

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMA INVESTIMENTI DIRETTRICE SUD

PROGETTAZIONE:



**CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO**

**S.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA SUD**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO  
SOTTOPROGETTO 2 – ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO,  
SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE**

**LOTTO 02 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E  
CONSOLIDAMENTO SEDE**

**Relazione idrologica - Tratta Cervaro - Rocchetta S. Antonio - San Nicola di Melfi**

SCALA:

----

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

I A 4 M 0 0 E 7 8 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	L.Galloppa	Dicembre 2021	D.Di.Domenicantonio	Dicembre 2021	L.Diaferia	Dicembre 2021	F.Sacchi Dicembre 2021

File: IA4M00E78RIID0001001A.DOC

n. Elab.

ITALFERR S.p.A.  
Gruppo Ferrovie dello Stato  
Direz. Tecnica  
S.O. Progettazione Integrata e Field Engineering  
Dott. Ing. Francesco Sacchi  
Ordine degli Ingegneri di Bari n. 23172 Ser. A

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>SINTESI TECNICA DESCRITTIVA</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO DELL'AREA</b>	<b>10</b>
3.1	Il subappennino Dauno	10
3.2	Il Tavoliere	10
3.3	L'Appennino Lucano	11
<b>4</b>	<b>I BACINI IDROGRAFICI</b>	<b>12</b>
4.1	I bacini della Puglia Settentrionale	12
4.1.1	<i>Il Torrente Cervaro</i>	12
4.1.2	<i>Il Torrente Carapelle</i>	13
4.1.3	<i>Il Fiume Ofanto</i>	14
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO NORMATIVO</b>	<b>18</b>
5.1	Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia	18
<b>6</b>	<b>IL RILIEVO DELLA ZONA E L'IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA</b>	<b>21</b>
6.1	L'individuazione degli attraversamenti idraulici lungo le tratte ferroviarie Cervaro – Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi	23
<b>7</b>	<b>MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE E DELLE PORTATE</b>	<b>28</b>
7.1	Il modello probabilistico TCEV	28
7.2	Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri	29
7.3	Curve regionali di crescita delle precipitazioni	31
<b>8</b>	<b>ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI CON IL METODO VAPI</b>	<b>32</b>
<b>9</b>	<b>DEFINIZIONE DELLE PORTATE</b>	<b>36</b>
9.1	Il metodo cinematico	36
9.2	Portate in corrispondenza degli attraversamenti idraulici delle tratte Cervaro – Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi	40
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>56</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento dell'area. ....	9
Figura 2 – Traversa di Santa Venere sul Fiume Ofanto.....	16
Figura 3 – Aree di pericolosità idraulica del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Puglia aggiornato al 19-11-2019; in rosso la tratta ferroviaria Cervaro-Rocchetta-S.Nicola di Melfi.....	20
Figura 4 – DEM della Nasa .....	21
Figura 5 – DTM della Regione Puglia. ....	22
Figura 6 – Zone omogenee rispetto al valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere. ....	34
Figura 7 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione. ....	37
Figura 8 – Ripartizione dei bacini degli attraversamenti tra le zone pluviometriche omogenee (VAPI). ...	40
Figura 9 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 10$ anni. ....	50
Figura 10 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 50$ anni. ....	51
Figura 11 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 100$ anni. ....	51
Figura 12 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 200$ anni. ....	52
Figura 13 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 300$ anni. ....	52

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Elenco degli attraversamenti lungo la linea ferroviaria storica Cervaro – Rocchetta Scalo per i quali è prevista la demolizione e il rifacimento per motivi di criticità strutturale .....	23
Tabella 2 – Elenco degli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo la linea ferroviaria in variante .....	24
Tabella 3 – Elenco degli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi .....	24
Tabella 4 – Elenco degli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente. ....	25
Tabella 5 – Elenco dei bacini delle canalizzazioni in progetto sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo .....	25
Tabella 6 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo. ....	26
Tabella 7 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante .....	26
Tabella 8 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi. ....	26
Tabella 9 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente .....	27
Tabella 10 – Elenco dei bacini delle canalizzazioni in progetto sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo .....	27
Tabella 11 - 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. ....	32
Tabella 12 – Valori del fattore di crescita per la zona in esame ricavata dall' Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia. ....	33
Tabella 13 - 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.....	35
Tabella 14 - Parametro N della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione.....	39
Tabella 15 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Cervaro - Rocchetta Scalo.....	41
Tabella 16 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante .....	42
Tabella 17 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.....	42
Tabella 18 – Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente .....	42
Tabella 19 – Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini delle canalizzazioni in progetto sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo.....	43

Tabella 20 – Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Cervaro – Rocchetta Scalo.....	44
Tabella 21 – Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici.....	44
Tabella 22 – Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.....	45
Tabella 23 – Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente .....	45
Tabella 24 – Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini delle canalizzazioni in progetto sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo. ....	45
Tabella 25 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Cervaro – Rocchetta Scalo.....	46
Tabella 26 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante.....	46
Tabella 27 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi. ....	46
Tabella 28 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente .....	47
Tabella 29 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini delle canalizzazioni in progetto sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo. ....	47
Tabella 30 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici lungo la tratta Cervaro – Rocchetta Scalo. ....	48
Tabella 31 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici lungo la linea ferroviaria in variante .....	48
Tabella 32 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi. ....	48
Tabella 33 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità.....	49
Tabella 34 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative ai bacini delle canalizzazioni in progetto sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo.....	49
Tabella 35 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per gli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea storica Cervaro - Rocchetta Scalo. ....	53
Tabella 36 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per gli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante.....	54
Tabella 37 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per gli attraversamenti idraulici oggetto di intervento della tratta Cervaro - Rocchetta Scalo.....	54
Tabella 38 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per gli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente .....	55
Tabella 39 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per le canalizzazioni in progetto sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo. ....	55



LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO  
SOTTOPROGETTO 2 - ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO,  
SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE  
LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E  
CONSOLIDAMENTO SEDE

**Relazione idrologica - Tratta Cervaro - Rocchetta  
S. Antonio - San Nicola di Melfi**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA4M	00 E 78	RI	ID0001	001	A	6 di 56

## 1 PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del progetto di Ammodernamento della linea Foggia-Potenza - Sottoprogetto 2 - Elettrificazione, rettifiche di tracciato, soppressione P.L. e consolidamento sede - Lotto 2 - Rettifiche di tracciato, soppressione P.L. e consolidamento sede. Il suddetto progetto prevede il rifacimento dei tombini idraulici esistenti sulle tratte Cervaro- Rocchetta e Rocchetta-S. Nicola di Melfi che risultano inadeguati dal punto di vista strutturale. Inoltre, nello scenario di velocizzazione/riclassificazione di cui sopra si rendono necessarie due varianti di tracciato tra la Pk 36+000 e la Pk 38+000 circa e tra la Pk 43+000 e la Pk 45+000 circa con conseguente realizzazione di nuovi attraversamenti idraulici e deviazioni di fossi.

La presente relazione descrive le caratteristiche idrauliche del territorio attraversato dalle tratte ferroviarie Cervaro – Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi, l'interazione delle stesse con il reticolo idrografico e la metodologia di calcolo delle portate afferenti agli attraversamenti idraulici disposti lungo la tratta ferroviaria per i quali è prevista la demolizione e il rifacimento per motivi di insufficienza dal punto di vista strutturale, degli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione che si trovano lungo le varianti di tracciato e le viabilità di ricucitura, nonché delle canalizzazioni di fossi interferenti con le opere in progetto.

L'analisi idrologica è stata condotta sulla base delle seguenti fasi:

- individuazione degli attraversamenti idraulici lungo la linea ferroviaria storica che risultano inadeguati dal punto di vista strutturale;
- individuazione dei nuovi attraversamenti idraulici necessari a garantire la trasparenza idraulica e il collettamento delle acque di piattaforma lungo le varianti di tracciato e le viabilità di ricucitura;
- analisi del modello digitale del suolo per la determinazione dei bacini scolanti afferenti ad ogni attraversamento e individuazione delle caratteristiche geomorfologiche;
- sviluppo della metodologia VAPI per la stima delle portate di verifica e progetto per ogni attraversamento idraulico.

A supporto della progettazione, per la verifica di compatibilità idraulica del progetto, si fa riferimento ai seguenti documenti di pianificazione e normative:

- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dalla ex Autorità di Bacino della Regione Puglia – oggi Unit of Management Regionale Puglia e interregionale Ofanto dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale - adottato con delibera del Comitato Istituzionale n.25 in data 15.12.2004 e approvato con delibera del Comitato Istituzionale n. 39 del 30 novembre 2005 e successivi aggiornamenti e relative Norme Tecniche di Attuazione.
- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- 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.
- RFI - Manuale di Progettazione RFI DTC SI CS MA IFS 001 E 31.12.2020.



## 2 SINTESI TECNICA DESCRITTIVA

La linea ferroviaria Foggia – Potenza si sviluppa in direzione Nord – Sud per circa 110 km, per metà nella regione Puglia e per l'altra metà nella regione Basilicata. La tratta Cervaro – Rocchetta Scalo è lunga circa 40 km e si colloca interamente nella Regione Puglia, in provincia di Foggia. La tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi è lunga circa 12 km, in direzione Ovest – Est, e si colloca interamente nella Regione Basilicata, in provincia di Potenza. In Figura 1 è illustrato un inquadramento dell'area di studio.

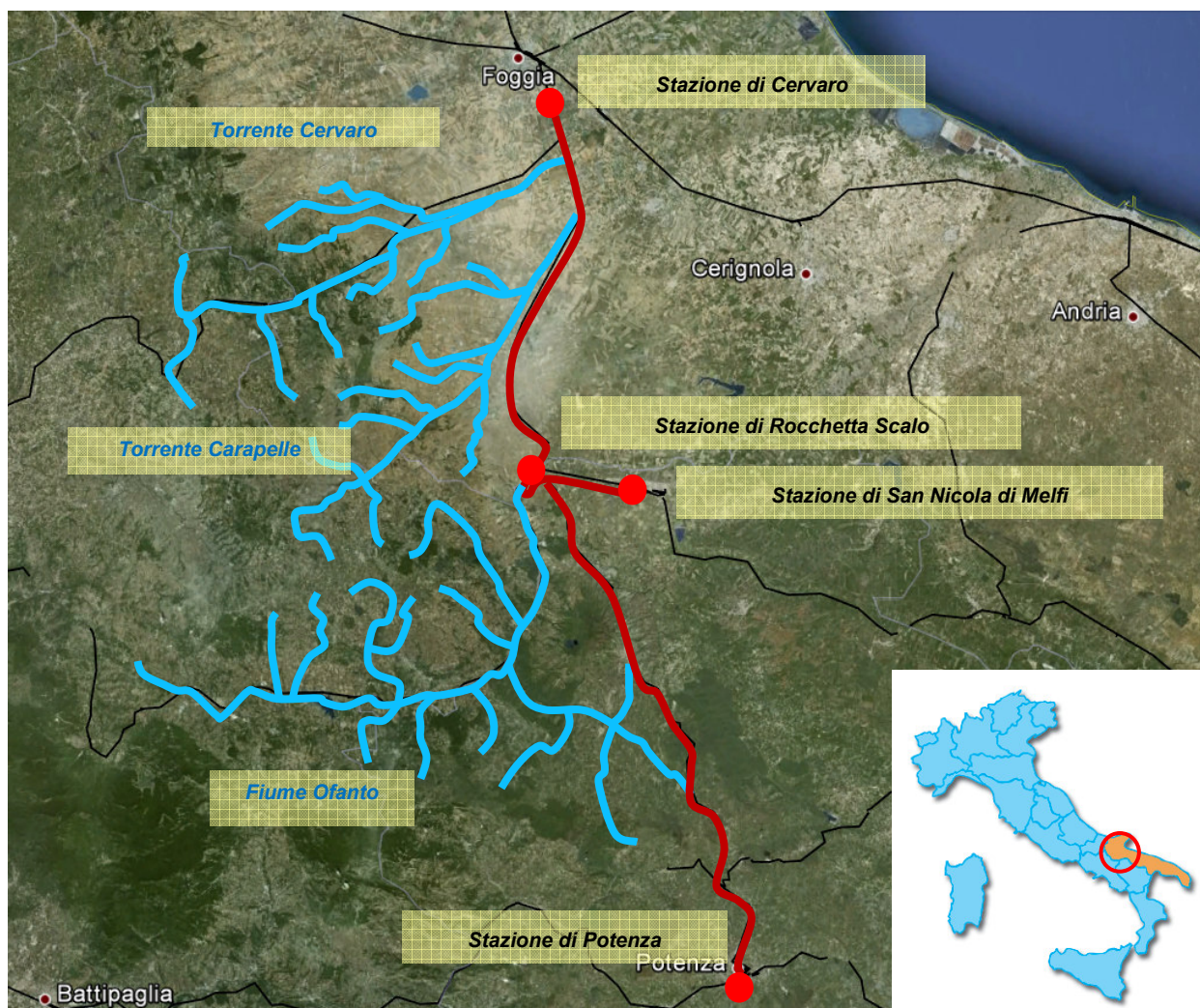


Figura 1 – Inquadramento dell'area.

### 3 INQUADRAMENTO DELL'AREA

Il territorio oggetto di studio, dove si sviluppa la tratta ferroviaria Foggia – Potenza, ricade nell'area del subappennino Dauno, del Tavoliere delle Puglie e dell'Appennino Lucano. Si riporta di seguito una descrizione climatica e geomorfologica tratta dai Piani Stralcio di Assetto Idrogeologico.

#### 3.1 Il subappennino Dauno

La Puglia comprende la parte più orientale della catena appenninica, costituita da una dorsale allineata in direzione Nord-Ovest – Sud-Est (Monti della Daunia), che degrada prima rapidamente e poi dolcemente sino all'estesa pianura del Tavoliere. È l'unica area che non si affaccia sul mare, risentendo così di un clima più continentale: le temperature medie annue, infatti, sono le più basse della regione (11,1° C a Monteleone di Puglia).

Si tratta di un'area che, dal punto di vista geomorfologico, è soggetta ad una continua trasformazione dovuta alla presenza di piccole e grandi frane favorite dalla natura dei terreni affioranti, dalla sismicità dell'area, dall'acclività dei luoghi, da una inadeguata copertura arborea e dal clima. Numerosi centri del Subappennino dauno vedono minacciata la propria esistenza da dissesti profondi a cui solo una sistematicità negli interventi può porre rimedio.

Fra le forme del paesaggio prevalgono quelle dolci, incise morbidamente in terreni argillosi, rese articolate solo dai movimenti di frana. La rete idrografica appare poco evoluta. I corsi d'acqua sono in prevalenza di tipo obsequente, fra di loro paralleli e con un regime tipicamente torrentizio legato alle piogge tardo autunnali e primaverili.

#### 3.2 Il Tavoliere

È un'estesa piana alluvionale che si estende in direzione Sud Est – Nord Ovest dal Fiume Ofanto sino al Lago di Lesina. Il clima si mantiene pressoché uniforme, a parte il tratto sud-orientale aperto sul Mare Adriatico, sensibilmente più mite per l'effetto barriera del promontorio Garganico a Nord-Nord Est. La temperatura media annua è di 15.5 ° C, con un massimo estivo di 25.5°C ed un minimo invernale di 6°C e la quantità media annua di pioggia è la più bassa di tutta la regione (<400 mm).

La vegetazione spontanea è praticamente assente, perché sostituita da colture cerealicole e orticole, diffuse in tutta l'area da tempi assai remoti.

I terreni in esso affioranti sono costituiti soprattutto da sedimenti clastici plio-quadernari sui quali si estendono grandi manti alluvionali pleistocenici ed olocenici.

In relazione, dunque, alle sue condizioni geologiche, nel Tavoliere si possono distinguere, da Ovest verso Est, le seguenti subzone: un'area collinare, una seconda area costituita da più ripiani, una vasta pianura alluvionale antica, una piana costiera ed una zona litorale.

La prima borda il Subappennino ed è rappresentata da rilievi collinari (300-400 m di quota) sui cui versanti sono ben visibili gli effetti di fenomeni erosivi superficiali e profondi. La zona a ripiani deve la sua attuale conformazione al ritiro del mare che ha lasciato una serie di terrazzi marini digradanti verso l'Adriatico, a luoghi delimitati verso Est da scarpate poco elevate, corrispondenti a ripe d'abrasione. Si tratta di morfologie ben conservate soprattutto nella parte meridionale del Tavoliere, mentre altrove le azioni erosive hanno ridotto tali terrazzi in piccoli residui lembi, completamente circondati in qualche caso da depositi alluvionali. Quest'ultimo tipo di sedimenti si sviluppa prevalentemente nella parte nord-orientale della subregione, ad esempio presso Foggia, dove costituisce un'estesa pianura.

La piana costiera si raccorda con la superficie dei sedimenti alluvionali recenti ed attuali che colmano il fondovalle dei principali corsi d'acqua. Essa corrisponde, in alcune aree, ad antiche paludi successivamente colmate per fatti naturali ed antropici.

Il litorale, infine, si presenta basso, sabbioso e ricco di dune allungate parallelamente alla riva.

### **3.3 L'Appennino Lucano**

La catena montuosa dell'Appennino Lucano si dispone ad arco lungo il bordo occidentale della Regione Basilicata e culmina a sud nei rilievi della catena del Pollino, segnando il confine con la Calabria.

In quest'area la catena appenninica non raggiunge altitudini elevate, ad eccezione dei Monti del Pollino (oltre 2.200 m.), dei Monti del Sirino (2.000 m.) e di Monte Alpi (1.900 m.), e degrada verso est nell'ampia fascia collinare del materano la quale si affaccia a nord-est sull'altipiano delle Murge e a sud-est sulle aree pianeggianti del Metapontino.

Il territorio è caratterizzato da un esteso ed articolato reticolo idrografico i cui corsi d'acqua principali sono:

- il Bradano, il Basento, il Cavone, l'Agri ed il Sinni, che, dopo aver attraversato con andamento pressoché parallelo la regione Basilicata in direzione NO-SE, sfociano nel Mare Ionio;
- il fiume Noce, che dopo aver attraversato il settore sud-occidentale della regione Basilicata, sfocia nel Mar Tirreno.

## 4 I BACINI IDROGRAFICI

Si riporta di seguito una descrizione dei bacini idrografici dei principali corsi d'acqua del territorio oggetto di studio tratta dai Piani Stralcio di Assetto Idrogeologico.

### 4.1 I bacini della Puglia Settentrionale

La morfologia del Subappennino dauno, con quote che vanno dai 500 ai 1 150 m s.l.m nella sua parte settentrionale (che si estende grosso modo sino ad Orsara di Puglia) e comprese tra i 500 e i 950 m s.m.m. nella sua porzione più meridionale, è caratterizzata da un reticolo idrografico ben sviluppato.

In quest'area la discreta densità di drenaggio e la notevole pendenza determinano la formazione, nei periodi invernali, di piene improvvise e di breve durata, che esercitano una notevole azione erosiva nei confronti di formazioni geologiche a prevalente matrice sabbioso-limoso-argillosa. I terreni permeabili, invece, una volta saturi di acqua di infiltrazione, cedono la stessa in alveo, determinando deflussi idrici anche in periodi invernali siccitosi.

In definitiva, la maggior parte dei corsi d'acqua del Subappennino dauno evidenziano una generale tendenza all'erosione ed al conseguente trasporto torbido.

Il Subappennino dauno meridionale e il basso Tavoliere sono percorsi dal Cervaro, dal Carapelle e da una serie di canali minori che sfociano, quando non si impantanano, nel mare Adriatico.

In definitiva si tratta di incisioni povere d'acqua, poco approfondite, che hanno esercitato una debole attività erosiva. Generalmente le prime precipitazioni intense autunnali non determinano deflussi idrici di interesse, tant'è che l'alveo resta asciutto a volte fino a dicembre. Soltanto quando i terreni affioranti nel bacino imbrifero risultano saturati dalle precipitazioni liquide e solide stagionali, allora improvvisamente si formano onde di piena caratterizzate da portate e coefficienti di deflusso elevati e di durata contenuta.

#### 4.1.1 Il 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.

I sottobacini del 1° ordine sono, da Nord a Sud, per il Cervaro:

- Torrente Sannoro;
- Torrente Lavella;
- Torrente Avella;
- Torrente Iazzano;
- Torrente Biletra;
- Fosso Valle dell'Angelo;
- Fosso Pozzo Vitolo.

L'analisi dei dati idrometrografici (rilevabili per il torrente Cervaro alla stazione di Incoronata) evidenzia anche per questo corso d'acqua un regime torrentizio.

#### **4.1.2 Il Torrente Carapelle**

Il torrente Carapelle nasce dall'Appennino campano, in provincia di Benevento; ha origine dall'unione del torrente Calaggio col torrente San Gennaro. Canalizzato verso il suo sfocio in mare, dà origine al canale Carapellotto ed al canale Regina. Sfocia, dopo circa 85 km di percorso, nel golfo di Manfredonia a Nord di Torre Rivoli.

Affluente di sinistra è il torrente Carapellotto; di destra il canale Marana La Pidocchiosa e il canale Pozzo Pascuccio.

I sottobacini del 1° ordine sono, da Nord a Sud, per il Carapelle:

- Torrente Carapellotto;
- Vallone Legnano;
- Fosso Viticoni;
- Canale Colotti;
- Torrente Frugno;
- Torrente Calaggio.

L'analisi dei dati idrometrografici, rilevabili per il torrente Carapelle alla stazione di Ponte Ortona-Castelluccio dei Sauri, evidenzia un regime torrentizio.

### 4.1.3 Il Fiume Ofanto

Il fiume Ofanto ha un bacino che interessa il territorio di tre regioni, Campania, Basilicata e Puglia, ed ha forma pressoché trapezoidale, superficie di 2.790 Km<sup>2</sup> e altitudine media di 450 m. La lunghezza dell'asta principale è di circa 165 Km, l'afflusso medio annuo è di circa 720 mm; la temperatura media annua è di poco superiore a 14 °C. I corsi d'acqua secondari del fiume Ofanto si sviluppano in un ambiente geologico e morfostrutturale chiaramente appenninico, con rare eccezioni (per esempio il torrente Locone).

Anticamente chiamato Aufidus, l'Ofanto nasce in Campania nei pressi dell'abitato di Nusco, passa per la Basilicata e sfocia in Puglia, dopo aver attraversato, con tortuosi meandri, le province di Avellino, Potenza, Foggia e Bari. In particolare, esso si origina a Sud del crinale appenninico, nell'altopiano irpino, dalle falde del piano dell'Angelo dei Lombardi, in provincia di Avellino, a quota 715 m. s.l.m. Si dirige prima verso Nord-Est, lungo il margine settentrionale dell'altopiano delle Murge pugliesi e, dopo un percorso complessivo di 165 Km, si versa nell'Adriatico a Nord di Barletta, con foce del tipo originariamente a delta, in rapido arretramento verso un estuario. Attraversa quindi la regione Puglia per circa 85 Km, mentre per altri 20 km il suo decorso segna il confine tra Puglia e Basilicata.

Il fiume Ofanto ha un bacino che interessa il territorio di tre regioni, Campania, Basilicata e Puglia ed ha forma pressoché trapezoidale, superficie di 2.790 Km<sup>2</sup>, perimetro di 320 km, altitudine media di 450 m ed una pendenza media pari a 5,33%. L'altezza del bacino varia da un massimo di 1.453 metri, raggiunti in Campania nell'alta valle di Conza, passando dai 700 metri in Basilicata, fino alla bassa valle in Puglia dove l'altezza media si aggira sui 200-300 m. Il valore della piovosità media del bacino idrografico è di 780 mm annui.

Il regime dei deflussi è principalmente condizionato da quello degli afflussi, data la mancanza di forti precipitazioni nevose e di apporti glaciali. La portata delle sue acque è molto modesta, ad andamento stagionale, con punte di massimo afflusso durante il mese di settembre e di dicembre e di minimo afflusso nei mesi estivi di luglio ed agosto. In particolare, la sua portata varia da un minimo di 1 mc/s in agosto ad un massimo di 35-40 mc/s in gennaio, con media annuale di poco superiore ai 15 mc/s.

La densità di drenaggio è 22,16 km/km<sup>2</sup>, l'afflusso medio annuo è di circa 720 mm. La temperatura media annua è di poco superiore a 14 °C.

Gli affluenti più importanti sono: in destra, il torrente Ficocchia, la fiumara di Atella, il torrente

Olivento, il torrente Locone, mentre in sinistra il torrente Isca, il torrente Sarda, il torrente Orata, il torrente Osento, e Marana Capaciotti.

#### 4.1.3.1 Caratteri morfologici

Dal punto di vista morfologico il fiume Ofanto, dal tratto iniziale alla sua foce nel Mar Adriatico, percorre e condiziona diversi ambienti morfologici. Nel tratto iniziale del suo corso attraversa la catena sud appenninica, nel suo corso medio borda il versante occidentale del massiccio vulcanico del Monte Vulture che si erge sul margine orientale della Catena appenninica.

Nella parte media e nel tratto finale del suo corso attraversa la parte più meridionale del Tavoliere che, come si è già detto, rappresenta la più vasta pianura dell'Italia meridionale. Il corso d'acqua nel bassopiano del Tavoliere presenta un tracciato ad andamento subparallelo con direzione da Sud-Ovest a Nord-Est.

