considerate.

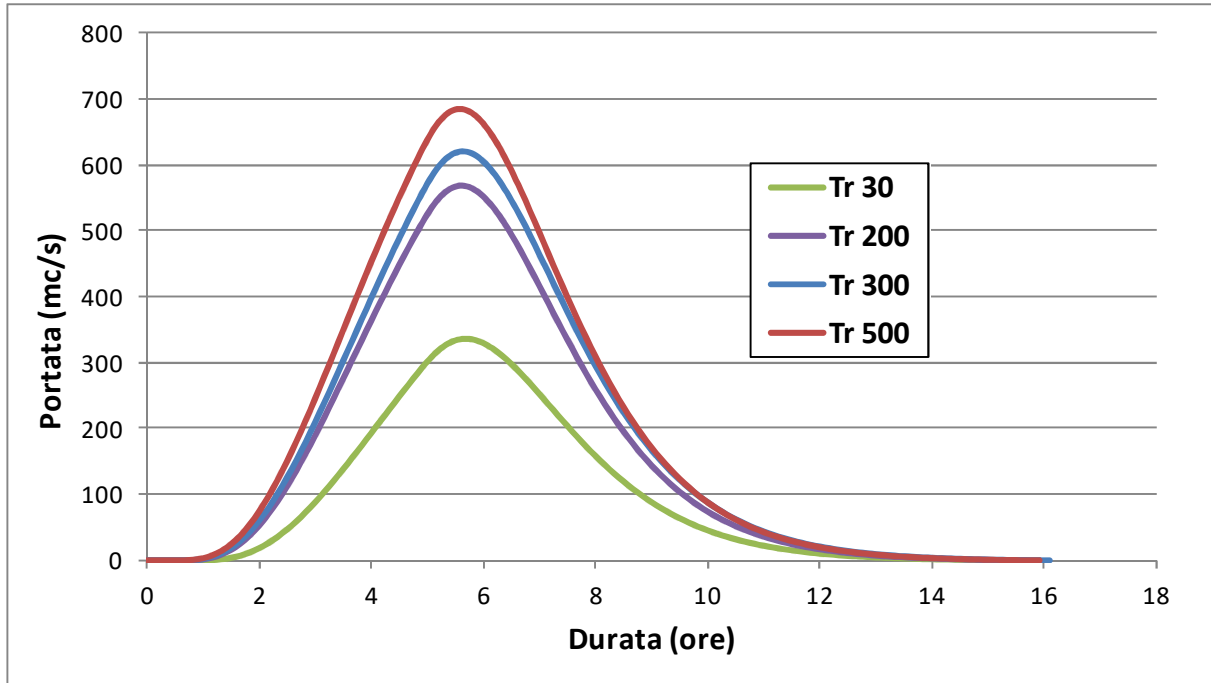


Fig. 9 – Torrente Cervaro, sottobacino 1 (Orsara): idrogrammi di piena di progetto, per differenti tempi di ritorno.

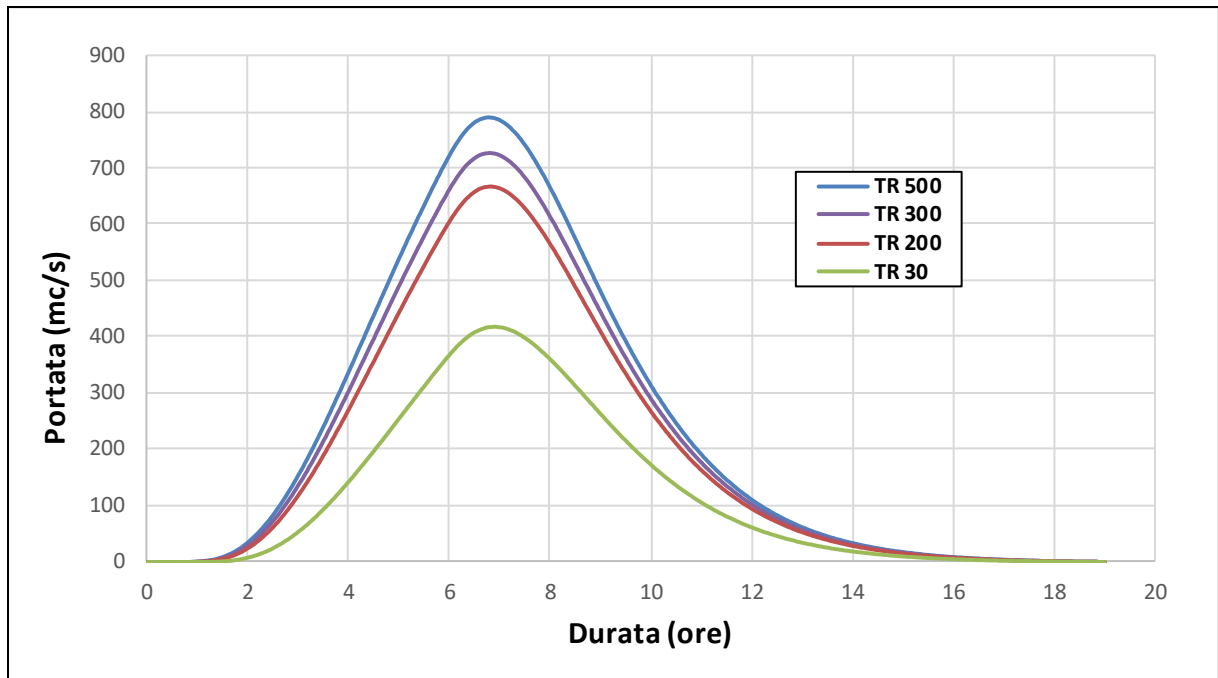



Fig. 10 – Torrente Cervaro, sottobacino 2 (Bovino): idrogrammi di piena di progetto, per differenti tempi di ritorno.

| | | | | | | |
|--|--|------------------|------------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA PROGETTO DEFINITIVO | | | | | |
| | RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IF1W | LOTTO 00 D 09 | CODIFICA RI | DOCUMENTO ID0001 001 | REV. A |

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

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

ADIS . *Linee guida e indirizzi operativi per l'attuazione del principio della invarianza idraulica*. Articolo 47 delle NTA del PAI della Regione Sardegna, 2008.

Autorità di Bacino della Puglia, Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) – Relazione di Piano, dicembre 2004.

Autorità di Bacino della Puglia, Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) – Norme Tecniche di Attuazione, novembre 2005.

Autorità di Bacino della Puglia, “*Studio per la definizione delle opere necessarie per la messa in sicurezza del reticolo idrografico pugliese*”, P.O. FESR 2007-2013.

Da Deppo L., Datei C., *Fognature*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2005.

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

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

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

Manuale di Progettazione - RFI

Nuove Norme Tecniche per le costruzioni 2018, DECRETO 17 gennaio 2018 . Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», MINISTRO DELLE INFRASTRUTTURE.

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

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