Nel tratto di Tavoliere attraversato dal fiume Ofanto si distinguono, da Ovest verso Est, le seguenti subzone: una zona che borda l'Appennino caratterizzata da rilievi collinari (300-400 m di quota); un'area a terrazzi digradanti verso l'Adriatico, creati dal progressivo ritiro del mare; una vasta pianura alluvionale antica; una piana costiera che si raccorda con la superficie dei sedimenti alluvionali recenti ed attuali, che colmano il fondovalle dell'Ofanto e dei principali corsi d'acqua; una zona litorale.

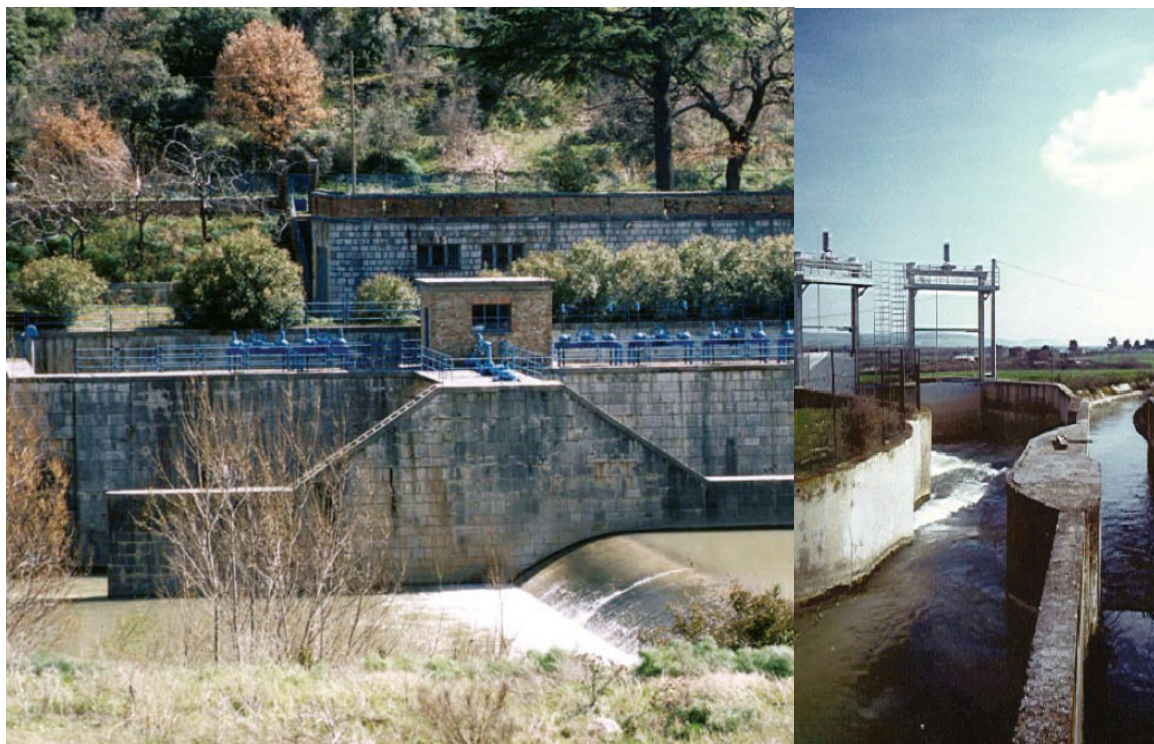
La parte più occidentale dell'altopiano delle Murge ricade nel bacino idrografico del fiume Ofanto. L'Altopiano delle Murge in questo tratto è delimitato a Nord-Ovest da scarpate di piani di faglia ed a Nord-Est da scarpate di piani di faglia, arretrate per erosione parallelamente al mare Adriatico. I terrazzi marini, i più elevati dei quali sono ubicati in media sui 300 metri di quota ed i più bassi sui 4-5 metri, sono stati creati dal graduale sollevamento delle Murge nel corso del Quaternario. Essi sono delimitati da scarpate molto elevate, corrispondenti a ripe d'abrasione o anche a piani di faglia rielaborati dall'azione del mare.

#### 4.1.3.2 La traversa di Santa Venere

Circa 200 m a monte dell'attraversamento ferroviario è presente la traversa di Santa Venere, facente parte dello schema idrico dell'Ofanto, destinato a soddisfare i fabbisogni, potabili, irrigui ed industriali della Basilicata, della Puglia e della Campania.

Si tratta di un complesso sistema di opere interconnesse, comprendente: gli invasi di Conza sul fiume Ofanto e di Pesco San Pietro, sul torrente Osento, che rilasciano le acque invase nel fiume Ofanto, intercettate a valle dalla traversa Santa Venere; la traversa Santa Venere, in agro di Melfi (Pz) in prossimità della stazione ferroviaria di Rocchetta S. Antonio (Foggia), che trasferisce parte delle acque regolate agli invasi di Marana Capacciotti e del Locone; gli invasi di Marana Capacciotti e di Monte Melillo sul torrente Locone, ubicati in Puglia, nella parte meridionale del bacino idrografico; l'invaso di Abate Alonia sul torrente Rendina in Basilicata, che raccoglie le acque della fiumara di Venosa e del torrente Arcidiaconata; l'invaso di Toppo di Francia sul torrente Lampeggiano in agro di Lavello (Pz), attualmente fuori esercizio.

Tra le strutture di sbarramento dello Schema Ofanto, la traversa di S. Venere risulta il principale snodo in quanto consente l'integrazione delle disponibilità degli invasi del Rendina, di Monte Melillo e di Marana Capacciotti e alimenta i comprensori irrigui in riva destra e sinistra dell'Ofanto ricadenti sia in Puglia che Basilicata.



*Figura 2 – Traversa di Santa Venere sul Fiume Ofanto.*

Nel suo complesso lo schema alimenta le aree irrigue nei territori di competenza dei Consorzi di Bonifica pugliesi, Terre d'Apulia e Capitanata, e di quello lucano Vulture Alto Bradano, e serve



altresì l'area industriale di Melfi. Le acque intercettate dall'invaso del Monte Melillo soddisfano anche parte dei fabbisogni idropotabili pugliesi.

La traversa, ubicata sull'asta principale del fiume Ofanto nell'omonima località dell'agro di Melfi, in prossimità della stazione ferroviaria di Rocchetta Sant'Antonio Scalo, è costituita da una soglia libera tracimabile, proporzionata per il transito delle portate di piena, posta a quota 213.45 m s.m.m., cui fa seguito una classica opera di dissipazione.

La presa, presidiata da paratoia, posta in sponda destra idraulica, è costituita da cinque luci, di due differenti dimensioni: due luci delle dimensioni nette interne  $L = 2,0$  m e  $H = 1,5$  m con quota inferiore pari a 211,75 m s.m.m. e tre luci delle dimensioni nette interne  $L = 2,0$  m e  $H = 1,0$  m con quota inferiore pari a 212,25 m s.m.m.

In esercizio dal 1960 e priva di capacità di accumulo, ha la presa dimensionata per una portata di  $12 \text{ m}^3/\text{s}$ . La traversa intercetta i rilasci in alveo degli invasi di monte unitamente ai superi degli stessi ed ai deflussi naturali del bacino residuo. Durante la stagione invernale, contribuisce ad integrare le disponibilità dei bacini dell'invaso del Locone (attualmente per mezzo dell'adduttore in pressione "S. Venere – Locone"), e di Marana Capacciotti (per mezzo dell'adduttore che si sviluppa dal partitore all'invaso stesso). Durante la stagione primaverile – estiva, invece, l'acqua captata alimenta una parte dei compresori irrigui della destra e della sinistra Ofanto.

Sono in via di completamento le opere di miglioramento funzionale della capacità di derivazione della traversa sino al valore di  $16 \text{ m}^3/\text{s}$  di portata.

La gestione della traversa è affidata al Consorzio di Bonifica Vulture – Alto Bradano.

## 5 INQUADRAMENTO NORMATIVO

L'analisi condotta nel presente studio ha preso in considerazione gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore, in particolare, il P.A.I., Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico adottato dalla ex Autorità di Bacino della Puglia – oggi Unit of Management Regionale Puglia e Interregionale Ofanto - che individua le aree a rischio idraulico ed idrogeologico.

### 5.1 Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia

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 3 è riportata la disposizione planimetrica delle aree a diversa probabilità di esondazione definite dalla ex AdB della Puglia all'interno del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico. Si nota come diverse aree di esondazione interessino la tratta ferroviaria oggetto di studio, in particolare in corrispondenza degli attraversamenti dei tre corsi d'acqua principali (Cervaro, Carapelle ed Ofanto) e per un ampio tratto della linea Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi. Per la valutazione di compatibilità idraulica dei vari interventi si rimanda all'elaborato IA4M00E78RIID0002001A.

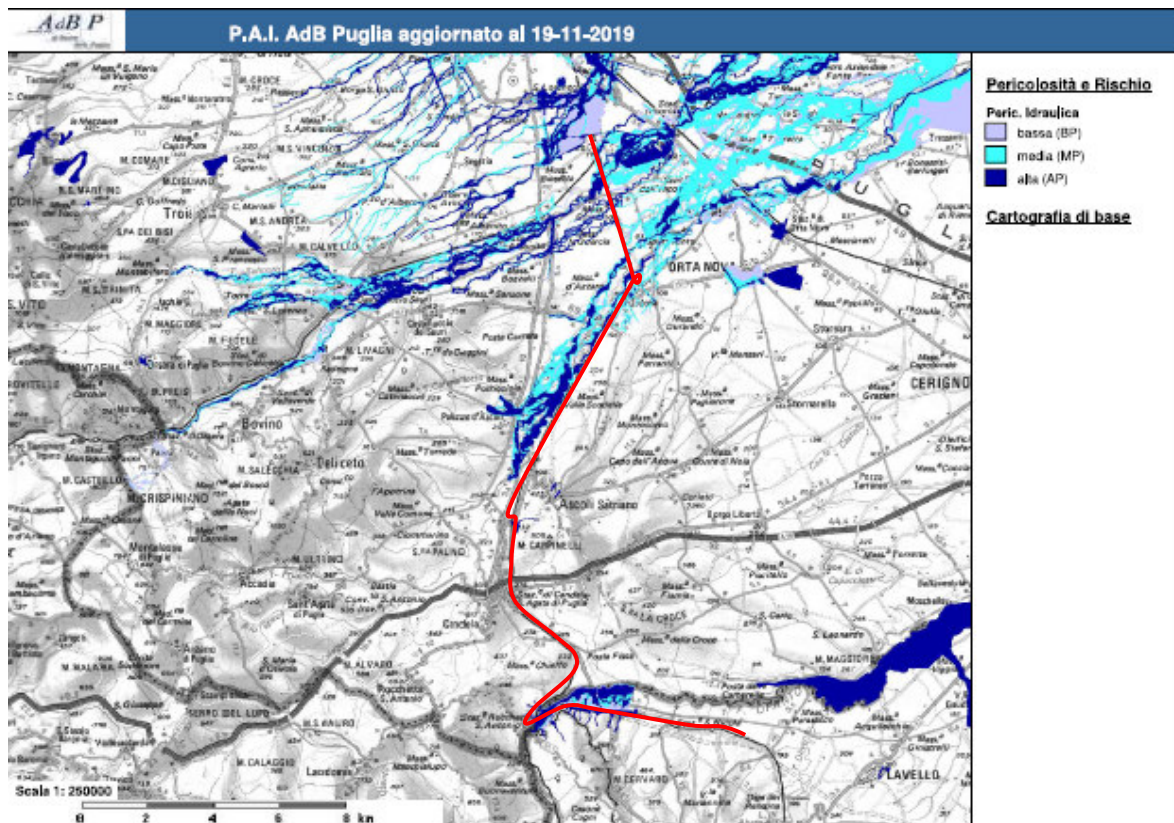


Figura 3 – Aree di pericolosità idraulica del Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) della Puglia aggiornato al 19-11-2019; in rosso la tratta ferroviaria Cervaro-Rocchetta-S.Nicola di Melfi.

## 6 IL RILIEVO DELLA ZONA E L'IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA

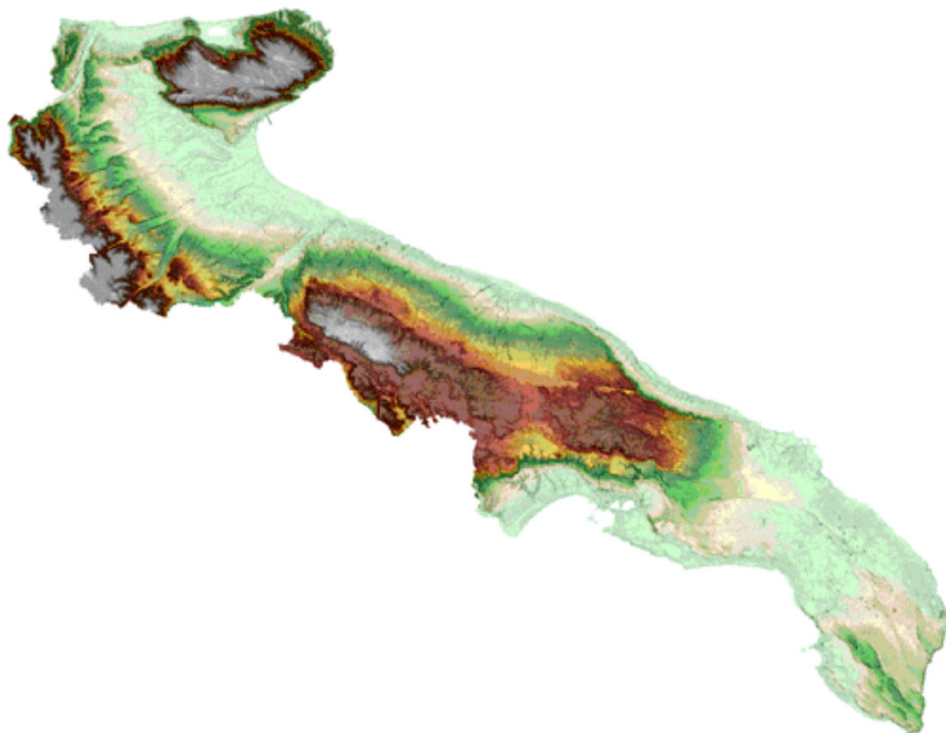
Per ottenere una rappresentazione quotata della zona di analisi al fine di ricostruire la complessa rete idrografica dell'area e la delimitazione dei bacini di ciascun attraversamento idraulico lungo la tratta ferroviaria Foggia-Rocchetta-San Nicola sono stati utilizzati:

- il DEM (Digital Elevation Model) di tutta la porzione di territorio alla risoluzione di 30 m, disponibile presso il sito ASTER Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM) e realizzato grazie al progetto della NASA, Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM).



Figura 4 – DEM della Nasa

- il DTM (Digital Terrain Model) disponibile sul sito del Servizio Informativo Territoriale della Regione Puglia. Il DTM così realizzato è distribuito in formato ASCII RASTER e si presenta come un grigliato regolare, con passo di griglia di 8 metri. Il Sistema di riferimento è UTM-WGS84, fuso 33. Il DTM presenta l'accuratezza in quota pari ad 1 m (l'accuratezza altimetrica è relativa a zone di terreno scoperto, prive di vegetazione e quanto altro impedisca una chiara collimazione per la valutazione della quota), tranne che nelle zone con vegetazione fitta (copertura >70%) o ad alto fusto, in cui l'accuratezza decresce di un ulteriore valore pari a 1/4 dell'altezza media degli alberi.



*Figura 5 – DTM della Regione Puglia.*

Grazie a queste informazioni sono stati costruiti i DTM (Digital Terrain Map) di diverso dettaglio, che hanno consentito la ricostruzione della rete idrografica, del bacino dei corsi d'acqua maggiori (Cervaro, Carapelle ed Ofanto) e dei bacini di tutti gli altri attraversamenti.

In particolare, per identificare la rete idrografica dell'area di studio, è stato utilizzato il programma MapWindow, software sviluppato dall'Idaho State University e dalla Utah State University, integrato con il plug-in TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models). Questo applicativo consente il riconoscimento della rete idrografica sfruttando semplicemente il DTM dell'area di interesse, che deve essere fornito come griglia di quadrati di dimensioni identiche (pixel) ad ognuno dei quali va associata la quota geodetica media della porzione di territorio sottesa dal quadrato stesso.

### 6.1 L'individuazione degli attraversamenti idraulici lungo le tratte ferroviarie Cervaro – Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi

Nelle Tabella 1 e 2 è riportato l'elenco degli attraversamenti idraulici lungo la tratta Cervaro – Rocchetta Scalo oggetto di intervento.

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo			
Attraversamento	Progressiva L.S.	Progressiva di progetto	WBS
Opera minore	12+595	12+595	IN01
		12+670	IN27
		12+745	IN02
		12+810	IN28
		12+895	IN03
		12+970	IN29
		13+045	IN04
Ponticello	24+063	23+842	IN05
Opera minore	39+503	39+503	IN06
Opera minore	40+848	40+848	IN07
Opera minore	41+829	41+829	IN08
Opera minore	42+169	42+169	IN09
Opera minore	42+443	42+443	IN10
Opera minore	43+117	43+170	IN11
Opera minore	45+776	45+776	IN12
Opera minore	45+861	45+861	IN13
Opera minore	45+895	45+895	IN14
Ponticello	45+951	45+951	IN15
Opera minore	47+590	47+590	IN16

Tabella 1 – Elenco degli attraversamenti lungo la linea ferroviaria storica Cervaro – Rocchetta Scalo per i quali è prevista la demolizione e il rifacimento per motivi di criticità strutturale

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo			
Attraversamento	Progressiva linea storica	Progressiva variante tracciato	WBS
Ponticello	43+805	0+386.46	IN19
Ponticello	44+017	0+595	IN20
Opera minore	44+515	1+025	IN21
Opera minore	44+837	1+325	IN22
Ponticello	44+893	1+381.27	IN23
Ponticello	45+139	1+635.54	IN25

Tabella 2 – Elenco degli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo la linea ferroviaria in variante.

Nella Tabella 3 è riportato l'elenco degli attraversamenti idraulici lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi oggetto di intervento.

Tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi		
Attraversamento	Progressiva L.S.	WBS
Opera minore	1+831	IN17
Opera minore	3+052	IN18-NI15

Tabella 3 – Elenco degli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi per i quali è prevista la demolizione e il rifacimento per motivi di criticità strutturale.

In Tabella 4 sono elencati gli attraversamenti di progetto da realizzarsi lungo le viabilità di ricucitura.

Attraversamenti viabilità di ricucitura – Lotto 2			
Progressiva L.S.	viabilità	Pk viabilità	WBS
23+208	NV16 – Stradina di ricucitura da pk 21+878 a pk 24+550	1+360	NV16
24+063 (pk prog. 23+842)	NV16 – Stradina di ricucitura da pk 21+878 a pk 24+550	2+000	NI02-IN05
24+290	NV16 -Stradina di ricucitura da pk 21+878 a pk 24+550	2+450	NV16
38+892	NV06 Asse C1-Stradina di ricucitura	0+448.50	NI03
39+111	NV06 Asse C2-Stradina di ricucitura da pk 38+970 a pk 39+550	0+198.50	NI04



Attraversamenti viabilità di ricucitura – Lotto 2			
Progressiva L.S.	viabilità	Pk viabilità	WBS
39+157	NV06 Asse C2-Stradina di ricucitura da pk 38+970 a pk 39+550	0+243.68	NI04
39+239	NV06 Asse C2-Stradina di ricucitura da pk 38+970 a pk 39+550	0+335.72	NI05
39+462	NV06 Asse C2-Stradina di ricucitura da pk 38+970 a pk 39+550	0+546.16	NI06
39+503	NV06 Asse C2-Stradina di ricucitura da pk 38+970 a pk 39+550	0+587.35	IN06
44+515 (1+025)	NV17	0+118	
44+736 (1+225)	NV17	0+350	
44+893 (1+381)	NV17	0+501	
45+139 (1+635)	NV17	0+751	

Tabella 4 – Elenco degli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente.

In Tabella 5 sono identificati con le pk della linea storica le sezioni di chiusura dei bacini delle canalizzazioni di progetto.

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo		
Attraversamento	Progressiva L.S.	WBS
Opera minore	36+253	RI01
Opera minore	39+281	-

Tabella 5 – Elenco dei bacini delle canalizzazioni in progetto sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo.

Nella Tabella 6, Tabella 7, Tabella 8, Tabella 9 e Tabella 10 sono riportati gli attraversamenti idraulici oggetto di intervento e le superfici dei rispettivi bacini afferenti.

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo		
Progressiva L.S.	WBS	A [km <sup>2</sup> ]
12+595	IN01-IN27- IN02-IN28- IN03-IN29-IN04	0.42
24+063 (pk 23+842 di progetto)	IN05	1.67
39+503	IN06	0.21
40+848	IN07	0.02
41+829	IN08	0.03
42+169	IN09	0.02
42+443	IN10	0.03
43+117 (pk 43+170 di progetto)	IN11	0.01
45+776	IN12	0.08
45+861	IN13	0.03
45+895	IN14	0.04
45+951	IN15	0.54
47+590	IN16	0.04

Tabella 6 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo.

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo			
Progressiva linea storica	Progressiva variante tracciato	WBS	A [km <sup>2</sup> ]
43+805	0+386.46	IN19	0.48
44+017	0+595	IN20	0.16
44+515	1+025	IN21	0.15
44+837	1+325	IN22	0.06
44+893	1+381	IN23	1.12
45+139	1+634	IN25	0.37

Tabella 7 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante

Tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi		
Progr.	WBS	A [km <sup>2</sup> ]
1+831	IN17	0.04
3+052	IN18	0.17

Tabella 8 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.

Attraversamenti viabilità di ricucitura		
Progressiva L.S.	WBS	A [km <sup>2</sup> ]
23+208	NV16	0.64
24+063	IN05	1.67
24+290	NV16	0.83
39+111	NI04	0.12
39+157	NI04	0.05
39+239	NI05	0.86
39+462	NI06	0.01
39+503	IN06	0.21

*Tabella 9 – Elenco dei bacini afferenti agli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente*

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo		
Progressiva L.S.	WBS	A [km <sup>2</sup> ]
36+253	RI01	3.99
39+281	-	0.02

*Tabella 10 – Elenco dei bacini delle canalizzazioni in progetto sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo*

Per l'identificazione dei bacini idrografici, con indicazione dei relativi attraversamenti, si rimanda agli specifici elaborati (IA4M00E78C3ID0001001A, IA4M00E78C3ID0001002A).

## 7 MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE E DELLE PORTATE

### 7.1 Il modello probabilistico TCEV

Il modello a doppia componente denominato TCEV (Rossi et al., 1984) ipotizza che i massimi annuali delle precipitazioni o delle portate al colmo non provengano tutti dalla stessa popolazione ma da due popolazioni distinte legate a differenti fenomeni meteorologici. Tale ipotesi è peraltro giustificata dalla presenza in quasi tutte le serie storiche delle precipitazioni e delle portate al colmo di uno o più valori (outliers) nettamente maggiori degli altri al punto da sembrare non provenienti dalla stessa popolazione dei rimanenti dati.

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,  $\Lambda_1$ ,  $\Theta_1$ ,  $\Lambda_2$  e  $\Theta_2$ . 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  $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  esprimono, rispettivamente per le due componenti, il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori ad una soglia. I parametri  $\Theta_1$  e  $\Theta_2$  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  $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_t)$  dove con  $\mu(X_t)$  si è indicato il *valore indice* (la media della variabile). La funzione di probabilità cumulata di questa nuova variabile  $K_{t,Tr}$  è la cosiddetta *curva di crescita* la quale dipende dai parametri  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ , 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.

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

## 7.2 Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri

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  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$  e  $\Lambda_1$  ed è quindi indipendente da  $\Theta_1$ , mentre il coefficiente di asimmetria teorico dipende da  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  ed è quindi indipendente da  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ .

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:

#### I° 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  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  del modello TCEV nella medesima zona.

Inoltre in una regione omogenea rispetto a  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ , 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  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  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  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  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  $\Lambda_1$ , nella sottozona omogenea, oltre che di  $\Lambda$ , e  $\Theta$ . Il valore di  $\Lambda_1$  relativo alla sottozona va stimato utilizzando tutti i dati disponibili nella zona.

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a  $\Lambda_1$  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.

Nel seguito si fa riferimento al valore indice della precipitazione  $\mu(X_t)$  in quanto l'ipotesi di aree con caratteristiche morfologiche (es. quota) e climatiche tali da poter definire un valore indice  $\mu(X_t)$  costante è applicabile solo per le piogge e spesso non è verificata.

### **7.3 Curve regionali di crescita delle precipitazioni**

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  $\mu_t$  relative ad una generica durata  $t$ , e la successiva amplificazione delle stesse attraverso il fattore di crescita (della media con il periodo di ritorno)  $K_T$

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

## 8 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI CON IL METODO VAPI

In questo capitolo si illustreranno i risultati del Progetto VAPI 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.

I risultati dello studio citato hanno evidenziato per la regione Puglia 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, al primo e secondo livello, in una sottozona settentrionale della regione ed in un'altra centromeridionale. La prima comprende la Capitanata, il Sub-appennino Dauno (dove è posizionata la nostra area di studio), il Gargano e l'Alta Murgia, la seconda include la restante parte del Tavoliere e della Murgia e la Penisola Salentina. L'analisi di terzo livello basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota ha portato alla individuazione di quattro sottozone nella parte settentrionale e due nella parte meridionale ciascuna con le curve di possibilità climatica.

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  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ .

Anche nella procedura operata al secondo livello di regionalizzazione, la verifica dell'ipotesi di zona unica omogenea ha condotto ad un risultato positivo con valore costante di  $\Lambda_1$ .

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

Tabella 11 - 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  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ , 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:

$$a = (\Theta_* \ln \Lambda_* + \ln \Lambda_1) / \eta \quad b = \Theta_* / \eta \quad \eta = \ln \Lambda_1 + C - T_0$$

$$T_0 = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^i \Lambda_*^i}{i!} \Gamma\left(\frac{i}{\theta_*}\right) \quad C = 0.5772 \text{ (costante di Eulero)}$$

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.

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 12 – 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.

Sono state individuate quattro zone pluviometriche omogenee illustrate in Figura 6.

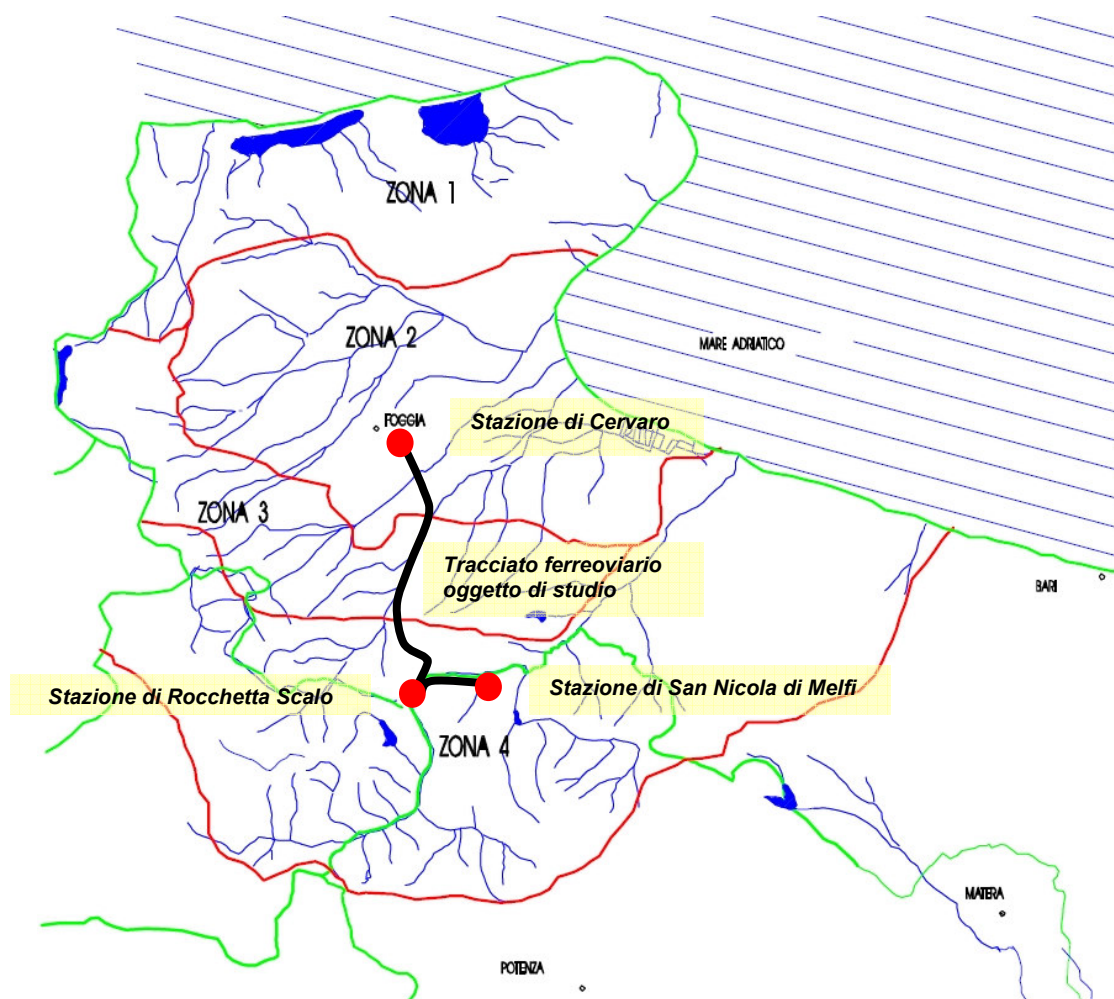


Figura 6 – Zone omogenee rispetto al valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere.

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:

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

in cui  $a$  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  $\alpha$  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 seguente.

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

*Tabella 13 - 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.*

All'interno delle zone 1 (Gargano) e 3 (Murge) si è riscontrata una buona dipendenza dei valori medi delle massime precipitazioni giornaliere dalle quote, non riscontrata invece nelle restanti due zone 2 (Tavoliere) e 4 (Subappennino), nelle quali non si apprezzano sensibili variazioni tra i diversi siti di osservazione, pur variando notevolmente la quota.

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'altezza media rappresentativa dell'area scolante stessa.

## 9 DEFINIZIONE DELLE PORTATE

### 9.1 Il metodo cinematico

Una volta delimitati i bacini e la rete idrografica delle interferenze lungo la linea ferroviaria e definito il metodo per individuare le precipitazioni di riferimento, si intende calcolare le portate in corrispondenza di tali intersezioni utilizzando il metodo razionale o del ritardo di corrivazione.

Il metodo razionale permette il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione: in particolare si assume come valido il concetto di isofrequenza tra l'evento meteorico e il colmo di piena derivato; generalmente utilizzato per bacini di limitata estensione, è stato applicato anche a casi di notevoli comprensori di bonifica.

Il metodo si basa sulle seguenti ipotesi:

- 1) la formazione della piena si basa unicamente su un fenomeno di trasferimento di massa liquida;
- 2) 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;
- 3) la velocità di ogni singola goccia non è influenzata dalla presenza delle altre gocce, cioè ognuna di esse è indipendente dalle altre;
- 4) 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;
- 5) 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 7 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 quella di corrivazione l'idrogramma di piena assuma la forma triangolare.

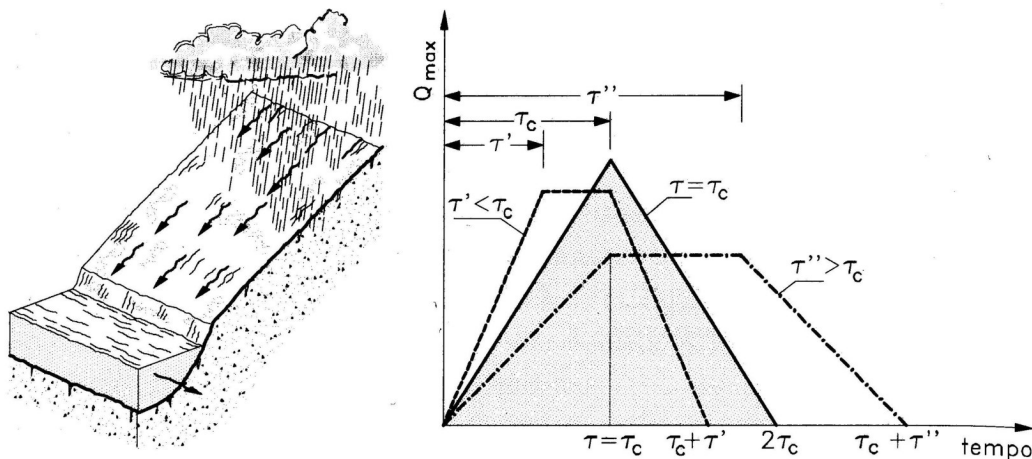


Figura 7 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.

La definizione della portata di piena avviene tramite la formula:

$$Q = \frac{1000}{3600} \cdot \frac{\phi \cdot A \cdot h(\tau, T)}{\tau}$$

dove

- $\phi$  = coefficiente adimensionale di deflusso (o di riduzione);
- $A$  = superficie del bacino [ $\text{km}^2$ ];
- $h(\tau, T)$  = altezza di pioggia netta di durata e tempo di ritorno prefissati [mm];
- $\tau$  = 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.

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.

Una relazione frequentemente utilizzata per tale calcolo è la formula di **Giandotti** (1934) che tiene conto della morfologia del bacino ed è valida per superfici variabili fra 170 e 70'000 km<sup>2</sup>:

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

con:

$A$  = area del bacino sottesa alla sezione di calcolo [km<sup>2</sup>];

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

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

$H_o$  = 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.

Un'altra equazione spesso utilizzata per la stima del tempo di corrivazione è quella di **Ventura** (1905). La formula ha la seguente espressione:

$$\tau_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$$

dove  $i_m$  è la pendenza media della rete di drenaggio.

Un'ulteriore formulazione già ampiamente sperimentata in casi analoghi è quella di **Pasini** che ha la seguente forma:

$$\tau_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{L \cdot A}}{\sqrt{i_m}}$$

Si è utilizzata anche la formula di **Pezzoli**, sviluppata sui dati di piccoli bacini montani di dimensioni inferiori ai 20 km<sup>2</sup>:

$$\tau_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_m}}$$

Si è utilizzata anche la formula di **Kerby**, utilizzata frequentemente per il calcolo del tempo di corrivazione in bacini di estensione limitata. La formula di Kerby è stata sviluppata da risultati ottenuti da bacini con canalizzazioni inferiori ai *1200 ft (365 m)*. La relazione di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione, espresso in ore, ha la forma:

$$\tau_c = (0.342 \cdot N \cdot L \cdot i_m^{-0.5})^{0.467}$$

Con *N* = parametro legato al tipo di superficie (Tabella 14). In questa sede si è scelto un parametro pari a 0.3, valore intermedio alle classi di riferimento per le aree coltivate e quelle adibite al pascolo e quindi rappresentativo degli usi del suolo prevalenti nel territorio di studio.

Description	N
Pavement	0.02
Smooth, bare packed soil	0.10
Poor grass, cultivated row crops or moderately rough bare surfaces	0.20
Pasture, average grass	0.40
Deciduous forest	0.60
Dense grass, coniferous forest, or deciduous forest with deep litter	0.80

Tabella 14 - Parametro *N* della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione

Infine, si è presa in considerazione anche la formula di **Puglisi**, ottenuta analizzando bacini di dimensione compresa tra 43 e 94 km<sup>2</sup>:

$$\tau_c = 6 \cdot L^{2/3} \cdot (H_{\max} - H_0)^{-1/3}$$

## 9.2 Portate in corrispondenza degli attraversamenti idraulici delle tratte Cervaro – Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi

Come già anticipato nei paragrafi precedenti, si intende determinare le portate di progetto per ogni interferenza con la linea ferroviaria utilizzando la suddivisione del territorio in zone pluviometriche omogenee del progetto VAPI. Infatti, individuati i bacini di pertinenza degli attraversamenti li si è ripartiti tra le zone, come illustrato in Figura 8. Ottenuta in questo modo una suddivisione dei bacini tra le zone pluviometriche omogenee, è stato poi sviluppato il modello cinematico per la stima delle portate di progetto da utilizzare per la verifica dei manufatti idraulici.

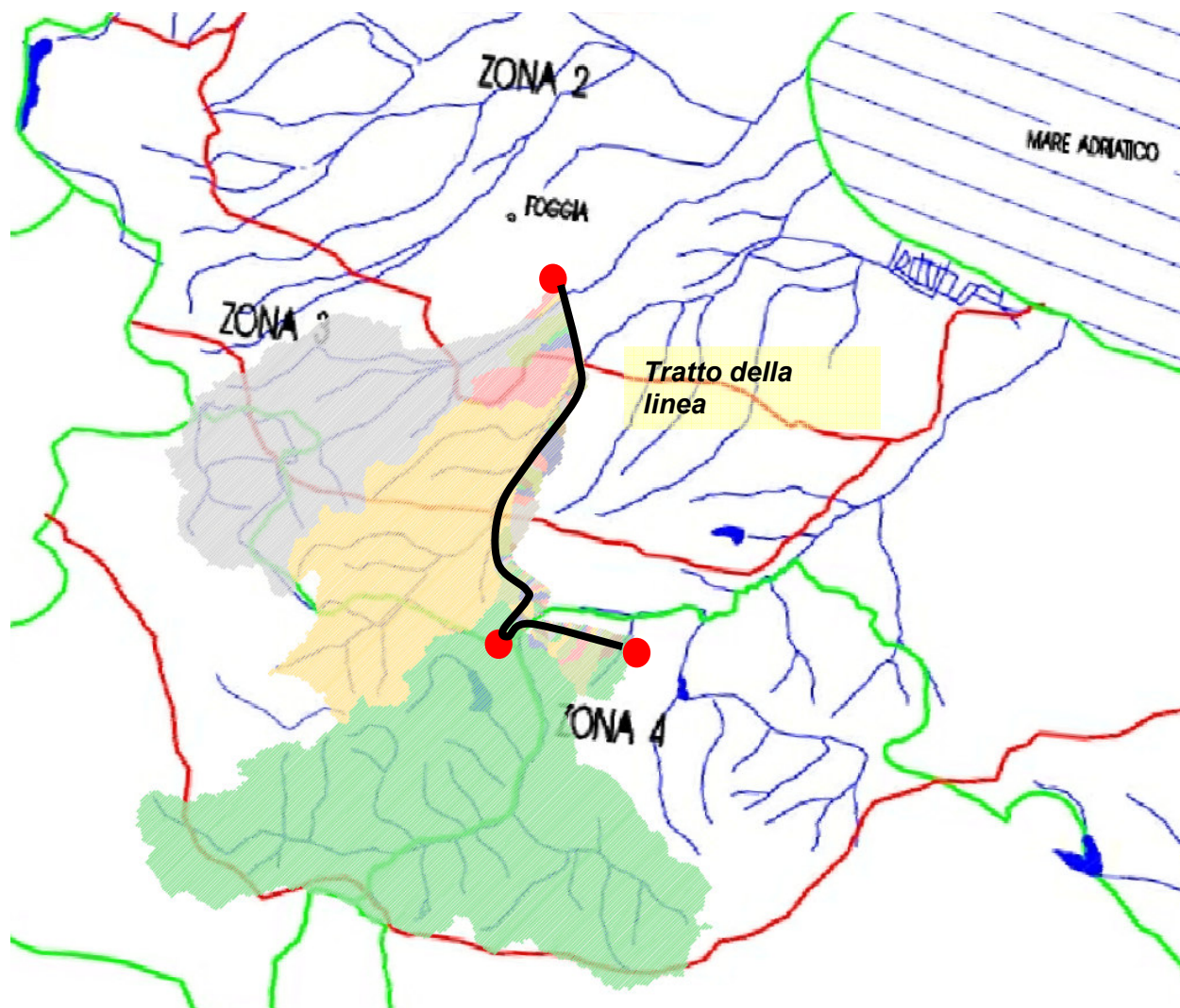


Figura 8 – Ripartizione dei bacini degli attraversamenti tra le zone pluviometriche omogenee (VAPI).

Per parte degli attraversamenti oggetto di intervento è stato possibile stimare le caratteristiche



geomorfologiche utili per il calcolo dei tempi di corrivazione e, quindi, delle portate di progetto. Nella Tabella 15, Tabella 16, Tabella 17, Tabella 18 e Tabella 19 si riportano le caratteristiche dei bacini afferenti ai suddetti attraversamenti e alle canalizzazioni in progetto.

Per altri attraversamenti idraulici, invece, non è stato possibile stimare le caratteristiche geomorfologiche utili per il calcolo dei tempi di corrivazione dei bacini afferenti; questi sono stati quindi considerati come compluvi minori ovvero come parte sommitale di un bacino idrografico che si chiuderebbe a valle della linea ferroviaria. Le portate di progetto degli attraversamenti idraulici e delle canalizzazioni a cui corrispondono compluvi minori sono state determinate grazie alla stima di una relazione tra la portata al colmo  $Q$  e la superficie scolante  $S$  per bacini geomorfologicamente, geologicamente e pluviometricamente simili.

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo								
Progressiva L.S.	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	ZONA PLUVIO	L [km]	H <sub>top</sub> [m s.m.m.]	H <sub>0</sub> [m s.m.m.]	H <sub>medio</sub> [m s.m.m.]	i <sub>m</sub>
12+595	IN01- IN27- IN02- IN28- IN03- IN29-IN04	0.42	Zona 2	1.33	90.0	85.0	87.5	0.004
24+063 (pk 23+842 di prog.)	IN05	1.67	Zona 3	2.35	239.0	143.5	191.3	0.041
39+503	IN06	0.21	Zona 4	0.79	309.0	270.0	289.5	0.049
45+776	IN13	0.08	Zona 4	0.32	281.0	233.5	257.3	0.039
45+861	IN14	0.03	Zona 4	0.24	375.0	233.5	304.3	0.031
45+951	IN15	0.54	Zona 4	1.60	355.0	233.5	294.3	0.032
47+590	IN16	0.04	Zona 4	0.18	300.0	225.0	262.5	0.155

Tabella 15 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Cervaro - Rocchetta Scalo.

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo								
Progr. di progetto	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	ZONA PLUVIO	L [km]	H <sub>top</sub> [m s.m.m.]	H <sub>0</sub> [m s.m.m.]	H <sub>medio</sub> [m s.m.m.]	i <sub>m</sub>
0+386.46 (LS: 43+805)	IN19	0.48	Zona 4	1.31	283.0	238.0	260.5	0.034
0+595 (LS: 44+017)	IN20	0.16	Zona 4	0.41	264.0	238.0	251.0	0.042
1+025 (LS: 44+515)	IN21	0.15	Zona 4	0.85	264.0	238.0	251.0	0.014
1+381.27 (LS: 44+893)	IN23	1.12	Zona 4	2.10	358.0	230.0	294.0	0.033
1+6345.54 (LS: 45+139)	IN25	0.37	Zona 4	0.98	283.0	233.5	258.3	0.050

Tabella 16 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante

Tratta Rocchetta Scalo - San Nicola di Melfi								
Progr. L.S.	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	ZONA PLUVIO	L [km]	H <sub>top</sub> [m s.m.m.]	H <sub>0</sub> [m s.m.m.]	H <sub>medio</sub> [m s.m.m.]	i <sub>m</sub>
3+052	IN18-NI15	0.17	Zona 4	0.49	312.0	218.0	265.0	0.109

Tabella 17 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Rocchetta Scalo - San Nicola di Melfi.

Attraversamenti viabilità di ricucitura								
Progr. L.S.	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	ZONA PLUVIO	L [km]	H <sub>top</sub> [m s.m.m.]	H <sub>0</sub> [m s.m.m.]	H <sub>medio</sub> [m s.m.m.]	i <sub>m</sub>
23+208	NV16	0.64	Zona 3	0.90	196.0	140.0	168.0	0.044
24+063 (pk 23+842 di progetto)	IN05	1.67	Zona 3	2.35	239.0	143.5	191.3	0.041
24+290	NV16	0.83	Zona 3	1.20	228.0	145.0	186.5	0.046
38+892	NV06-Asse C1	1.12	Zona 4	1.82	430	260.2	345.09	0.033
39+111	NI04	0.12	Zona 4	0.81	315.0	270.0	292.5	0.037
39+157	NI04	0.05	Zona 4	0.44	295.0	270.0	282.5	0.034
39+239	NI05	0.86	Zona 4	2.01	463.0	270.0	366.5	0.065
39+503	IN06	0.21	Zona 4	0.79	309.0	270.0	289.5	0.049

Tabella 18 - Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini afferenti agli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente

Tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi								
Progr. L.S.	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	ZONA PLUVIO	L [km]	H <sub>top</sub> [m s.m.m.]	H <sub>0</sub> [m s.m.m.]	H <sub>medio</sub> [m s.m.m.]	i <sub>m</sub>
36+253	RI01	3.99	Zona 4	2.07	325.6	252.0	288.8	0.036

Tabella 19 – Elenco delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini delle canalizzazioni in progetto sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo.

Tutti gli attraversamenti elencati in precedenza presentano bacini caratterizzati da una estensione inferiore a 10km<sup>2</sup>; per il calcolo del tempo di corrivazione sono state quindi utilizzate le formule di Ventura, Pasini, Pezzoli e Kerby.

La precipitazione di riferimento è stata calcolata mediante l'applicazione delle curve regionali definite nel progetto VAPI ipotizzando un tempo di corrivazione pari alla media dei valori ottenuti con le formule sopra elencate. Si ottiene in questo modo il valore indice della precipitazione che va moltiplicato per il fattore di crescita diverso a seconda del tempo di ritorno da assumere come riferimento.

Dall'analisi della destinazione d'uso delle aree afferenti agli attraversamenti sono stati associati dei coefficienti di deflusso diversi a seconda delle caratteristiche del bacino:

- $\phi = 0.30$  per bacini aventi una conformazione molto allungata e pendenza inferiore all'1%;
- $\phi = 0.40$  per bacini di estensione superiore ai 10 km<sup>2</sup>;
- $\phi = 0.45$  per bacini di estensione compresa tra 2 km<sup>2</sup> e 10 km<sup>2</sup>;
- $\phi = 0.50$  per bacini molto piccoli (superficie inferiore ai 2 km<sup>2</sup>) e pendenza superiore all'1%.

Tali coefficienti appaiono cautelativi, se si considera che le tratte ferroviarie oggetto d'interesse attraversano territori prevalentemente destinati alla coltivazione che non presentano, in generale una rete di colo naturale ben definita. Soprattutto per i bacini minori non si identificano delle incisioni marcate sul territorio.

I risultati del calcolo dei tempi di corrivazione e della precipitazione corrispondente, ricavata con la metodologia VAPI, sono riportati nella Tabella 20, Tabella 21, Tabella 22, Tabella 23, Tabella 24, Tabella 25, Tabella 26, Tabella 27, Tabella 28 e Tabella 29.

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo								
Progressiva L.S.	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	t <sub>c</sub> Pasini [ore]	t <sub>c</sub> Pezzoli [ore]	t <sub>c</sub> Ventura [ore]	t <sub>c</sub> Kerby [ore]	t <sub>c</sub> medio [ore]	C
12+595	IN01- IN27- IN02- IN28- IN03- IN29- IN04	0.42	1.41	1.16	1.30	1.43	1.32	0.50
24+063	IN05	1.67	0.84	0.64	0.81	1.08	0.84	0.50
39+503	IN06	0.21	0.27	0.20	0.26	0.63	0.34	0.50
45+776	IN13	0.08	0.16	0.09	0.18	0.43	0.22	0.50
45+861	IN14	0.03	0.12	0.07	0.13	0.40	0.18	0.50
45+951	IN15	0.54	0.58	0.49	0.52	0.96	0.64	0.50
47+590	IN16	0.04	0.05	0.03	0.06	0.24	0.10	0.50

Tabella 20 – Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Cervaro – Rocchetta Scalo.

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo								
Progr. Di progetto	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	t <sub>c</sub> Pasini [ore]	t <sub>c</sub> Pezzoli [ore]	t <sub>c</sub> Ventura [ore]	t <sub>c</sub> Kerby [ore]	t <sub>c</sub> medio [ore]	C
0+386.46 (LS: 43+805)	IN19	0.48	0.50	0.39	0.48	0.86	0.56	0.50
0+595 (LS: 44+017)	IN20	0.16	0.21	0.11	0.25	0.48	0.26	0.50
1+025 (LS: 44+515)	IN21	0.15	0.46	0.40	0.42	0.87	0.53	0.50
1+381.27 (LS: 44+893)	IN23	1.12	0.79	0.64	0.74	1.08	0.81	0.50
1+635.54 (LS: 45+139)	IN25	0.37	0.34	0.24	0.35	0.69	0.4	0.50

Tabella 21 – Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici

Tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi								
Progressiva L.S.	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	t <sub>c</sub> Pasini [ore]	t <sub>c</sub> Pezzoli [ore]	t <sub>c</sub> Ventura [ore]	t <sub>c</sub> Kerby [ore]	t <sub>c</sub> medio [ore]	C
3+052	IN18-NI15	0.17	0.14	0.08	0.16	0.42	0.20	0.50

Tabella 22 – Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.

Attraversamenti viabilità di ricucitura								
Progressiva L.S.	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	t <sub>c</sub> Pasini [ore]	t <sub>c</sub> Pezzoli [ore]	t <sub>c</sub> Ventura [ore]	t <sub>c</sub> Kerby [ore]	t <sub>c</sub> medio [ore]	C
23+208	NV16	0.64	0.43	0.24	0.49	0.68	0.46	0.5
24+063 (pk 23+842 di progetto)	IN05	1.67	0.84	0.64	0.81	1.08	0.84	0.5
24+290	NV16	0.83	0.5	0.31	0.54	0.77	0.53	0.5
38+892	NV06 Asse C1	1.12	0.76	0.55	0.74	1.01	0.77	0.5
39+111	NI04	0.12	0.26	0.23	0.23	0.68	0.35	0.5
39+157	NI04	0.05	0.16	0.13	0.15	0.52	0.24	0.5
39+239	NI05	0.86	0.51	0.43	0.46	0.91	0.58	0.5
39+503	IN06	0.21	0.27	0.20	0.26	0.63	0.34	0.5

Tabella 23 – Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini afferenti agli attraversamenti di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo								
Progressiva L.S.	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	t <sub>c</sub> Pasini [ore]	t <sub>c</sub> Pezzoli [ore]	t <sub>c</sub> Ventura [ore]	t <sub>c</sub> Kerby [ore]	t <sub>c</sub> medio [ore]	C
36+253	RI01	3.99	1.15	0.60	1.34	1.05	1.04	0.45

Tabella 24 – Elenco dei tempi di corrivazione relativi ai bacini delle canalizzazioni in progetto sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo.

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo						
Progressiva L.S.	WBS	H [mm] Tr=10	h [mm] Tr=50	h [mm] Tr=100	h [mm] Tr=200	h [mm] Tr=300
12+595	IN01- IN27- IN02- IN28- IN03- IN29- IN04	36.2	52.2	59.1	65.8	69.8
24+063	IN05	37.4	53.8	60.9	67.8	72.0
39+503	IN06	28.4	41.0	46.4	51.7	54.8
45+776	IN13	25.4	36.6	41.4	46.1	48.9
45+861	IN14	24.2	34.8	39.5	43.9	46.6
45+951	IN15	33.5	48.2	54.6	60.8	64.5
47+590	IN16	20.6	29.7	33.6	37.4	39.7

Tabella 25 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Cervaro – Rocchetta Scalo.

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo						
Progr.	WBS	H [mm] Tr=10	h [mm] Tr=50	h [mm] Tr=100	h [mm] Tr=200	h [mm] Tr=300
0+386.46 (LS: 43+805)	IN19	32.3	46.6	52.8	58.7	62.3
0+595 (LS: 44+017)	IN20	26.6	38.4	43.5	48.4	51.4
1+025 (LS: 44+515)	IN21	32.0	46.1	52.2	58.1	61.6
1+381.27 (LS: 44+893)	IN23	35.6	51.3	58.1	64.6	68.6
1+635.54 (LS: 45+139)	IN25	29.8	42.9	48.6	54.1	57.4

Tabella 26 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante

Tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi								
Progressiva L.S.	WBS	h [mm] Tr=10	h [mm] Tr=20	h [mm] Tr=30	h [mm] Tr=50	h [mm] Tr=100	h [mm] Tr=200	h [mm] Tr=300
3+052	IN18-NI15	24.9	29.6	32.4	35.8	40.6	45.1	47.9

Tabella 27 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.

Attraversamenti viabilità di ricucitura						
Progressiva L.S.	WBS	H [mm] Tr=10	h [mm] Tr=50	h [mm] Tr=100	h [mm] Tr=200	h [mm] Tr=300
23+208	NV16	33.6	48.4	54.8	61.0	64.8
24+063 (pk 23+842 di progetto)	IN05	37.4	53.8	60.9	67.8	72.0
24+290	NV16	34.4	49.6	56.2	62.5	66.3
39+111	NI04	22.9	33.0	37.3	41.5	44.1
39+157	NI04	19.3	27.8	31.4	35.0	37.1
39+239	NI05	32.6	47.0	53.2	59.2	62.9
39+503	IN06	28.4	41.0	46.4	51.7	54.8

Tabella 28 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente

Attraversamenti viabilità di ricucitura						
Progressiva L.S.	WBS	H [mm] Tr=10	h [mm] Tr=50	h [mm] Tr=100	h [mm] Tr=200	h [mm] Tr=300
36+253	RI01	37.9	54.6	61.8	68.8	73.0

Tabella 29 – Elenco delle precipitazioni relative ai bacini delle canalizzazioni in progetto sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo.

Nella Tabella 30, Tabella 31, Tabella 32, Tabella 33 e Tabella 34 sono elencate le portate di riferimento per i bacini afferenti agli attraversamenti secondari oggetto di intervento lungo le tratte Cervaro – Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi, lungo i tratti in variante, le viabilità di ricucitura e le canalizzazioni in progetto.

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo							
Progressiva		Area [km <sup>2</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=10	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=50	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=100	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300
12+595	IN01-IN27- -IN02- IN28-IN03- IN29-IN04	0.42	1.60	2.30	2.60	2.90	3.07
24+063	IN05	1.67	10.26	14.79	16.75	18.64	19.79
39+503	IN06	0.21	2.45	3.53	4.00	4.45	4.73
45+776	IN12	0.08	1.30	1.88	2.13	2.37	2.51
45+861	IN13	0.03	0.56	0.81	0.92	1.02	1.08
45+951	IN15	0.54	3.94	5.67	6.42	7.15	7.59
47+590	IN16	0.04	1.20	1.72	1.95	2.17	2.31

Tabella 30 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici lungo la tratta Cervaro – Rocchetta Scalo.

Tratta Cervaro – Rocchetta Scalo							
Progressiva di progetto	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=10	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=50	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=100	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300
0+386 (LS: 43+805)	IN19	0.48	3.86	5.56	6.30	7.01	7.44
0+595 (LS: 44+017)	IN20	0.16	2.26	3.26	3.69	4.10	4.36
1+025 (LS: 44+515)	IN21	0.15	1.25	1.80	2.03	2.26	2.40
1+381 (LS: 44+893)	IN23	1.12	6.82	9.82	11.12	12.37	13.14
1+635 (LS: 45+139)	IN25	0.37	3.78	5.45	6.17	6.86	7.29

Tabella 31 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici lungo la linea ferroviaria in variante

Tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi							
Progressiva	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=10	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=50	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=100	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300
3+052	IN18	0.17	2.94	4.24	4.80	5.34	5.67

Tabella 32 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti



*idraulici lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi.*

Attraversamenti viabilità di ricucitura							
Progressiva	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=10	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=50	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=100	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300
23+208	NV16	0.64	6.53	9.40	10.65	11.85	12.58
24+063 (pk 23+842 di progetto)	IN05	1.67	10.26	14.79	16.75	18.64	19.79
24+290	NV16	0.83	7.48	10.77	12.20	13.58	14.41
38+892	NV06 Asse C1	1.12	6.73	9.69	10.97	12.21	12.97
39+111	NI04	0.12	1.09	1.58	1.78	1.99	2.11
39+157	NI04	0.05	0.55	0.80	0.90	1.00	1.07
39+239	NI05	0.86	6.75	9.72	11.01	12.25	13.00
39+503	IN06	0.21	2.45	3.53	4.00	4.45	4.73

*Tabella 33 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità*

Attraversamenti viabilità di ricucitura							
Progressiva	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=10	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=50	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=100	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300
36+253	RI01	3.99	6.75	9.72	11.01	12.25	13.00

*Tabella 34 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative ai bacini delle canalizzazioni in progetto sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo.*

Come detto, la portata di progetto degli attraversamenti idraulici a cui corrispondono dei compluvi minori è stata determinata grazie alla stima di una relazione tra la portata al colmo Q e la superficie scolante S per bacini geomorfologicamente, geologicamente e pluviometricamente simili.

Per determinare la portata nei compluvi minori si può utilizzare una formulazione monomia del tipo:

$$Q = c \cdot S^n$$

in accordo agli studi di Mele (1976), Gherardelli-Marchetti (1955), ecc. Tale formulazione mette in relazione la portata al colmo  $Q$  dalla superficie scolante  $S$  per bacini geomorfologicamente, geologicamente e pluviometricamente simili, quali quelli analizzati nel presente studio. Tale formulazione scritta in termini logaritmici assume la forma:

$$\log Q = c + n \cdot \log S$$

che rappresenta nel piano bi-logaritmico una retta di intercetta  $c$  e coefficiente angolare  $n$ . I compluvi minori ricadono tutti nella zona pluviometrica omogenea numero 4, secondo lo studio VAPI, di conseguenza sono stati presi in considerazione solamente i bacini per cui è stata individuata una portata e ricadono nella medesima zona pluviometrica omogenea. Nei grafici seguenti sono riportati nel piano bi-logaritmico i valori di portata determinati con il metodo cinematico, per i vari tempi di ritorno, in funzione dell'area del bacino scolante.

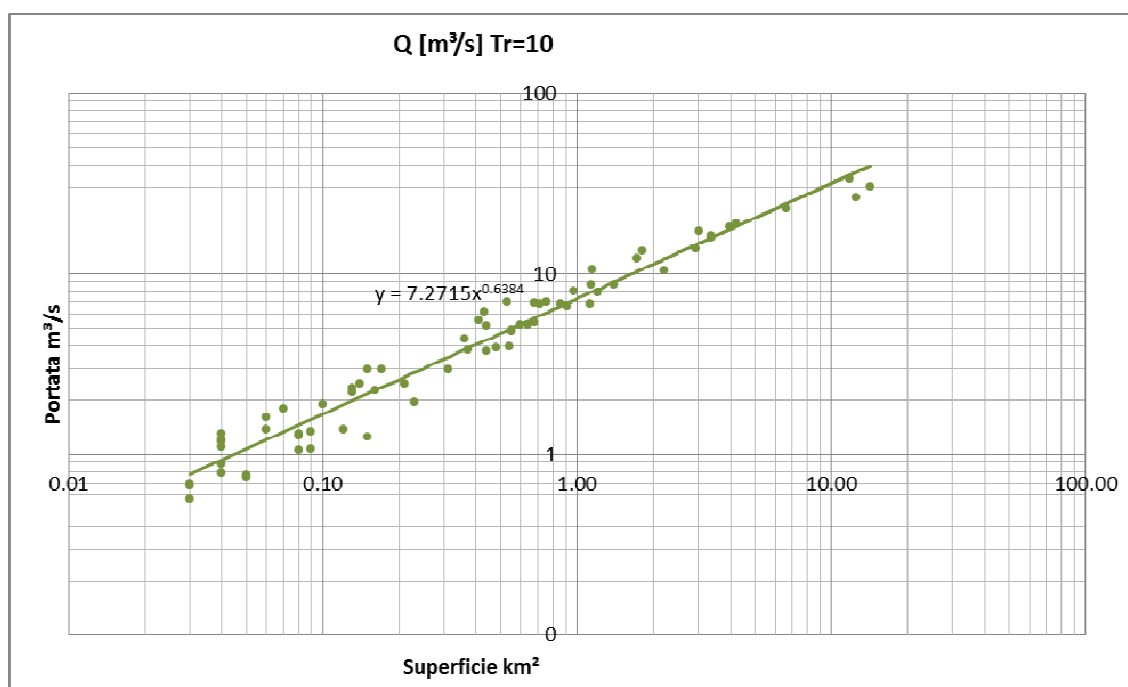


Figura 9 – Grafico  $Q=cS^n$  per i risultati del modello cinematico per  $Tr = 10$  anni.

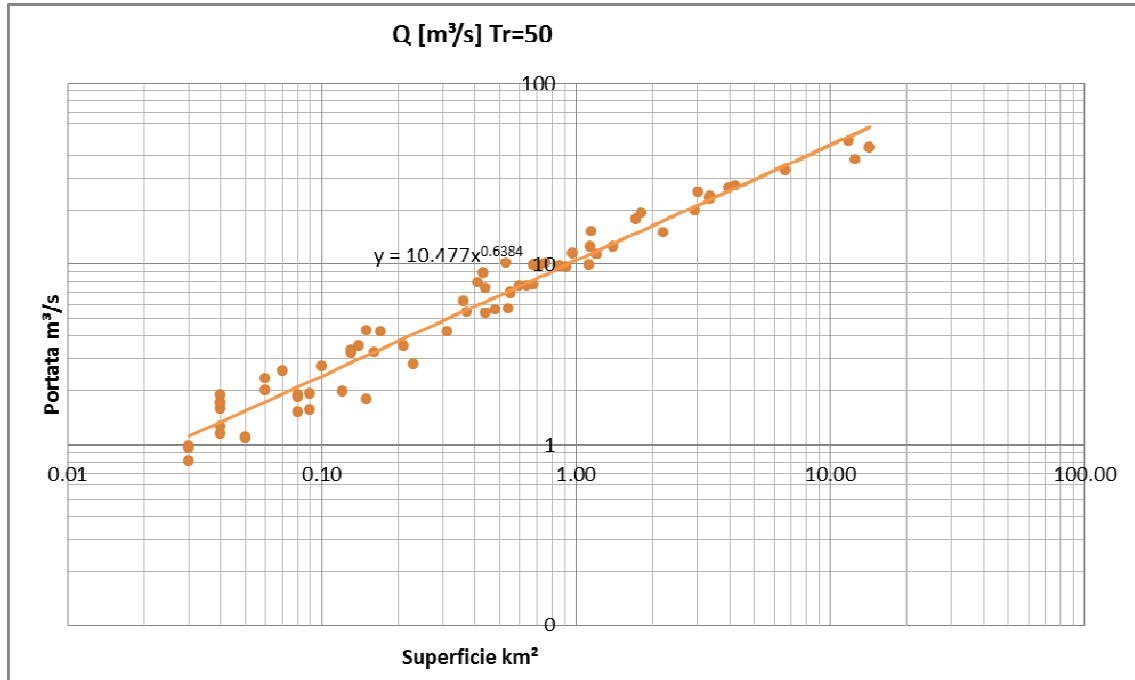


Figura 10 – Grafico  $Q=cS^n$  per i risultati del modello cinematico per  $Tr = 50$  anni.

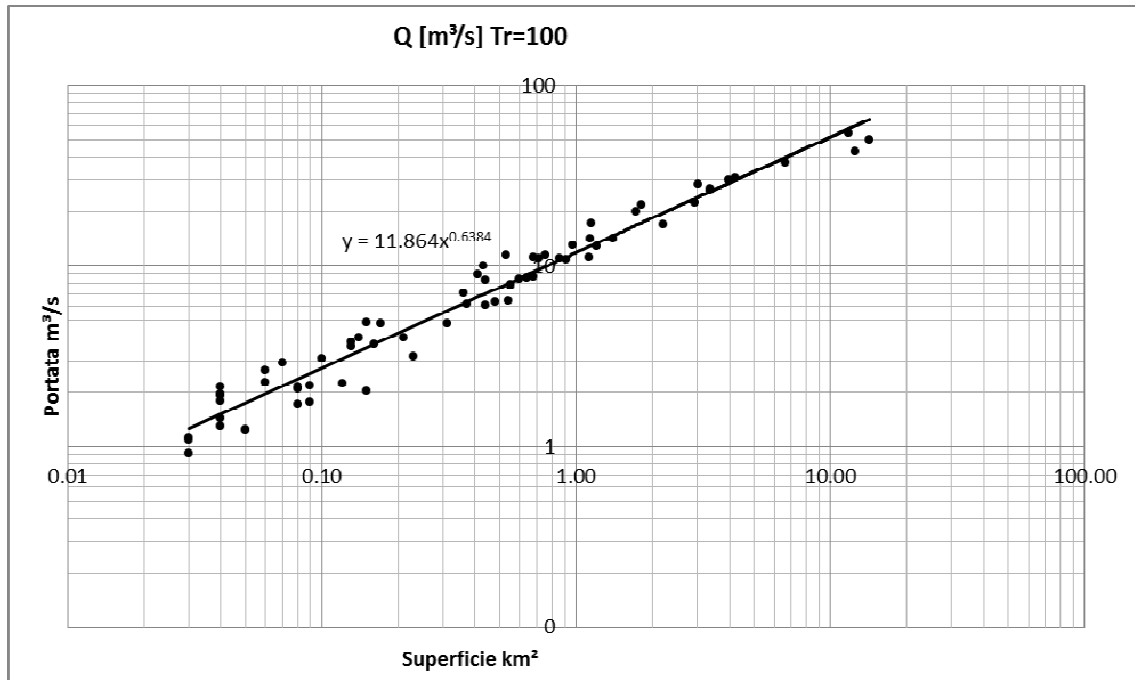


Figura 11 – Grafico  $Q=cS^n$  per i risultati del modello cinematico per  $Tr = 100$  anni.

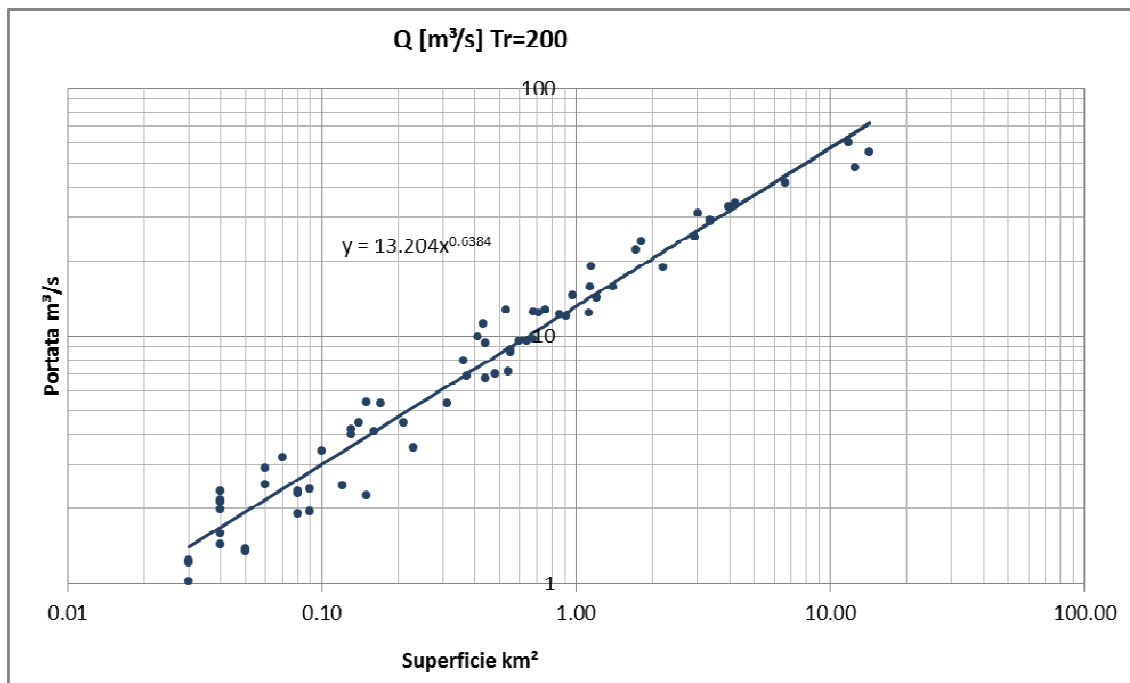


Figura 12 – Grafico  $Q=cS^n$  per i risultati del modello cinematico per  $Tr = 200$  anni.

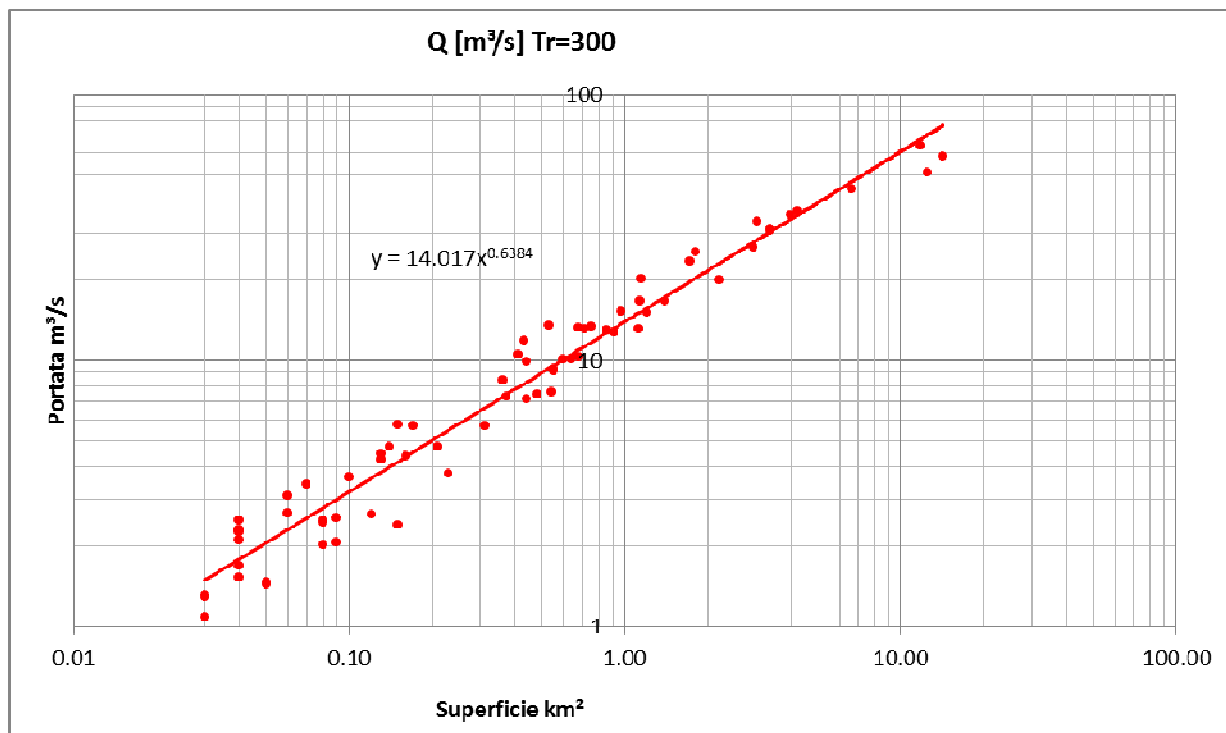


Figura 13 – Grafico  $Q=cS^n$  per i risultati del modello cinematico per  $Tr = 300$  anni.

Dai grafici si evince come i dati siano ben interpolati da cinque rette i cui coefficienti angolari

sono pari a 0.6384 e un'intercetta pari a:

- 7.2715 per Tr 10 anni;
- 10.477 per Tr 50 anni;
- 11.864 per Tr 100 anni;
- 13.204 per Tr 200 anni;
- 14+017 per Tr 300 anni.

La valutazione delle portate generabili di compluvi minori è condotta usufruendo della formulazione monomia  $Q = c \cdot S^n$  sopra esposta, vista la bontà dei risultati così ottenuti.

Nella Tabella 35, Tabella 36, Tabella 37, Tabella 38 e Tabella 39 sono elencati i risultati per i compluvi minori afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea Cervaro – Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi, lungo i tratti in variante e le viabilità di ricucitura.

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo							
Progr. L.S.	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=10	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=50	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=100	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300
40+848	IN07	0.02	0.60	0.86	0.98	1.09	1.15
41+829	IN08	0.03	0.78	1.12	1.26	1.41	1.49
42+169	IN09	0.02	0.60	0.86	0.98	1.09	1.15
42+443	IN10	0.03	0.78	1.12	1.26	1.41	1.49
43+117 (pk 43+170 di progetto)	IN11	0.01	0.38	0.55	0.63	0.70	0.74
45+895	IN14	0.04	1.20	1.73	1.96	2.18	2.32

*Tabella 35 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione  $Q=cS^n$  per gli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea storica Cervaro - Rocchetta Scalo.*

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo							
Progressiva	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=10	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=50	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=100	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300
LS: 44+736	-	0.04	0.93	1.34	1.52	1.69	1.80

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo							
Progressiva	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=10	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=50	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=100	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300
LS: 44+837	IN22	0.02	0.60	0.86	0.98	1.09	1.15
1+325 (LS: 44+837)		0.05	1.07	1.55	1.75	1.95	2.07

Tabella 36 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione  $Q=cS^n$  per gli attraversamenti idraulici oggetto di intervento lungo la linea ferroviaria in variante

Tratta Rocchetta Scalo - San Nicola di Melfi							
Progressiva	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=10	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=50	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=100	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300
1+831	IN17	0.04	0.93	1.34	1.52	1.69	1.80

Tabella 37 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione  $Q=cS^n$  per gli attraversamenti idraulici oggetto di intervento della tratta Cervaro - Rocchetta Scalo.

Attraversamenti viabilità di ricucitura							
Progressiva	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=10	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=50	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=100	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300
39+462	NI06	0.01	0.38	0.55	0.63	0.70	0.74

Tabella 38 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione  $Q=cS^n$  per gli attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo le viabilità di ricucitura alla viabilità esistente

Attraversamenti viabilità di ricucitura							
Progressiva	WBS	Area [km <sup>2</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=10	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=50	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=100	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300
39+281		0.02	0.60	0.86	0.98	1.09	1.15

Tabella 39 – Compluvi minori: portate desunte dalla formulazione  $Q=cS^n$  per le canalizzazioni in progetto sulla linea ferroviaria Cervaro – Rocchetta Scalo.

## 10 BIBLIOGRAFIA

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

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.

Caroni E., D'Alpaos L., Fattorelli S., Rossi F., Ubertini L., Versace P., Marchi E., *Valutazione delle piene*, C.N.R. °165, 1982.

Copertino V.A. e Fiorentino M., *Valutazione delle piene in Puglia*, Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente e GNDCI (Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), Potenza, 1994.

Da Deppo L., Datei C., "Le opere idrauliche nelle costruzioni stradali", Ed. BIOS, Cosenza, 1999.

Da Deppo L., Datei C., Salandin P., "Sistemazione dei corsi d'acqua", Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2004.

Datei C., "Lezioni di Idraulica", Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1993.

Ermini R. e M. Fiorentino, *I tempi di ritardo caratteristici dei bacini idrografici*, in: Copertino, V.A. e M. Fiorentino (a cura di), *Valutazione delle piene in Puglia*, Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente, Università della Basilicata e GNDCI-CNR, 121-143, 1994.

Hall, M.J. *Urban Hydrology*, Elsevier, London, 1984.

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

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

Prescrizioni generali per la progettazione di RFI (PTP).

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

Ven Te Chow, "Open-channel hydraulics", McGraw-Hill. Tokyo, 1959.



COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMA INVESTIMENTI DIRETTRICE SUD

PROGETTAZIONE:



**CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO**

**S.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA SUD**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO  
SOTTOPROGETTO 2 – ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO,  
SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE**

**LOTTO 02 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E  
CONSOLIDAMENTO SEDE**

**Relazione idrologico - idraulica**

SCALA:

-----

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

I A 4 M    0 0    E    7 8    R I    I D 0 0 0 2    0 0 6    A

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Emissione esecutiva	L.Galloppa	Dicembre 2021	Di Domenico Antonio	Dicembre 2021	L.Diaferia	Dicembre 2021	ITA FERROVIE S.p.A. Gruppo Ferrovie dello Stato Direzione Nazionale S.O. Progettazione Integrata e Field Engineering Dott. Ing. Francesco Sacchi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n. 23172 Sr

File: IA4M00E78RIID0002006A.DOCX

n. Elab.

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO NORMATIVO E STUDI PREGRESSI</b>	<b>9</b>
2.1	Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia	<b>9</b>
2.2	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- Autorità di Bacino della Puglia	<b>11</b>
2.3	Studi pregressi	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO DELL'AREA E OBIETTIVO DELLO STUDIO</b>	<b>15</b>
3.1	Oggetto dello studio	<b>15</b>
3.2	Inquadramento generale	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>BACINO IDROGRAFICO</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>IL RILIEVO DELLA ZONA</b>	<b>18</b>
5.1	Rilievo LIDAR e rilievo celerimetrico	<b>18</b>
5.2	Rilievo delle opere idrauliche	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>STUDIO IDROLOGICO</b>	<b>20</b>
6.1	Modelli probabilistici per l'analisi statistica delle piogge e delle portate	<b>20</b>
6.1.1	<i>Il modello probabilistico TCEV</i>	<b>20</b>
6.1.2	<i>Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri</i>	<b>21</b>
6.1.3	<i>Curve regionali di crescita delle precipitazioni</i>	<b>23</b>
6.2	Analisi delle precipitazioni con il metodo VAPI PUGLIA	<b>23</b>
6.3	Analisi statistica regionale delle piene	<b>27</b>
6.4	Definizione delle portate	<b>34</b>
6.4.1	<i>Metodologia di stima delle portate e degli idrogrammi di piena dei corsi d'acqua principali</i>	<b>34</b>
6.4.2	<i>Il modello di Nash</i>	<b>37</b>
6.4.3	<i>Il fattore di scala e di forma nel modello di Nash</i>	<b>38</b>
6.4.4	<i>Deflusso profondo</i>	<b>39</b>
6.4.5	<i>Idrogrammi di piena</i>	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>STUDIO IDRAULICO</b>	<b>41</b>
7.1	Geometria di calcolo	<b>42</b>
7.2	Condizioni al contorno	<b>43</b>
7.3	Risultati delle simulazioni idrauliche	<b>44</b>
7.3.1	<i>Confronto con la mappatura delle pericolosità del PSDA</i>	<b>49</b>
7.3.2	<i>Confronto con la mappatura delle pericolosità dello "Studio Per La Definizione Delle Opere Necessarie Alla Messa In Sicurezza Del Reticolo Idraulico Pugliese"</i>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>50</b>
	<b>APPENDICE A - IL MODELLO IDRAULICO INFOWORKS ICM</b>	<b>51</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Immagine aerea con indicazione del P.L. da sopprimere e la NV16 (in rosso) in affiancamento alla tratta ferroviaria Cervaro-Rocchetta (in blu) .....	6
Figura 2 – Stralcio delle Aree di esondazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Puglia, con in rosso la viabilità NV16 .....	7
Figura 3 – Aree di rischio e aree di esondazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Puglia, in rosso la tratta ferroviaria Cervaro-Rocchetta-S.Nicola di Melfi .....	10
Figura 4 – Aree di rischio e aree di esondazione del (PAI), in corrispondenza del Torrente Carapelle. ...	11
Figura 5 - Aree di inondazione per il Torrente Carapelle secondo lo Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese – Allegato 5.1.5_CAR01_1D_tav5.....	12
Figura 6 - Aree di inondazione per il Torrente Carapelle secondo lo Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese –Allegato 5.1.4_CAR01_1D_tav4.....	13
Figura 7 - Inquadramento dell'area di studio del progetto (si veda documento IA0R_00_0_11_RI_ID0002_003_A) .....	14
Figura 8 - Inquadramento dell'area.....	15
Figura 9 – Bacino del Torrente Carapelle.....	17
Figura 10 – Copertura rilievo LiDAR.....	18
Figura 11 – Modello del terreno TIN dell'area di studio .....	19
Figura 12 – Zone omogenee rispetto al valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere.....	26
Figura 13 - Coefficienti probabilistici di piena (C*) relativi alle diverse aree delimitate dai bacini idrografici della Puglia Settentrionale sottesi dalle stazioni del S.I.M.I.....	33
Figura 14 – Idrogrammi di piena Torrente Carapelle .....	40
Figura 15 - Schermata del software di simulazione idraulica InfoWorks ICM.....	41
Figura 16 - Estensione complessiva dell'area di studio. Nell'ingrandimento è rappresentato un dettaglio della mesh di calcolo. ....	43
Figura 17 - Evento TR50 del Torrente Carapelle: altezze massime simulate dal modello idraulico nell'area in esame .....	44
Figura 18 - Evento TR100 del Torrente Carapelle: altezze massime simulate dal modello idraulico nell'area in esame.....	45
Figura 19 - Evento TR200 del Torrente Carapelle: altezze massime simulate dal modello idraulico nell'area in esame.....	45
Figura 20 - Evento TR300 del Torrente Carapelle: altezze massime simulate dal modello idraulico nell'area in esame.....	46
Figura 21 – Ubicazione delle sezioni di controllo .....	46
Figura 22 – Livello idrometrico per l'evento TR300 in corrispondenza della sezione 1.....	47
Figura 23 – Livello idrometrico per l'evento TR300 in corrispondenza della sezione 2.....	48



	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettrificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A	Pag. 4 di 55

Figura 24 – Livello idrometrico per l’evento TR300 in corrispondenza della sezione 3..... 48

Figura 25 – Livello idrometrico per l’evento TR300 in corrispondenza della sezione 4..... 48

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettrificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - 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. ....	24
Tabella 2 – Valori del fattore di crescita per la zona in esame ricavata dall' Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia. ....	25
Tabella 3 - 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. ....	27
Tabella 4 - Stazioni considerate nell'analisi e relative statistiche delle serie dei massimi annuali.....	28
Tabella 5 - Parametri del VAPI per il I e II livello di regionalizzazione per la zona in esame ricavata dall'Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo di piena in Puglia. ....	28
Tabella 6 – Valori del fattore di crescita per la zona in esame ricavata dall' Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo di piena in Puglia. ....	29
Tabella 7 - Parametri delle curve di probabilità pluviometrica dei bacini (a, b= valori medi pesati sulla quota e sulle aree, a', b'= valori calcolati in base al fattore di riduzione areale). ....	32
Tabella 8 - Caratteristiche principali delle serie inerenti il terzo livello di regionalizzazione delle piene. ..	33
Tabella 9 - Caratteristiche principali delle serie inerenti il terzo livello di regionalizzazione delle piene. ..	35
Tabella 10 – Parametri delle curve di probabilità pluviometrica dei bacini calcolati in base al fattore di riduzione areale per il Torrente Carapelle. ....	35
Tabella 11 – Portate duecentennali e trecentennali per il Torrente Carapelle.....	36
Tabella 12 - Portate di progetto per le verifiche idrauliche. ....	36
Tabella 13 – Tabella riassuntiva dei massimi tiranti e livelli idrici rilevati nelle sezioni di controllo.....	47

## 1 PREMESSA

La presente relazione idraulica riporta gli esiti dello studio bidimensionale del Torrente Carapelle, realizzato a supporto del progetto della viabilità NV16 nell'ambito del Progetto Esecutivo di Ammodernamento della linea ferroviaria Foggia – Potenza, Lotto 2 Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. e Consolidamento sede.

La NV16 è una viabilità di ricucitura, posta parallelamente alla ferrovia dalla pk 21+853 alla pk 24+560, che consentirà l'accesso ad una proprietà in seguito alla soppressione del PL privato posto alla pk 21+731. La viabilità si sviluppa all'interno del territorio dei comuni di Ortona e di Ascoli Satriano (FG).



*Figura 1 – Immagine aerea con indicazione del P.L. da sopprimere e la NV16 (in rosso) in affiancamento alla tratta ferroviaria Cervaro-Rocchetta (in blu)*

La parte iniziale del tracciato ricade in "area ad alta pericolosità idraulica", così come si evince dalla figura seguente.

RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA4M	00 E 78	RI	ID0002	006	A	7 di 55

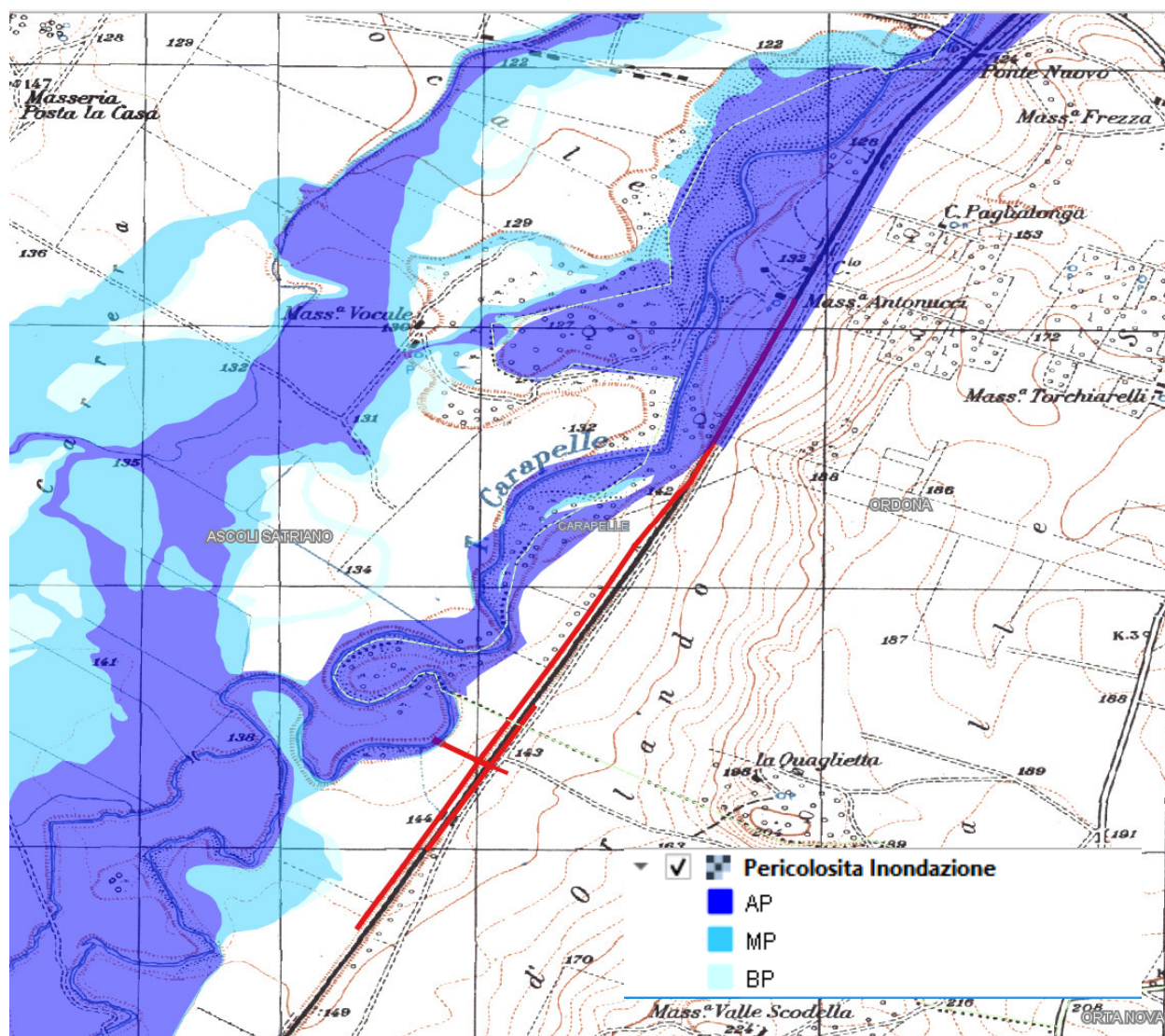


Figura 2 – Stralcio delle Aree di esondazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Puglia, con in rosso la viabilità NV16

Le norme di attuazione del PAI disciplinano all'art.7 gli interventi consentiti nelle aree ad alta pericolosità (A.P.), che qui si riporta:

“ARTICOLO 7 Interventi consentiti nelle aree ad alta pericolosità idraulica (A.P.)

1. Nelle aree ad alta probabilità di inondazione, oltre agli interventi di cui ai precedenti artt. 5 e 6 e con le modalità ivi previste, sono esclusivamente consentiti:

...(omissis)...

b) interventi di "adeguamento e ristrutturazione della viabilità e della rete dei servizi pubblici e privati

*esistenti, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale;*

*...(omissis)".*


*2. Per tutti gli interventi di cui al comma 1 l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata. Detto studio è sempre richiesto per gli interventi di cui ai punti a), b), d), e), h) e i).*

L'obiettivo del presente studio è quindi quello di indagare la modalità di propagazione della piena del Torrente Carapelle per tempo di ritorno pari a 200 e 300 anni, mediante un modello bidimensionale, nell'area di ubicazione della viabilità, per valutare la compatibilità idraulica dell'intervento in progetto.

La presente relazione, che descrive le metodologie di studio ed i risultati ottenuti dalla modellazione idraulica del Torrente Carapelle, si articola come segue:

- inquadramento normativo e breve descrizione degli strumenti di pianificazione territoriale in vigore,
- inquadramento generale della tratta ferroviaria Foggia – Potenza come da studi pregressi,
- inquadramento dell'area d'interesse per quanto concerne la progettazione della viabilità NV16,
- descrizione del bacino idrografico,
- studio idrologico e definizione delle portate ed idrogrammi di calcolo,
- studio idraulico e descrizione delle metodologie di studio per la verifica dell'estensione ed entità degli allagamenti risultanti da eventi di piena per il Torrente Carapelle.



	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettrificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

## 2 INQUADRAMENTO NORMATIVO E STUDI PREGRESSI

Il presente capitolo riassume gli strumenti di settore in vigore e gli studi pregressi con riferimento all'area ed al progetto in esame.

### 2.1 Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia

Il P.A.I., Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico adottato dalla ex Autorità di Bacino della Puglia – oggi Unit of Management Regionale Puglia e interregionale Ofanto dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale - che individua le aree a rischio idraulico ed idrogeologico, è stato adottato nel dicembre 2004 ed approvato nel novembre 2005.

La Relazione di Piano definisce 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, caratterizzate come segue:

- **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 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 a 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.

La Figura 3 mostra la planimetria delle aree a diversa probabilità di esondazione definite dalla ex Autorità di Bacino della Puglia all'interno del "Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico", aggiornate al 19-11-2019, con la tratta ferroviaria Cervaro-Rocchetta-S.Nicola di Melfi delineata in rosso.

La Figura 4 riporta un ingrandimento della Figura 3 in corrispondenza del Torrente Carapelle.

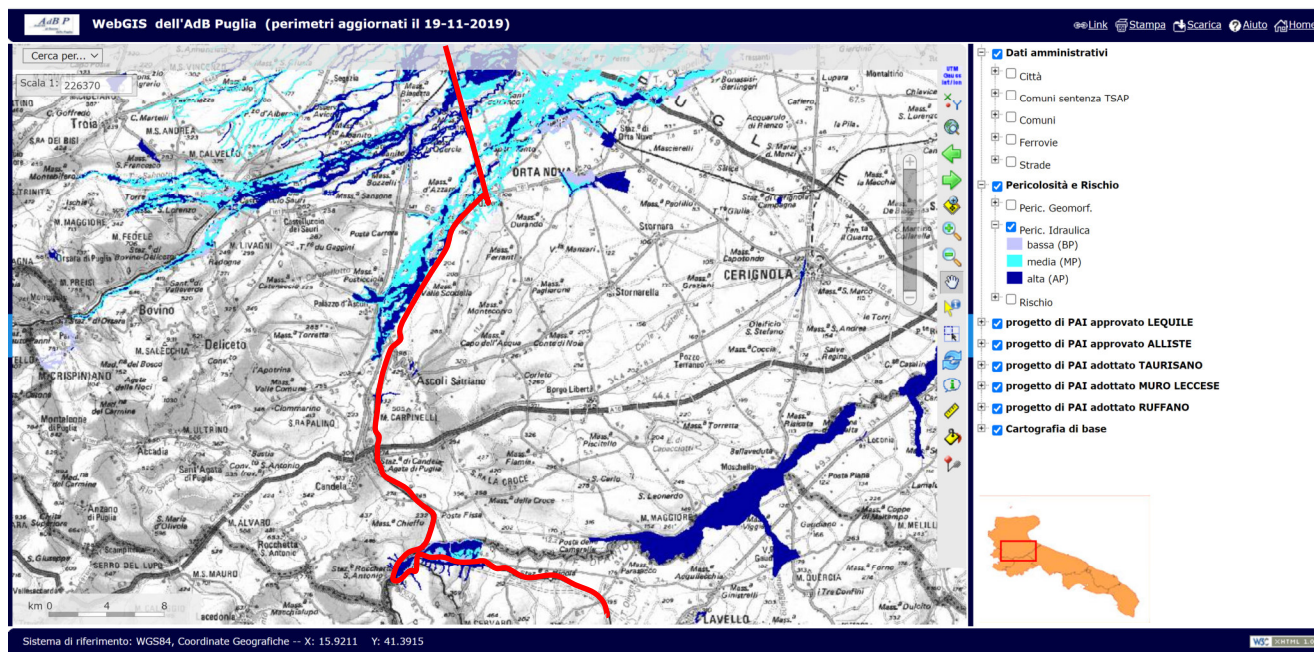


Figura 3 – Aree di rischio e aree di esondazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Puglia, in rosso la tratta ferroviaria Cervaro-Rocchetta-S.Nicola di Melfi

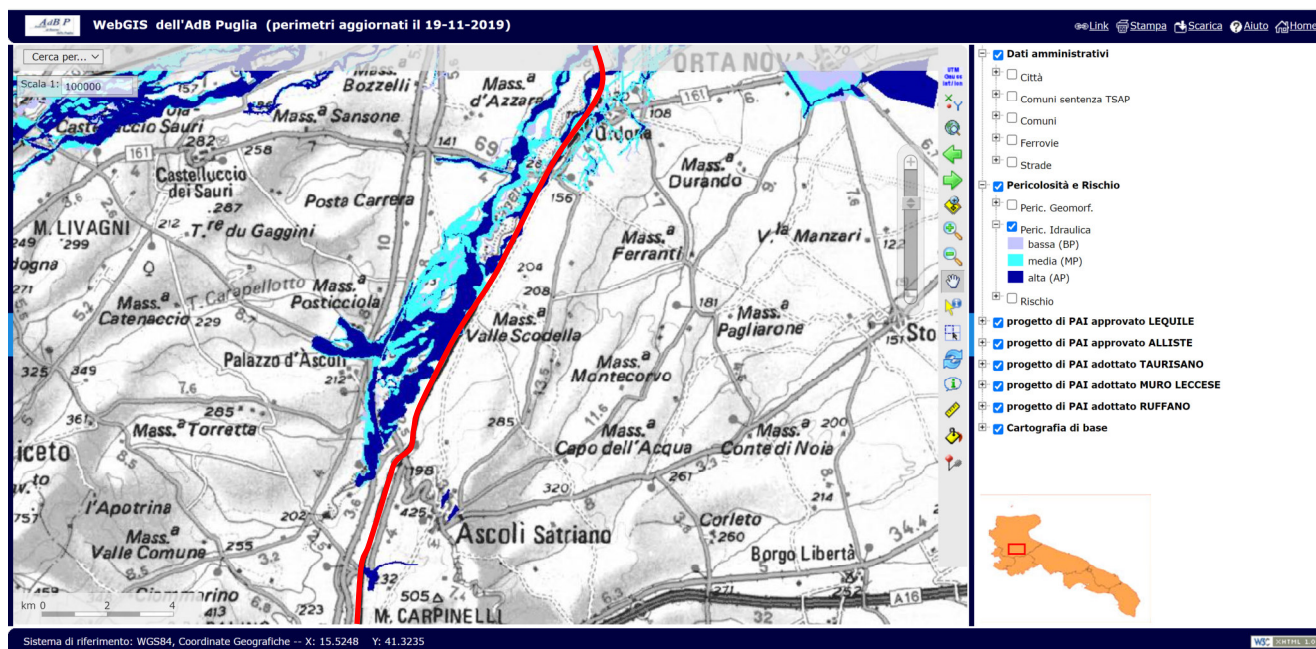


Figura 4 – Aree di rischio e aree di esondazione del (PAI), in corrispondenza del Torrente Carapelle.

## 2.2 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- Autorità di Bacino della Puglia

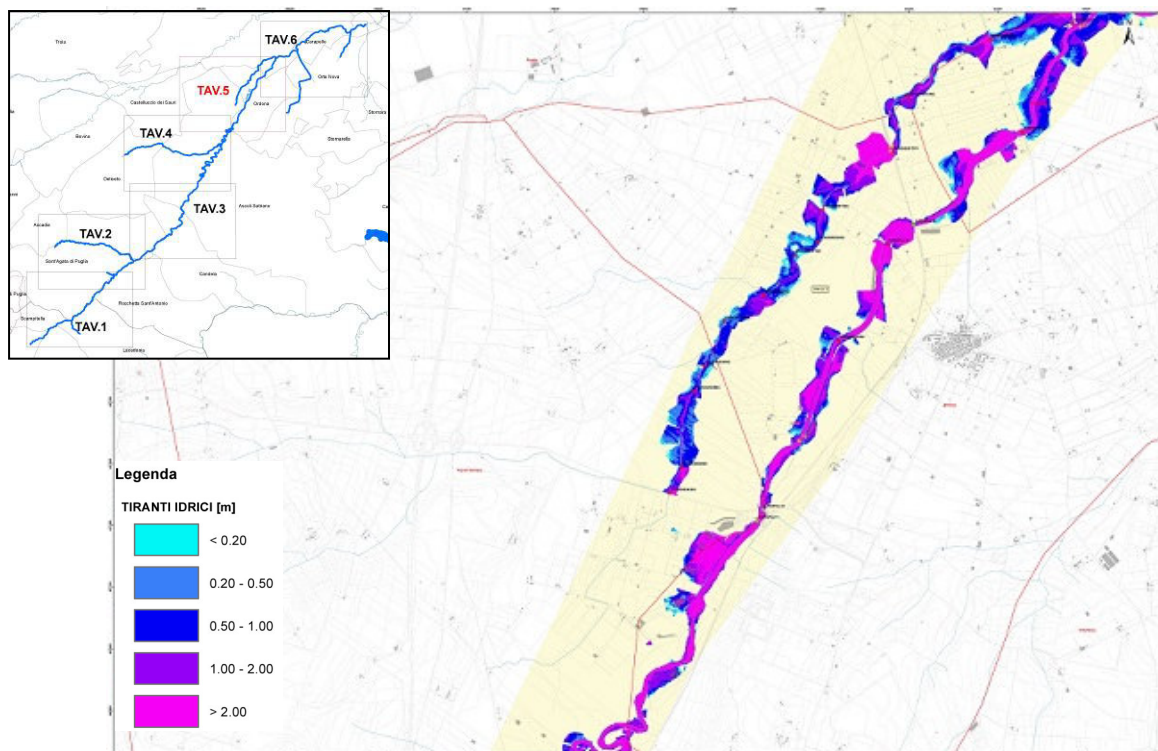
Le attività del disciplinare "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della regione Puglia" (2013) redatto dall'Autorità di Bacino della Puglia, intendono restituire un quadro completo, coerente ed aggiornato delle aree a criticità idraulica complessivamente presenti nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia e di individuare le azioni di mitigazione più appropriate per la messa in sicurezza delle aree a rischio, ad integrazione del progetto "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessate dagli eventi alluvionali di Ottobre e Novembre 2005 nelle province di Bari e Brindisi".

Il suddetto Studio del 2013 si compone delle seguenti parti:

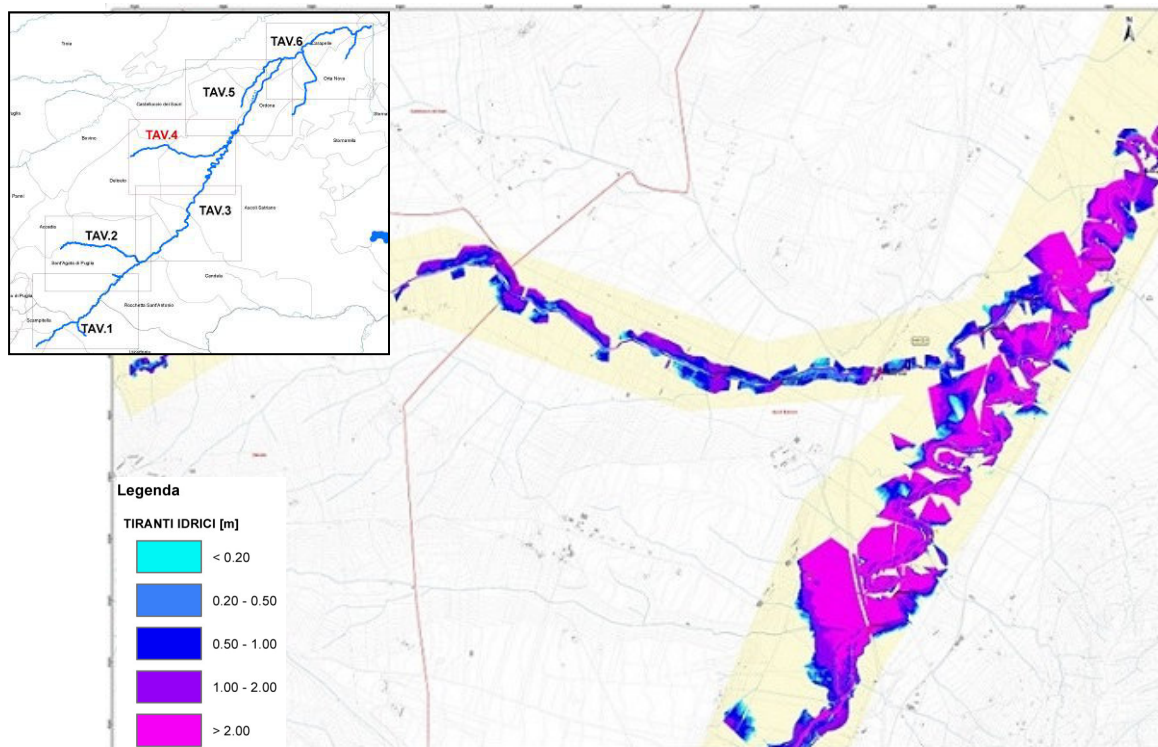
- integrazioni di dettaglio del quadro conoscitivo generale delle caratteristiche geomorfologiche, idrologiche ed idrauliche dei bacini idrografici afferenti i corsi delle aree di studio, attraverso l'organizzazione, l'informatizzazione e la strutturazione in database relazionale, di tutte le informazioni di natura territoriale ed ambientale disponibili, ottenute sulla base di studi e ricerche, nonché su quelle relative ad eventi alluvionali passati, interventi effettuati e risultati conseguiti;

- rilevamento topografico di dettaglio e restituzione in formato vettoriale dell'asse dei corsi d'acqua e di un congruo numero di sezioni trasversali, estese fino al limite della fascia di pertinenza fluviale, comprensivo del rilievo di dettaglio di tutti i manufatti interferenti con le predette aree di pertinenza;
- sviluppo di modellazioni di tipo mono e bidimensionale, anche attraverso l'ausilio di opportuni codici di calcolo preventivamente selezionati e sperimentati, della dinamica idrologica ed idraulica dei corsi d'acqua e delle aree endoreiche oggetto dello studio, secondo diverse condizioni di regime di moto, e mediante individuazione delle potenziali aree oggetto di inondazione, in funzione dei diversi tempi di ritorno degli eventi meteo climatici;
- definizione delle opere e/o interventi più efficaci per la salvaguardia e la messa in sicurezza del territorio a diverso grado di pericolosità idraulica e definizione di linee di indirizzo sulle più opportune tecniche di mitigazione dei rischi nelle aree a vario titolo interessate da pericolosità di inondazione.

In particolare, è stato modellato il Torrente Carapelle (CAR\_01) attraverso l'utilizzo del modello HEC-RAS monodimensionale implementando sezioni trasversali estese fino al limite della fascia di pertinenza fluviale. I risultati riguardanti l'area di interesse per il presente studio, sono rappresentati in Figura 5 e in Figura 6, corrispondenti rispettivamente agli Allegati 5.1.5\_CAR01\_1D\_tav5 e 5.1.4\_CAR01\_1D\_tav4.



**Figura 5 - Aree di inondazione per il Torrente Carapelle secondo lo Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese – Allegato 5.1.5\_CAR01\_1D\_tav5**



*Figura 6 - Aree di inondazione per il Torrente Carapelle secondo lo Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese –Allegato 5.1.4\_CAR01\_1D\_tav4*

### 2.3 Studi pregressi

Il presente studio idraulico è stato svolto considerando quanto riportato anche nella fase II del precedente studio specialistico "Sottoprogetto 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento", riguardante la valutazione del rischio idraulico della linea ferroviaria attraverso modellazioni mono-bidimensionali dei corsi d'acqua esistenti lungo la tratta Foggia – Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi della linea ferroviaria Foggia - Potenza.

Oggetto di questa seconda fase dello studio idraulico sono:

- i corsi d'acqua principali interferenti con gli assi ferroviari Foggia – Rocchetta Scalo e Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi: il torrente Cervaro, il torrente Carapelle e il Fiume Ofanto per i quali è stato sviluppato un modello idraulico bidimensionale;
- tutti gli attraversamenti secondari della linea Foggia - Rocchetta Scalo - San Nicola di Melfi, per i quali è stato implementato un modello monodimensionale in moto permanente.

In particolare, l'area modellata per il Torrente Carapelle nella suddetta fase II risulta essere direttamente a valle dell'area oggetto del presente studio (sezioni di chiusura del presente modello e quella iniziale del

modello della fase II coincidenti). Pertanto, per quanto riguarda l'idrologia di piena, si fa riferimento agli studi idrologici effettuati nello studio pregresso e descritti nella relazione di analisi del rischio idraulico IA0R\_00\_D\_11\_RI\_ID0002\_003 e nella relazione idrologica IA0R\_00\_D\_11\_RI\_ID0001\_001\_A, ricavando inoltre dagli stessi le condizioni di valle da implementare nel presente modello di monte.

In Figura 7 è riportato l'inquadramento dell'area coinvolta nello studio del rischio per la linea ferroviaria Foggia – Potenza, che si sviluppa in direzione Nord – Sud per circa 110 km, per metà nella regione Puglia e per l'altra metà nella regione Basilicata. Sono evidenziate la tratta Cervaro - Rocchetta Scalo (40 km, Regione Puglia, in provincia di Foggia), la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi (12 km, in direzione Ovest – Est, Regione Basilicata, provincia di Potenza) e la tratta ferroviaria Rocchetta – Potenza (70 km, Regione Basilicata).

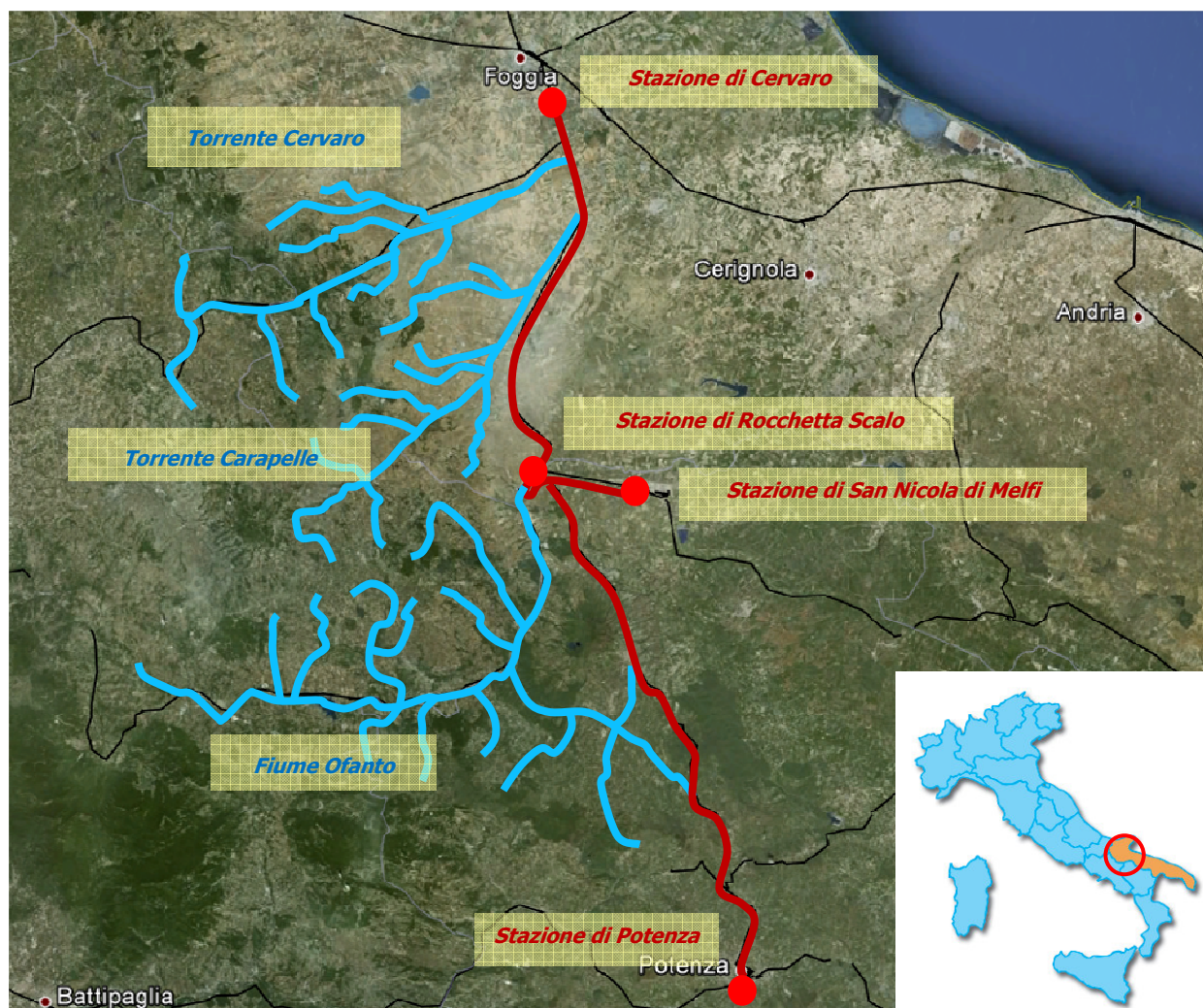


Figura 7 - Inquadramento dell'area di studio del progetto (si veda documento IA0R\_00\_0\_11\_RI\_ID0002\_003\_A)

### 3 INQUADRAMENTO DELL'AREA E OBIETTIVO DELLO STUDIO

#### 3.1 Oggetto dello studio

La NV16 è una viabilità di ricucitura, posta parallelamente alla ferrovia dalla pk 21+853 alla pk 24+560, che consentirà l'accesso ad una proprietà in seguito alla soppressione del PL privato posto alla pk 21+731. La viabilità si sviluppa all'interno del territorio dei comuni di Ortona e di Ascoli Satriano (FG). Poiché la parte iniziale del tracciato ricade in "area ad alta pericolosità idraulica", in conformità a quanto prescritto dalle Norme di attuazione del P.A.I., è necessario eseguire uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica.

Il presente studio si pone come obiettivo quello di valutare l'entità degli allagamenti, in termini di tiranti idrici e velocità di scorrimento, nonché le modalità di propagazione della piena del Torrente Carapelle in corrispondenza della viabilità NV16 in progetto.


#### 3.2 Inquadramento generale

La modifica alla viabilità in progetto si colloca in prossimità della rete ferroviaria nel tratto compreso tra Cervaro e Rocchetta Scalo, sulla destra idrografica del Torrente Carapelle nei comuni di Ortona ed Ascoli Satriano (FG).

La Figura 8 riporta un inquadramento dell'area di studio.



Figura 8 - Inquadramento dell'area.

	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettrificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

#### 4 BACINO IDROGRAFICO

Il torrente Carapelle nasce dall'Appennino campano, in provincia di Benevento; ha origine dall'unione del torrente Calaggio col torrente San Gennaro. Canalizzato verso il suo sfocio in mare, dà origine al canale Carapellotto ed al canale Regina. Sfocia, dopo circa 85 km di percorso, nel golfo di Manfredonia a Nord di Torre Rivoli.

Affluente di sinistra è il torrente Carapellotto; affluenti di destra sono il canale Marana La Pidocchiosa e il canale Pozzo Pascuccio.

I sottobacini del 1° ordine sono, da Nord a Sud, per il Carapelle:

- Torrente Carapellotto;
- Vallone Legnano;
- Fosso Viticoni;
- Canale Colotti;
- Torrente Frugno;
- Torrente Calaggio.

L'analisi dei dati idrometrografici, rilevabili per il torrente Carapelle alla stazione di Ponte Ortona-Castelluccio dei Sauri, evidenzia un regime torrentizio.

In Figura 9 è rappresentato il bacino idrografico del Torrente Carapelle chiuso alla sezione coincidente con l'attraversamento ferroviario, ottenuto grazie all'adozione del DTM a 30 m. Ai fini del presente studio, si è considerata invariata l'analisi idrologica dal momento che la variazione della superficie, adottando come sezione di chiusura quella utilizzata nel presente studio, è considerata ininfluenza sui risultati finali.



**RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA4M	00 E 78	RI	ID0002	006	A	17 di 55

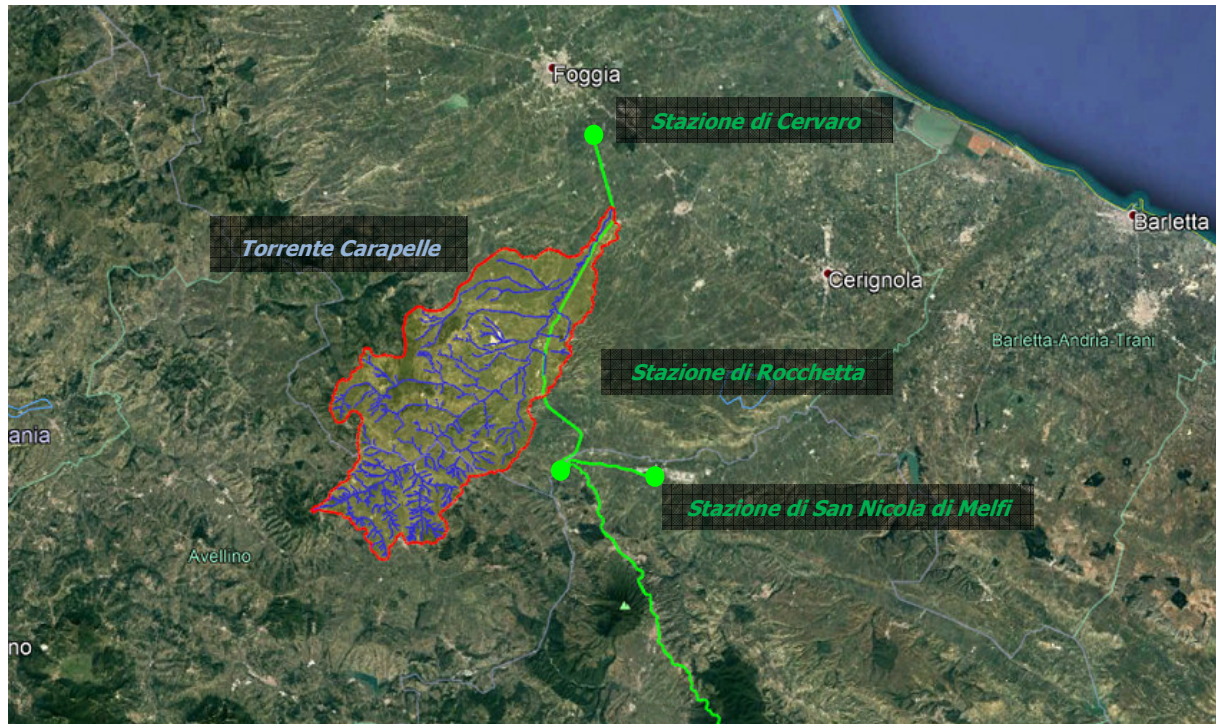


Figura 9 – Bacino del Torrente Carapelle

## 5 IL RILIEVO DELLA ZONA

### 5.1 Rilievo LiDAR e rilievo celerimetrico

Per ottenere una rappresentazione quotata della zona di analisi, che consentisse di comporre la geometria del corso d'acqua implementato nel modello, sono stati acquisiti i dati dei voli Lidar forniti dal Ministero dell'Ambiente.

In Figura 10 è riportata, in blu, la copertura areale del rilievo LiDAR disponibile per lo studio idraulico.

Il rilievo presenta una densità delle misure pari ad almeno 1 punto/m<sup>2</sup>.

Tali dati sono poi stati appositamente rielaborati al fine di ottenere diversi livelli informativi; in particolare ai fini della modellazione si è utilizzato il modello del terreno con risoluzione 0.25 m del solo terreno, ad esclusione cioè di tutti i punti rappresentativi di elementi sopra terra, come ad esempio vegetazione, ponti ed edifici.

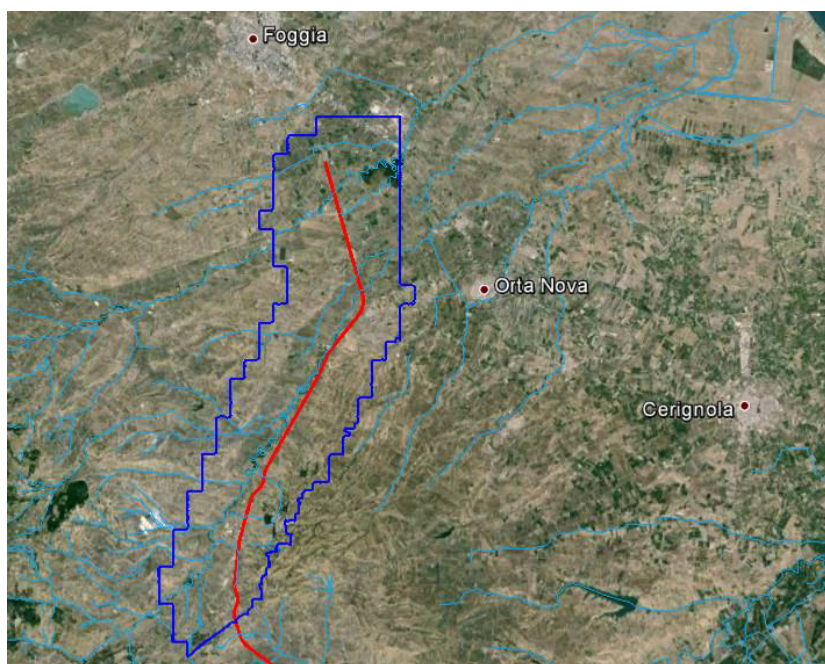
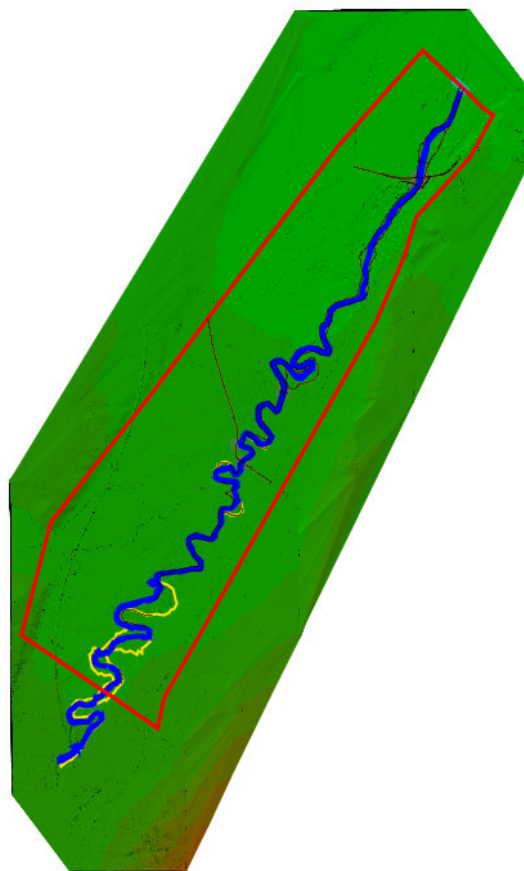


Figura 10 – Copertura rilievo LiDAR

Il rilievo LiDAR è stato utilizzato per costruire un modello del terreno di tipo TIN (Triangular Irregular Network).

La seguente Figura 11 rappresenta il TIN ottenuto per l'area di studio corrispondente al Torrente Carapelle nella sua porzione di interesse per l'analisi della modalità di propagazione della piena del tratto stradale di nuova costruzione.



*Figura 11 – Modello del terreno TIN dell'area di studio*

Le informazioni a disposizione sono state verificate e integrate con i dati provenienti dal rilievo LiDAR e successivamente elaborate per ottenere le informazioni geometriche necessarie all'implementazione dei modelli idraulici.

## **5.2 Rilievo delle opere idrauliche**

Le opere idrauliche quali i manufatti di attraversamento presenti nel tratto oggetto dello studio sono stati ricavati dalle schede monografiche delle opere di attraversamento idraulico redatte dalla Protezione Civile Puglia, verificandone la corrispondenza con l'esistente tramite immagini da satellite e con il rilievo LiDAR a disposizione.

## 6 STUDIO IDROLOGICO

Il presente capitolo riporta lo studio idrologico già descritto nella fase II del precedente studio specialistico "Sottoprogetto 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento".

### 6.1 Modelli probabilistici per l'analisi statistica delle piogge e delle portate

#### 6.1.1 Il modello probabilistico TCEV

Il modello a doppia componente denominato TCEV (Rossi et al., 1984) ipotizza che i massimi annuali delle precipitazioni o delle portate al colmo non provengano tutti dalla stessa popolazione ma da due popolazioni distinte legate a differenti fenomeni meteorologici. Tale ipotesi è peraltro giustificata dalla presenza in quasi tutte le serie storiche delle precipitazioni e delle portate al colmo di uno o più valori (outliers) nettamente maggiori degli altri al punto da sembrare non provenienti dalla stessa popolazione dei rimanenti dati.

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,  $\Lambda_1$ ,  $\Theta_1$ ,  $\Lambda_2$  e  $\Theta_2$ . 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  $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  esprimono, rispettivamente per le due componenti, il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori ad una soglia. I parametri  $\Theta_1$  e  $\Theta_2$  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  $K_{t,T_r} = X_{t,T_r} / \mu(X_t)$  dove con  $\mu(X_t)$  si è indicato il *valore indice* (la media della variabile). La funzione di probabilità cumulata di questa nuova variabile  $K_{t,T_r}$  è la cosiddetta *curva di crescita* la quale dipende dai parametri  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ , 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  $K_{t,T_r}$ , la distribuzione di probabilità finale.

$$F_X(x) = \mu(X_t) K_{t,T_r}$$

### 6.1.2 *Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri*


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  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$  e  $\Lambda_1$  ed è quindi indipendente da  $\Theta_1$ , mentre il coefficiente di asimmetria teorico dipende da  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  ed è quindi indipendente da  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ .

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettrificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

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:

#### I° 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  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  del modello TCEV nella medesima zona.

Inoltre in una regione omogenea rispetto a  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ , 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  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  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  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  possa suddividersi in sottozona 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  $\Lambda_1$ , nella sottozona omogenea, oltre che di  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ . Il valore di  $\Lambda_1$  relativo alla sottozona va stimato utilizzando tutti i dati disponibili nella zona.

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a  $\Lambda_1$  la variabile  $K_{t,T_r} = X_{t,T_r} / \mu(X_t)$  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

	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

determinare le relazioni che legano la media  $\mu(X_t)$  (valore indice) alle caratteristiche fisiche di interesse.

Nel seguito si fa riferimento al valore indice della precipitazione  $\mu(X_t)$  in quanto l'ipotesi di aree con caratteristiche morfologiche (es. quota) e climatiche tali da poter definire un valore indice  $\mu(X_t)$  costante è applicabile solo per le piogge e spesso non è verificata.

### 6.1.3 Curve regionali di crescita delle precipitazioni

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  $\mu_t$  relative ad una generica durata  $t$ , e la successiva amplificazione delle stesse attraverso il fattore di crescita (della media con il periodo di ritorno)  $K_T$

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

## 6.2 Analisi delle precipitazioni con il metodo VAPI PUGLIA

In questo capitolo si illustreranno i risultati del Progetto VAPI della Regione Puglia 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.

I risultati dello studio citato hanno evidenziato per la regione Puglia 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, al primo e secondo livello, in una sottozona settentrionale della regione ed in un'altra centromeridionale. La prima comprende la Capitanata, il Sub-appennino Dauno (dove è posizionata la nostra area di studio), il Gargano e l'Alta Murgia, la seconda include la restante parte del Tavoliere e della Murgia e la Penisola Salentina. L'analisi di terzo livello basata sull'analisi di regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota ha portato alla individuazione

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

di quattro sottozone nella parte settentrionale e due nella parte meridionale ciascuna con le curve di possibilità climatica.

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.

### I° 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  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ .

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  $\Lambda_1$ .

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

*Tabella 1 - 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  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ , 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:

$$a = (\Theta_* \ln \Lambda_* + \ln \Lambda_1) / \eta \quad b = \Theta_* / \eta \quad \eta = \ln \Lambda_1 + C - T_0$$

$$T_0 = \sum_{i=11}^{\infty} \frac{(-1)^i \Lambda_*^i}{i!} \Gamma\left(\frac{i}{\theta_*}\right) \quad C = 0.5772 \text{ (costante di Eulero)}$$

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



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettrificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

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

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

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 2 – 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.

Sono state individuate quattro zone pluviometriche omogenee, visibili in Figura 12.

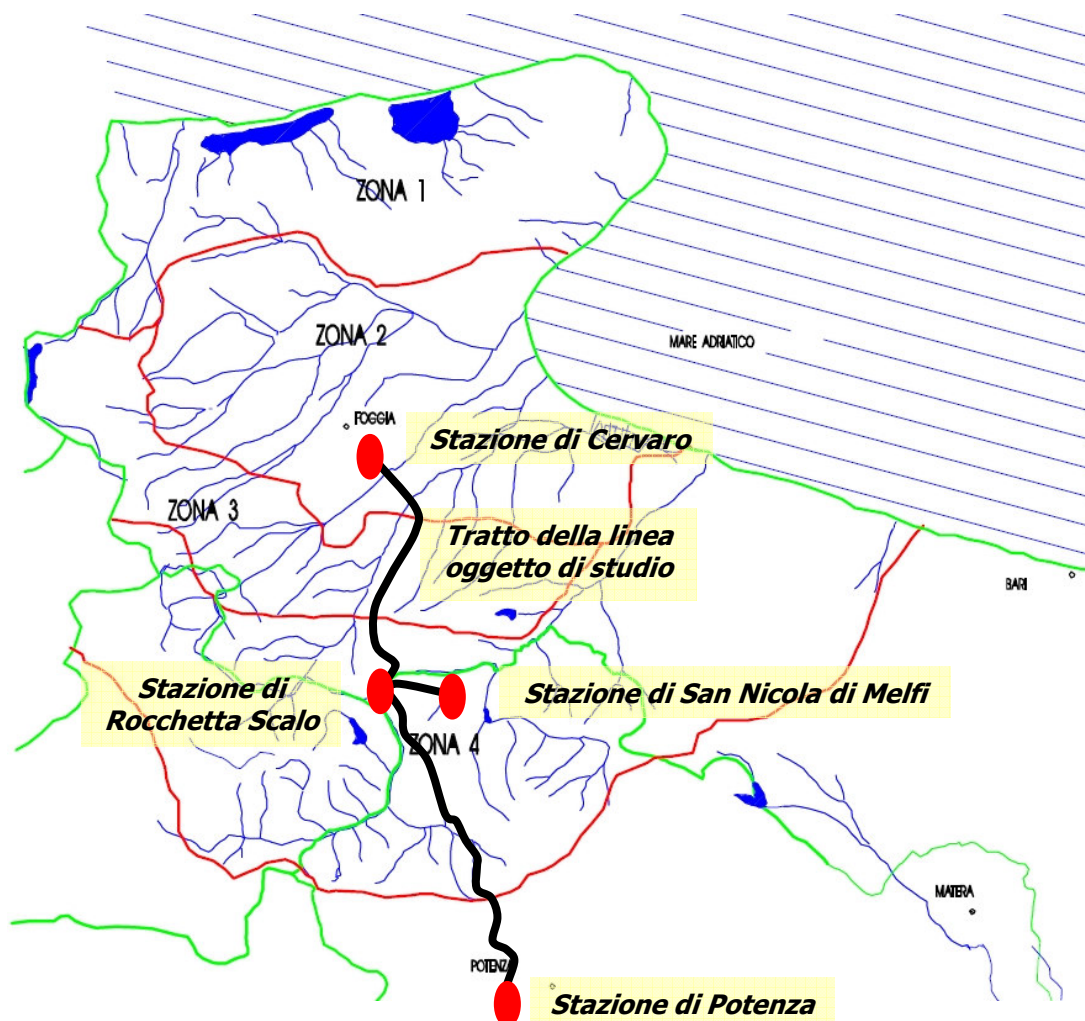


Figura 12 – Zone omogenee rispetto al valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere.

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:

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

in cui  $a$  è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di  $\mu(X_t)$  relativi alle serie ricadenti in ciascuna zona omogenea;  $a = x_g/x_{24}$  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  $a$  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 3.

Zona	$\alpha$	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 3 - 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.

All'interno delle zone 1 (Gargano) e 3 (Murge) si è riscontrata una buona dipendenza dei valori medi delle massime precipitazioni giornaliere dalle quote, non riscontrata invece nelle restanti due zone 2 (Tavoliere) e 4 (Subappennino), nelle quali non si apprezzano sensibili variazioni tra i diversi siti di osservazione, pur variando notevolmente la quota.

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

### 6.3 Analisi statistica regionale delle piene

#### Dati utilizzati ed analisi preliminare

In questo capitolo si illustreranno i risultati del Progetto VAPI per la stima delle portate al colmo di assegnato tempo di ritorno per il corso d'acqua 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.

L'analisi regionale delle portate al colmo è stata condotta con riferimento alle stazioni di misura del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (S.I.M.I.), ex Servizio Idrografico Italiano, appartenenti alla Puglia Settentrionale.

Le statistiche principali (media  $E[x]$ , coefficiente di variazione  $C_v$  e coefficiente di asimmetria  $G$ ) delle serie disponibili dei dati delle massime portate istantanee anno per anno nelle stazioni prese in considerazione dall'analisi sono riportate in Tabella 4.

Cod.	Stazione	N. dati	E[x]	Cv	G
1.0	Ofanto a S.Samuele di Cafiero	47	517.6	0.432	0.37
1.1	Ofanto a Cairano	23	208	0.393	0.03
1.2	Atella a P.te sotto Atella	45	61.3	0.574	0.92
1.4	Ofanto a Rocchetta S.Antonio (Monteverde Scalo)	52	436.7	0.584	0.51
1.5	Arcidiaconata a P.te Rapolla Lavello	32	44.9	0.649	0.8
1.6	Lapilloso a P.te S.S. 168	11	10.4	0.872	0.51
1.7	Venosa a P.te Ferroviario	13	39.9	0.969	1.31
1.8	Venosa a P.te S.Angelo	34	55.8	1.181	2.13
1.9	Locone a P.te Brandi	10	43.3	1.413	2.16
2.0	Carapelle a Carapelle	36	283.7	0.568	1.27
3.0	Cervaro ad Incoronata	53	215.8	0.578	0.62
4.0	Candelaro a Strada Bonifica N.24	7	140.7	0.407	0.39
4.1	Celone a S.Vincenzo	15	31.8	0.609	1.1
4.3	Celone a P.te F.S. Foggia-S.Severo	39	45.7	0.718	2.31
4.4	Vulgano a P.te Troia-Lucera	18	74.7	0.802	0.37
4.5	Salsola a Casanova	18	45.5	0.737	1.09
4.6	Casanova a P.te Lucera-Motta	16	27.5	0.806	1.06
4.7	Salsola a P.te Foggia-S.Severo	40	76.1	0.544	0.27
4.8	Triolo a P.te Lucera-Torremaggiore	16	36.5	0.698	0.29
4.9	Canale S.Maria a P.te Lucera-Torremaggiore	15	18.9	0.92	0.76

Tabella 4 - Stazioni considerate nell'analisi e relative statistiche delle serie dei massimi annuali.

I° e II° Livello di regionalizzazione

Nell'Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo di piena in Puglia condotta sulle piogge giornaliere, è stata accolta l'ipotesi secondo la quale le stazioni appartengano ad una zona unica, al primo livello, entro la quale si possano ritenere costanti i valori teorici dei parametri  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ .


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  $\Lambda_1$ .

Piogge	$\Theta_*=2.654$	$\Lambda_*=0.350$	$\Lambda_1=5$
--------	------------------	-------------------	---------------

Tabella 5 - Parametri del VAPI per il I e II livello di regionalizzazione per la zona in esame ricavata dall'Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo di piena in Puglia.

L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione ha consentito dunque, conoscendo  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ , la determinazione delle curve regionali di crescita della precipitazione.

Il valore di  $K_7$  può essere calcolato in funzione di  $T$  attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

$$K_T = -0.4007 + 0.904 \ln T$$

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

T	10	20	30	50	100	200	300
$K_T$	1.68	2.31	2.67	3.14	3.76	4.39	4.76

Tabella 6 – Valori del fattore di crescita per la zona in esame ricavata dall' Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo di piena in Puglia.


Stima della piena indice (III° livello di regionalizzazione):

Come visto, il modello probabilistico TCEV bene si adatta ad interpretare il comportamento statistico dei massimi annuali delle portate al colmo di piena. In particolare, è stata derivata la distribuzione di probabilità delle piene adimensionalizzate rispetto alla portata indice che è stata fatta coincidere con il valore medio,  $\mu(X)$  (o  $E[X]$ ), delle portate  $X$ . Per poter pervenire alla stima della distribuzione di probabilità delle  $X$  in una qualunque sezione fluviale, resta soltanto da definire una metodologia per la stima  $\bar{X}$  di  $\mu(X)$  (o  $E[X]$ ).

È evidente che, nel caso in cui nella sezione fluviale di interesse si disponga di una serie storica di valori di  $X$  sufficientemente lunga, una stima affidabile di  $\mu(X)$  viene fornita dalla media aritmetica dei valori osservati di  $X$ . Allorquando non si dispone, invece, nella sezione di interesse, di una serie storica di dati di portate di piena, è necessario procedere ad una stima regionale di  $\mu(X)$ .

La piena indice  $\mu(X)$  (o  $E[X]$ ) è, tra i parametri della distribuzione di probabilità delle  $X$ , quello che maggiormente dipende dalle caratteristiche, morfologiche e geolitologiche da un lato e climatiche dall'altro, del bacino idrografico. Poiché il terzo livello di regionalizzazione è finalizzato alla valutazione di  $\bar{x}$ , è proprio in questa fase che è stata utilizzata l'informazione fornita da tali caratteristiche.

Un semplice modello di regionalizzazione è quello basato su una formula di tipo razionale. Essa esprime un legame correlativo tra la piena indice  $\bar{x}$ , la superficie del bacino e il valore medio,  $I(t_r)$ , dei massimi annuali delle intensità di pioggia puntuali di durata pari al tempo di ritardo caratteristico del bacino. Questo modello, empiricamente proposto da Rossi e Versace [1982], ha anche trovato successivamente i supporti teorici che ne rendono più affidabile l'applicazione [Fiorentino et al., 1987; Villani 1990a].

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettrificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

La formula razionale viene generalmente scritta come:

$$\bar{x} = \frac{C_* I(t_r) A}{3.6}$$

in cui  $\bar{x}$  è espressa in  $m^3/s$ ,  $I(t_r)$  in  $mm/h$ ,  $A$  in  $Km^2$ ,  $t_r$  in ore.  $C_*$  è un coefficiente, detto probabilistico di piena, che porta in conto, oltre all'effetto naturale di laminazione del picco di piena rispetto al picco di pioggia, l'effetto di 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. Per l'applicazione della formula razionale è richiesta pertanto la conoscenza del tempo di ritardo  $t_r$ , inteso come la distanza temporale tra i baricentri dell'idrogramma di piena superficiale e dello ietogramma efficace che lo ha generato. Per i bacini pugliesi, all'interno dello studio *Valutazione delle Piene in Puglia* è stata ricavata la formula:

$$t_r = 0.344 A^{0.5}$$

Il calcolo del valore medio del massimo annuale della precipitazione relativa ad un bacino imbrifero richiede il passaggio dall'informazione puntuale a quella areale. Quest'ultima può essere valutata a rigore solo disponendo delle serie storiche delle piogge di assegnata durata sull'area in esame. Si può assegnare un valor medio caratteristico del bacino tenendo conto delle informazioni relative alle curve di probabilità pluviometrica delle diverse zone omogenee e utilizzando la dipendenza, quando esista, della legge intensità-durata dalla quota. Attribuendo al bacino una quota caratteristica, pari alla sua quota media, si assume che la precipitazione media areale di un'area omogenea coincida con la precipitazione puntuale relativa alla quota media dell'area stessa. Nel caso in cui il bacino ricada in più di una zona omogenea, la legge è ottenuta come media, pesata sulle aree parziali, tra le curve relative alle diverse zone omogenee interessate. Nel progetto *VAPI*, tali operazioni sono state effettuate per tutti i bacini studiati ed hanno condotto ai parametri  $a$  e  $b$  della curva di probabilità pluviometrica  $h_t = a t^b$ , riportati in Tabella 7.

L'informazione costituita dalla legge di probabilità pluviometrica *media* di un bacino idrografico, valutata a partire dalle registrazioni di pioggia in alcuni siti, secondo la procedura innanzi esposta, risulta sempre meno attendibile con l'aumentare della relativa area. Al crescere dell'area di riferimento, infatti, diventano non trascurabili le caratteristiche della scala di evoluzione spaziale del fenomeno di precipitazione che, all'atto pratico, si possono tradurre nella mancata contemporaneità dell'evento di pioggia sull'intera area del bacino. Di quanto detto si tiene conto facendo derivare la pioggia areale da quella puntuale, a pari periodo di ritorno  $T$ , attraverso un coefficiente di ragguglio chiamato *fattore di riduzione areale* (ARF) che viene derivato empiricamente. Detto  $K(A,d)$  tale fattore, dipendente dall'area  $A$  e dalla durata  $d$ , risulta cioè:

$$K(A, d) = \frac{I_A(d)}{I_p(d)}$$

dove  $I_A(d)$  = intensità media areale e  $I_p(d)$  = intensità media puntuale, relativi al periodo di ritorno  $T$ . Si è adottata una formulazione generale di  $K(A, d)$  proposta dall'U.S. Weather Bureau:

$$K(A, d) = 1 - f_1(A) f_2(d)$$

con

$$f_1(A) = 1 - e^{-c_1 A} \quad e \quad f_2(d) = e^{-c_2 d^{c_3}}$$

con

$$c_1 = 2.1 \cdot 10^{-3}; \quad c_2 = 0.53 \quad e \quad c_3 = 0.25$$

La legge di probabilità pluviometrica sono espresse come monomi di potenza:

$$I_p = a d^{(b-1)} \quad e \quad I_A = a' d^{b'-1}$$

Da questa formulazioni e grazie alle espressioni di Villani:

$$b' = K_1 A + b \quad \text{con} \quad K_1 = 1.44 \times 10^{-4}$$

si è in grado di determinare i valori di  $a'$  e  $b'$ , a partire da  $a$  e  $b$ . In Tabella 7 sono riportati i parametri delle curve di probabilità pluviometrica dei bacini ( $a$ ,  $b$  = valori medi pesati sulla quota e sulle aree,  $a'$ ,  $b'$  = valori calcolati in base al fattore di riduzione areale) ricavati nel progetto *VAPI*.

Tabella 7 - Parametri delle curve di probabilità pluviometrica dei bacini ( $a$ ,  $b$ = valori medi pesati sulla quota e sulle aree,  $a'$ ,  $b'$ = valori calcolati in base al fattore di riduzione areale).

Cod.	Sezione	$a$	$b$	$a'$	$b'$
1.0	Ofanto a S.Samuele di Cafiero	24.17	0.265		
1.1	Ofanto a Cairano	24.13	0.265	17.95	0.304
1.2	Atella a P.te sotto Atella	24.13	0.265	20.12	0.288
1.4	Ofanto a Rocchetta S.Antonio (Montev. Scalo)	24.13	0.265	11.28	0.426
1.5	Arcidiaconata a P.te Rapolla Lavello	24.13	0.265	20.87	0.283
1.6	Lapilloso a P.te s.s. 168	24.13	0.265	23.28	0.269
1.7	Venosa a P.te Ferroviario	24.13	0.265	19.24	0.294
1.8	Venosa a P.te S.Angelo	24.13	0.265	18.14	0.303
1.9	Locone a P.te Brandi	24.13	0.265	18.89	0.297
2.0	Carapelle a Carapelle	24.13	0.279	13.06	0.383
3.0	Cervaro ad Incoronata	23.86	0.281	14.34	0.359
4.0	Candelaro a Strada Bonifica N.24	23.73	0.262	10.09	0.519
4.1	Celone a S.Vincenzo	24.08	0.291	21.74	0.303
4.3	Celone a P.te F.S. Foggia-S.Severo	23.33	0.274	17.62	0.311
4.4	Vulgano a P.te Troia Lucera	23.535	0.279	21.05	0.293
4.5	Salsola a Casanova	25.07	0.31	23.79	0.316
4.6	Casanova a P.te Lucera Motta	24.57	0.301	23.07	0.309
4.7	Salsola a P.te Foggia S.Severo	23.29	0.273	14.77	0.340
4.8	Triolo a P.te Lucera Torremaggiore	34.5	0.3	32.33	0.308
4.9	Canale S.Maria a P.te Lucera-Torremaggiore	24.27	0.295	22.58	0.304

Nel progetto *VAPI*, al fine di pervenire alla stima della piena indice in una sezione fluviale nella quale non si dispone di osservazioni dirette di portata è stata infine analizzata la variabilità del coefficiente probabilistico di piena  $C^*$  nell'area di studio.

Si è quindi determinato il valore medio regionale di  $C^*$  attraverso una regressione tra i valori medi di  $\bar{x}$  ed i valori assunti, nei diversi bacini, dal raggruppamento  $A I(t_r)/3.6$ . In questo modo i valori di  $C^*$  sono da considerarsi dipendenti solo dalla forma della risposta del bacino e dalle caratteristiche geolitologiche.

Nel seguito di questo studio, grazie ai risultati illustrati, si sono determinate le portate di piena di riferimento per il Torrente Carapelle.



Tabella 8 - Caratteristiche principali delle serie inerenti il terzo livello di regionalizzazione delle piene.

Cod	Sezione	Area (Km <sup>2</sup> )	$\bar{x}$ (m <sup>3</sup> /s)	$t_r(A)$ (h)	$l(t_r)$ (mm/h)	C*	$\frac{A \cdot l(t_r)}{3.6}$
1.0	Ofanto a S.Samuele di Cafiero	2702.8	517.60	17.93	3.70	0.185	2793.5
1.1	Ofanto a Cairano	266.4	208.00	5.67	5.36	0.513	405.3
1.2	Atella a P.te sotto Atella	175.9	61.30	4.32	7.09	0.197	311.2
1.4	Ofanto a Rocchetta S.Antonio	1111.0	436.70	11.52	2.78	0.505	864.1
1.5	Arcidiaconata a P. Rap.-Lavello	123.9	44.90	3.83	7.97	0.164	274.4
1.6	Lapilloso a P.te s.s. 168	28.5	10.40	1.87	14.74	0.086	120.8
1.7	Venosa a P.te Ferroviario	204.0	39.90	4.88	6.29	0.114	350.9
1.8	Venosa a P.te S.Angelo	263.0	55.80	5.56	5.48	0.140	397.6
1.9	Locone a P.te Brandi	219.4	43.30	5.09	6.01	0.118	365.8
2.0	Carapelle a Carapelle	714.9	283.70	9.23	3.31	0.428	662.4
3.0	Cervaro ad Incoronata	539.3	215.80	7.99	3.78	0.381	566.5
4.0	Candelaro a Str. Bonifica N.24	1777.9	140.70	14.55	2.79	0.102	1384.2
4.1	Celone a S.Vincenzo	92.5	31.80	3.19	9.70	0.138	231.1
4.3	Celone a P.te Foggia-S.Severo	233.5	45.70	5.50	5.44	0.118	386.8
4.4	Vulgano a P.te Troia-Lucera	94.1	74.70	3.34	8.98	0.319	234.5
4.5	Salsola a Casanova	44.1	45.50	2.26	13.63	0.279	163.2
4.6	Casanova a P.te Lucera-Motta	57.3	27.50	2.49	12.28	0.154	178.4
4.7	Salsola a P.te Foggia-S.Severo	455.4	76.10	7.40	3.94	0.150	506.4
4.8	Triolo a P. Lucera-Torremagg.	55.9	36.50	2.52	17.04	0.143	254.6
4.9	Canale S.Maria	58.1	18.90	2.66	11.43	0.100	189.8

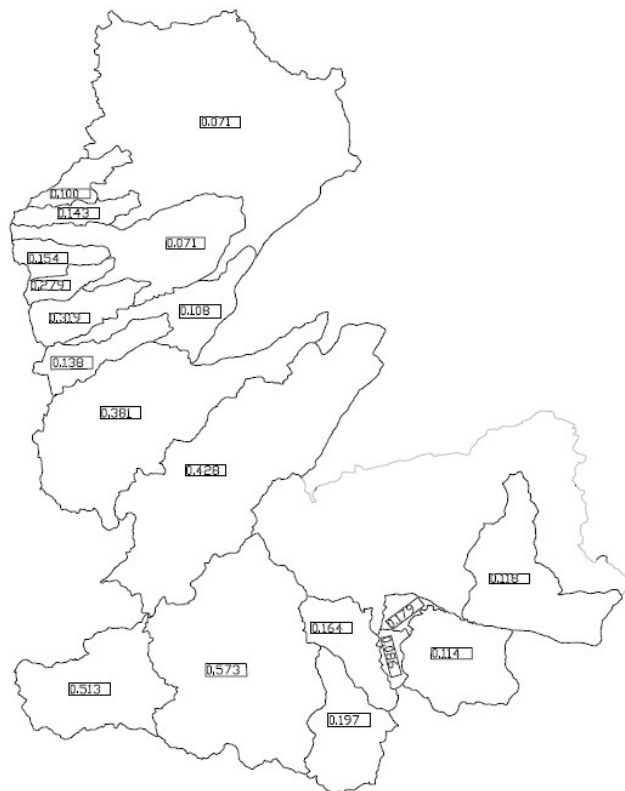



Figura 13 - Coefficienti probabilistici di piena (C\*) relativi alle diverse aree delimitate dai bacini idrografici della Puglia Settentrionale sottesi dalle stazioni del S.I.M.I.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettrificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

## 6.4 Definizione delle portate

### 6.4.1 Metodologia di stima delle portate e degli idrogrammi di piena dei corsi d'acqua principali

I differenti approcci metodologici utilizzabili per procedere alla stima della portata di piena in un corso d'acqua possono essere suddivisi in due categorie principali: metodi diretti e indiretti. La scelta dell'approccio da utilizzare dipende dalla qualità e quantità dei dati idrologici disponibili.

La situazione più favorevole si presenta quando, nella sezione idrografica di interesse, sono disponibili serie storiche di valori di portata misurati per un periodo di osservazione sufficientemente lungo per avere significatività statistica; in queste condizioni l'analisi statistica "diretta" del campione di dati consente di determinare la distribuzione statistica più probabile delle massime portate di piena attese.

Tuttavia, nella maggior parte dei casi, specie se il corso d'acqua non rientra tra i grandi fiumi italiani, tali informazioni risultano assenti a causa della mancanza di stazioni di misura idrometrica nelle vicinanze della sezione di interesse, oppure incomplete e non in grado di fornire dati di sufficiente qualità. In tal caso l'associazione tra la portata di piena e la sua frequenza di accadimento probabile può essere determinata per via "indiretta" mediante un'analisi statistica del regime pluviometrico intenso che caratterizza la regione geografica e la successiva individuazione della correlazione tra apporti meteorici e portate nella rete.

Tra le procedure utilizzabili per la soluzione di questo secondo problema, rientrano quelle che prevedono l'impiego di modello idrologici di trasformazione afflussi-deflussi, aventi l'obiettivo di definire un operatore di trasformazione di apporti meteorici in idrogrammi di piena che si propagano nella rete idrografica e assumendo valida l'ipotesi di assegnare al valore del colmo di piena la stessa frequenza di accadimento probabile assegnata al fenomeno meteorico che ha generato l'onda di piena.

Per la valutazione dei valori massimi delle portate per diversi tempi di ritorno dei corsi d'acqua principali oggetto d'interesse, si è fatto ricorso alla formulazione di carattere empirico esposta nel progetto VAPI, relativa all' Analisi statistica regionale delle piene.

Sul Torrente Carapelle è presente una stazione idrometrica posizionata pochi chilometri più a valle dell'attraversamento ferroviario (Tabella 9).

Cod	Sezione	Area (Km <sup>2</sup> )	$\bar{x}$ (m <sup>3</sup> /s)	$t_r(A)$ (h)	$l(t_r)$ (mm/h)	C*	$\frac{A \cdot l(t_r)}{3.6}$
1.0	Ofanto a S.Samuele di Cafiero	2702.8	517.60	17.93	3.70	0.185	2793.5
1.1	Ofanto a Cairano	266.4	208.00	5.67	5.36	0.513	405.3
1.2	Atella a P.te sotto Atella	175.9	61.30	4.32	7.09	0.197	311.2
1.4	Ofanto a Rocchetta S.Antonio	1111.0	436.70	11.52	2.78	0.505	864.1
1.5	Arcidiaconata a P. Rap.-Lavello	123.9	44.90	3.83	7.97	0.164	274.4
1.6	Lapilloso a P.te s.s. 168	28.5	10.40	1.87	14.74	0.086	120.8
1.7	Venosa a P.te Ferroviario	204.0	39.90	4.88	6.29	0.114	350.9
1.8	Venosa a P.te S.Angelo	263.0	55.80	5.56	5.48	0.140	397.6
1.9	Locone a P.te Brandi	219.4	43.30	5.09	6.01	0.118	365.8
2.0	Carapelle a Carapelle	714.9	283.70	9.23	3.31	0.428	662.4
3.0	Cervaro ad Incoronata	539.3	215.80	7.99	3.78	0.381	566.5
4.0	Candelaro a Str. Bonifica N.24	1777.9	140.70	14.55	2.79	0.102	1384.2
4.1	Celone a S.Vincenzo	92.5	31.80	3.19	9.70	0.138	231.1
4.3	Celone a P.te Foggia-S.Severo	233.5	45.70	5.50	5.44	0.118	386.8
4.4	Vulgano a P.te Troia-Lucera	94.1	74.70	3.34	8.98	0.319	234.5
4.5	Salsola a Casanova	44.1	45.50	2.26	13.63	0.279	163.2
4.6	Casanova a P.te Lucera-Motta	57.3	27.50	2.49	12.28	0.154	178.4
4.7	Salsola a P.te Foggia-S.Severo	455.4	76.10	7.40	3.94	0.150	506.4
4.8	Triolo a P. Lucera-Torremagg.	55.9	36.50	2.52	17.04	0.143	254.6
4.9	Canale S.Maria	58.1	18.90	2.66	11.43	0.100	189.8

Tabella 9 - Caratteristiche principali delle serie inerenti il terzo livello di regionalizzazione delle piene.

Per il Torrente Carapelle si individuano i parametri delle curve di probabilità pluviometrica calcolati in base al fattore di riduzione areale a partire dalle curve di probabilità pluviometrica riferite ai bacini dei corsi d'acqua riportati in Tabella 7

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo												
	Attr.	Progr.	A [km <sup>2</sup> ]	a	b	tr(A)	f1(A)	f2(d)	K(A,d)	K1	a'	b'
9	Ponte su Torrente Carapelle	16+718	508	24.13	0.279	7.753	0.656	0.413	0.729	0.000144	15.15	0.352

Tabella 10 – Parametri delle curve di probabilità pluviometrica dei bacini calcolati in base al fattore di riduzione areale per il Torrente Carapelle.

Grazie ai parametri delle curve di probabilità pluviometrica calcolati in base al fattore di riduzione areale e al coefficiente probabilistico di piena C\* di riferimento per i bacini del Torrente Carapelle sono state individuate le piene indice del corso d'acqua e, grazie ai fattori di crescita riportati in Tabella 6, le portate duecentennali e trecentennali.

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo											
Attr.	Progr.	A [km <sup>2</sup> ]	a'	b'	h(tr) [mm]	I(tr) [mm/h]	C*	Qmed [m <sup>3</sup> /s]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300	
9	Ponte su Torrente Carapelle	16+718	508	15.15	0.352	31.16	4.02	0.428	242.7	1065.2	1154.1

Tabella 11 – Portate duecentennali e trecentennali per il Torrente Carapelle.

In Tabella 12 sono elencate le portate di picco calcolate per Tr 200 e 300 anni.

Tratta Cervaro - Rocchetta Scalo					
	Attraversamento	Progressiva	A [km <sup>2</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300
9	Ponte su Torrente Carapelle	16+718	508	1065.2	1154.1

Tabella 12 - Portate di progetto per le verifiche idrauliche.

Nel presente studio, si è reso necessario fornire una ricostruzione più dettagliata dei fenomeni idrologici interessanti i bacini in esame, mediante una metodologia in grado di restituire non solo i valori massimi o medi delle principali grandezze che descrivono l'intensità del fenomeno, ma di rappresentarli con continuità temporale durante il manifestarsi dell'evento meteorico.

A questo obiettivo sono orientati i metodi che prevedono la simulazione del comportamento del bacino idrografico attraverso l'uso di modelli concettuali che ipotizzano un comportamento costante nel tempo (invarianti) e lineari.

Una volta valutati i parametri che quantificano i fenomeni idrologici coinvolti nel processo di formazione delle piene attraverso queste regole matematiche è possibile trasformare un qualsiasi impulso di precipitazione, di qualsiasi andamento temporale, nel corrispondente idrogramma di piena generato alla chiusura della rete di drenaggio. Tali modelli concettuali assumono pertanto la denominazione di modello di trasformazione "afflussi-deflussi".

Accettando l'assunzione che la risposta idrologica del bacino si mantiene costante al procedere del fenomeno il comportamento del reticolo può essere sintetizzato da un idrogramma caratteristico che rappresenta la risposta ad un impulso di precipitazione istantaneo e di volume unitario (idrogramma istantaneo unitario).

Il problema della trasformazione afflussi – deflussi viene generalmente scomposto in due fasi successive. La prima si propone di determinare la precipitazione efficace ovvero la frazione di pioggia totale

(coefficiente di deflusso) che defluisce effettivamente attraverso la rete idrografica mentre la seconda simula la propagazione dei deflussi così ottenuti lungo la rete idrografica fino alla determinazione dell'andamento temporale delle portate transitate attraverso la sezione di chiusura del bacino.

Attualmente esiste un numero elevato di modelli concettuali in grado di simulare il comportamento idrologico del suolo. La pioggia efficace viene determinata attraverso la valutazione del coefficiente di deflusso che può essere ipotizzato costante nel tempo, nei modelli più semplificati, o variabile con il procedere dell'evento meteorico.

Molto utilizzati sono i modelli basati sulla ricostruzione dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH) caratteristico che rappresenta la risposta del bacino ad impulso di precipitazione efficace perfettamente distribuita sull'intera superficie del bacino e avente volume unitario. Una volta definito l'IUH la ricostruzione dell'idrogramma reale avviene discretizzando lo ietogramma in ingresso in impulsi elementari e sommando le risposte ottenute da ciascuno di essi (integrale di convoluzione).

Una volta definito il valore dei parametri richiesti dal modello, la sua attendibilità viene verificata, quando possibile, attraverso la procedura di taratura. Nel caso in esame è stata riscontrata l'impossibilità di seguire tale procedura, a causa dell'assenza di dati che permettessero la ricostruzione di eventi di piena reali, pertanto, è stato escluso l'utilizzo di modelli basati su grandezze non misurabili direttamente o indirettamente e la cui determinazione può avvenire esclusivamente dal confronto delle simulazioni con l'andamento degli eventi reali. Si è data, dunque, preferenza ai modelli cosiddetti "fisicamente basati" che consentono di sfruttare le caratteristiche morfometriche, litologiche e pedologiche del bacino per la determinazione delle grandezze fisiche significative.

Nella presente analisi, per quanto riguarda la determinazione degli ietogrammi efficaci, si è ipotizzato l'accadimento di un evento con intensità costante di durata pari al tempo di corrivazione.

Per la successiva determinazione dell'idrogramma di piena è stato utilizzato il noto modello di Nash di seguito descritto.

#### **6.4.2 Il modello di Nash**

La pioggia efficace, determinata attraverso il metodo descritto, viene trasformata in deflusso nella rete idrografica utilizzando la tecnica dell'idrogramma unitario che rappresenta la risposta idrologica di un bacino ad un impulso di pioggia efficace unitario di durata istantanea.

Se l'idrogramma unitario viene ipotizzato invariante con il progredire della precipitazione (idrogramma stazionario) e indipendente dalla sua intensità (idrogramma lineare) la risposta del bacino ad uno ietogramma qualsiasi può essere determinato come semplice combinazione lineare di tutti gli impulsi unitari.

Un idrogramma che rispetta queste ipotesi viene descritto da una funzione  $U(t)$  per la quale si possono dare alcune definizioni. L'idrogramma presenta una fase di risalita di durata  $t_p$  (tempo di picco) al termine della quale raggiunge la massima intensità di picco  $h_p$ . La durata dell'idrogramma unitario ( $t_b$ , tempo di base) coincide con il tempo necessario affinché la precipitazione caduta nel punto più lontano del bacino faccia sentire i suoi effetti alla sezione di chiusura (tempo di corrivazione) e rappresenta la memoria del sistema. Il momento del primo ordine (baricentro) dell'idrogramma viene detto tempo di ritardo  $t_L$  (time lag).

Tra i numerosi modelli matematici realizzati per la determinazione di questo idrogramma uno dei più utilizzati è quello dovuto a Nash (1957). Il modello 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:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{\alpha-1} e^{-t/k}}{k \Gamma(\alpha)} \quad (6.4.1.1)$$


Il tempo di ritardo ed il tempo di picco risultano pari a:

$$t_L = \alpha k \quad \text{e} \quad t_p = (\alpha - 1)k \quad (6.4.1.1)$$

### **6.4.3 Il fattore di scala e di forma nel modello di Nash**

Da quanto riportato nel precedente paragrafo la definizione dell'idrogramma unitario adimensionale di Nash richiede la conoscenza dei due parametri  $\alpha$  (parametro di forma) e  $k$  (parametro di scala) legati al tempo di ritardo mediante l'equazione (6.4.1.1).

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. Una buona approssimazione tra la forma

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettrificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

dell'idrogramma di Nash con quella triangolare può essere ottenuta imponendo il parametro di forma  $n = 2,50$ , dato che nella maggior parte dei casi esso risulta compreso tra 2 e 3, e assumendo il valore del parametro di scala pari a  $k = T_c/5$ .

Il tempo di corrivazione, ovvero il tempo necessario perché una particella d'acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino possa far sentire il suo effetto nella sezione di chiusura, è il parametro che influenza maggiormente l'andamento dei deflussi di piena in quanto imponendo la durata del fenomeno impone anche l'entità delle portate al colmo. Questo parametro viene a dipendere da numerosi fattori anche se le espressioni empiriche, di uso più comune, reperibili in letteratura che permettono la sua determinazione fanno riferimento in modo particolare a quelli morfometrici ovvero all'estensione del bacino, alla pendenza dei versanti e dell'asta fluviale principale. Tali espressioni differiscono notevolmente tra loro sia per le diverse grandezze considerate che per le diverse caratteristiche dei bacini esaminati. Tra queste, date le caratteristiche e la dimensioni del bacino, si ritiene molto rappresentativa quella proposta da Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}} \quad (\text{Giandotti}) \quad (6.4.1.2)$$

dove con  $H_0$  si è indicata la quota della sezione di chiusura e con  $H_m$  la quota media del bacino.

Sebbene quest'ultima espressione sia stata dedotta analizzando il comportamento di bacini di dimensioni più elevate di quello in esame, i risultati forniti dal suo utilizzo per bacini di estensione modesta sono sempre stati ritenuti attendibili.

#### **6.4.4 Deflusso profondo**

La frazione di precipitazione assorbita da terreno, normalmente considerata inefficace dal punto di vista dei deflussi superficiali, in realtà non viene completamente persa ai fini degli apporti alla rete idrografica. Una parte di essa infatti, sebbene con una propagazione più lenta, giunge al corso d'acqua fornendo il cosiddetto "deflusso profondo". L'entità di questi apporti nel tempo risulta estremamente ridotta in termini di valori di picco, ma risultano non trascurabili in termini di volume complessivo.

Tra i diversi metodi esistenti in letteratura per giungere alla loro quantificazione, alcuni ipotizzano un comportamento stazionario e lineare in modo simile a quanto ipotizzato per i deflussi superficiali e quindi mirano a ricostruire un idrogramma unitario "profondo" rappresentativo del tempo di propagazione di questi apporti ricostruendo l'idrogramma finale mediante la risoluzione di un integrale di convoluzione.

Essendo diversa la velocità di propagazione verso la sezione di chiusura del bacino rispetto alla velocità che caratterizza il deflusso superficiale, non è consentito utilizzare lo stesso idrogramma unitario utilizzato per i deflussi superficiali. Nel caso in questione è stata ipotizzata la similitudine dei parametri di forma dei

due idrogrammi unitari mentre il tempo di risposta dell'idrogramma profondo è stata amplificata di tre volte amplificando opportunamente il relativo parametro di scala.

La frazione di precipitazione destinata ad alimentare il deflusso profondo è stata ipotizzata costante durante l'intero fenomeno.

#### **6.4.5 Idrogrammi di piena**

Come illustrato nelle precedenti pagine, per il calcolo degli idrogrammi di piena dei corsi d'acqua principali si è fatto uso di un modello di trasformazione afflussi – deflussi, ipotizzando, per la stima della frazione di pioggia che contribuisce al deflusso superficiale, l'uso di uno ietogramma costante nel tempo di durata pari al tempo di corrivazione (stimato con la formula di Giandotti).

Gli ietogrammi sono stati valutati utilizzando la metodologia VAPI precedentemente descritta.

Partendo dai valori di pioggia cumulata, calcolati per una durata del fenomeno pari al tempo di corrivazione e per diverse frequenze di accadimento probabili, sono stati ricostruiti gli ietogrammi, che forniscono l'input del modello matematico.

Le altezze di pioggia, sono state ricavate, applicando la metodologia VAPI, precedentemente descritta.

Sono stati quindi ricavati gli idrogrammi per tempo di ritorno 50, 100, 200 e 300 anni valutati per il Torrente Carapelle, riportati in Figura 14.

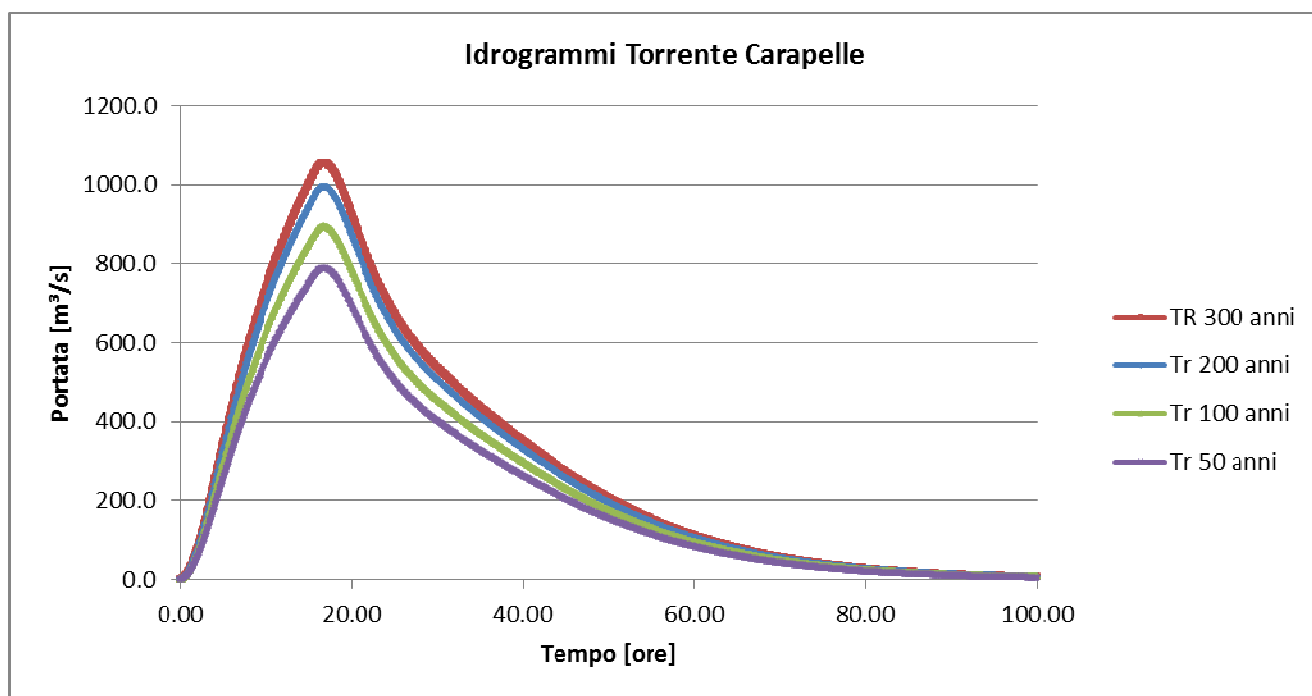


Figura 14 – Idrogrammi di piena Torrente Carapelle



## 7 STUDIO IDRAULICO

Per analizzare l'entità degli allagamenti causati dalle piene con tempo di ritorno 200 e 300 anni nella porzione di territorio interessata dal progetto della viabilità NV16 da realizzare a seguito dei lavori lungo la rete ferroviaria Foggia - Potenza, è stato implementato il modello matematico InfoWorks ICM (Figura 15) distribuito dall'azienda inglese *Innovyze* (ex HR Wallingford Software). Una descrizione del modello è disponibile in Appendice A.

Infoworks ICM è un applicativo software per la verifica e la progettazione di sistemi idraulici complessi costituiti da reti idrauliche e corsi d'acqua di tipo naturale. Il software consente di costruire e risolvere, in regime di moto vario, modelli idraulici di tipo monodimensionale (1D) che consentono di valutare la propagazione dell'onda di piena in alveo, modelli idraulici di tipo puramente bidimensionale (2D) per lo studio della propagazione dell'esonazione in aree su cui è definita una griglia di elementi triangolari sulla base topografica costituita, generalmente, da un modello digitale del terreno (DTM) e modelli idraulici combinati (1D – 2D) con la modellazione ibrida monodimensionale nel canale e bidimensionale nelle aree inondabili.

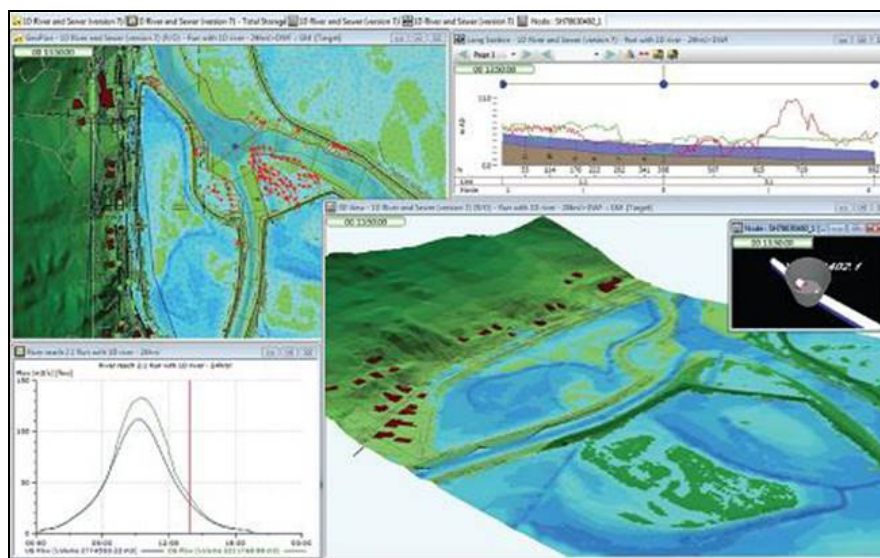



Figura 15 - Schermata del software di simulazione idraulica InfoWorks ICM.

Vista la conformazione dell'area di studio e del corso d'acqua da analizzare, caratterizzato da un alveo inciso con un andamento meandriforme, si è scelto di implementare un modello in configurazione geometrica completamente bidimensionale.

	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettrificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

## 7.1 Geometria di calcolo

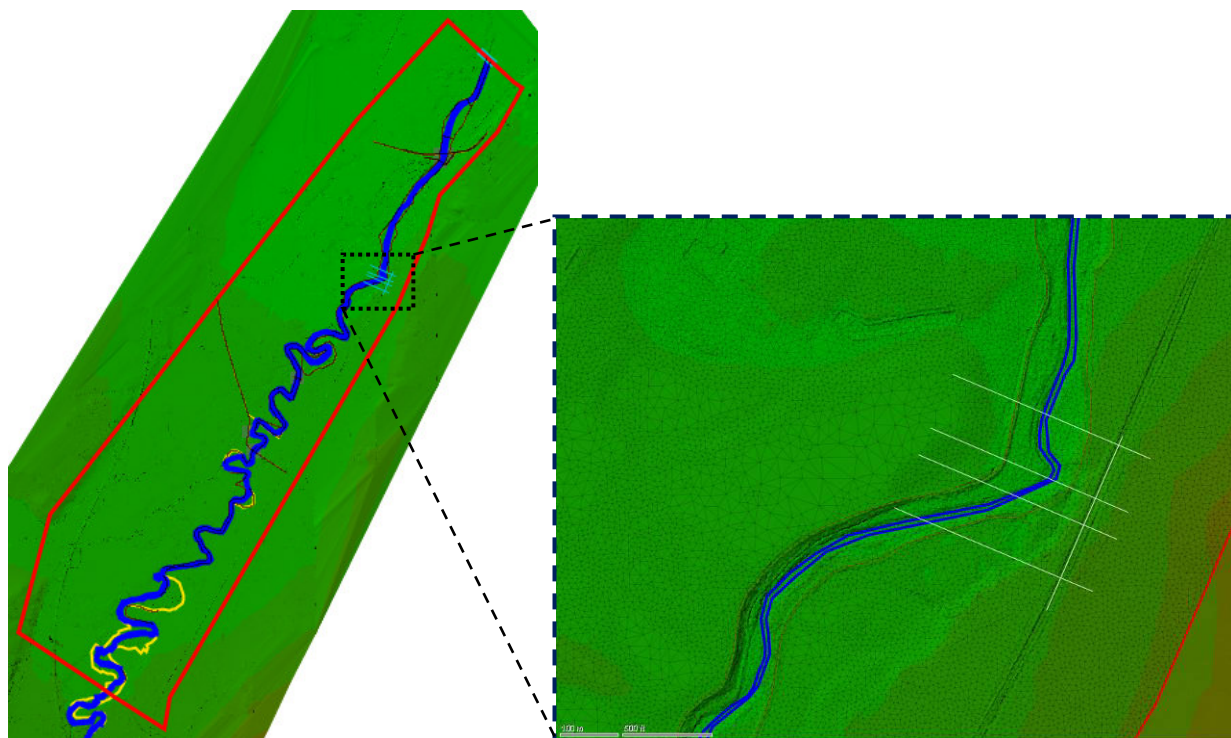
La geometria di calcolo è definita da una mesh ad elementi triangolari le cui caratteristiche planaltimetriche sono determinate sulla base del modello digitale del terreno e dagli elementi antropici presenti (rilevati, edifici).

In particolare, con riferimento al caso in esame, la mesh è stata ottenuta mediante una funzionalità del programma che, sulla base di parametri impostati dall'utente e delle variazioni morfologiche-altimetriche del terreno, permette di ottimizzare la mesh stessa al fine di massimizzare l'accuratezza di calcolo minimizzando nel contempo la durata delle simulazioni. Tale funzionalità infatti permette di generare elementi di calcolo più grandi dove le aree si presentano più "piatte" ed elementi più piccoli quando si hanno variazioni di pendenza.

Sono inoltre stati inseriti nel modello i seguenti elementi antropici:

- i rilevati stradali;
- i manufatti di attraversamento;
- i rilevati arginali.

L'estensione dell'area di studio del modello bidimensionale è delimitata in rosso in Figura 16, mentre in blu si riportano i limiti dell'alveo inciso del Torrente Carapelle e in giallo sono indicati i limiti delle aree golenali caratterizzate dalla presenza di vegetazione. L'individuazione di tali aree è stata effettuata in funzione dell'implementazione di diversi valori della scabrezza in fase di modellazione del Torrente Carapelle, come definite al paragrafo 7.2. Nel riquadro di ingrandimento si rappresenta invece la mesh di calcolo ottenuta durante l'implementazione del modello per il sito nel tratto oggetto di studio.



*Figura 16 - Estensione complessiva dell'area di studio. Nell'ingrandimento è rappresentato un dettaglio della mesh di calcolo.*

## 7.2 Condizioni al contorno

Gli idrogrammi di piena in ingresso al modello sono stati ottenuti secondo quanto descritto al paragrafo 6.4.

Il modello è stato esteso a valle del tratto interessato dalla modifica alla viabilità fino ad una distanza tale per cui le condizioni di valle imposte per le simulazioni idrauliche non possano influenzare il comportamento idraulico del fiume nell'ambito di studio. Tali condizioni di valle sono state ricavate dal modello eseguito per il Torrente Carapelle in un tratto subito a valle della zona di interesse per il presente studio, descritto al paragrafo 2.3, avendo imposto che la sezione di chiusura del modello di monte coincida con quella iniziale del modello di valle.

All'alveo attivo è stato assegnato un valore di scabrezza di Manning pari a  $0.028 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ , mentre per le aree ricoperte da vegetazione adiacenti all'alveo è stato adottato un valore di  $0.06 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  e alle zone esterne è stato attribuito un valore medio pari a  $0.05 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  a seguito dell'analisi della copertura del suolo ricavata da ortofoto.

### 7.3 Risultati delle simulazioni idrauliche

I risultati delle simulazioni svolte per diversi tempi di ritorno hanno permesso di rilevare la presenza di allagamenti estesi per tutto il tratto di studio, dovuti principalmente a esondazioni nel tratto di monte e conseguente propagazione della portata esondata a valle. Gli allagamenti simulati per l'evento con tempo di ritorno di 50 anni (Figura 17), 100 anni (Figura 18), e 200 anni (Figura 19) hanno un'estensione analoga a quelli ottenuti dall'evento TR 300 anni (Figura 20), che risulta ovviamente più gravoso in termini di altezze d'acqua che si instaurano nelle aree allagate, collocate principalmente sulla sinistra idrografica del Torrente Carapelle. L'area interessata dalla modifica alla viabilità oggetto di studio non risulta soggetta ad allagamento in nessuno degli eventi analizzati.

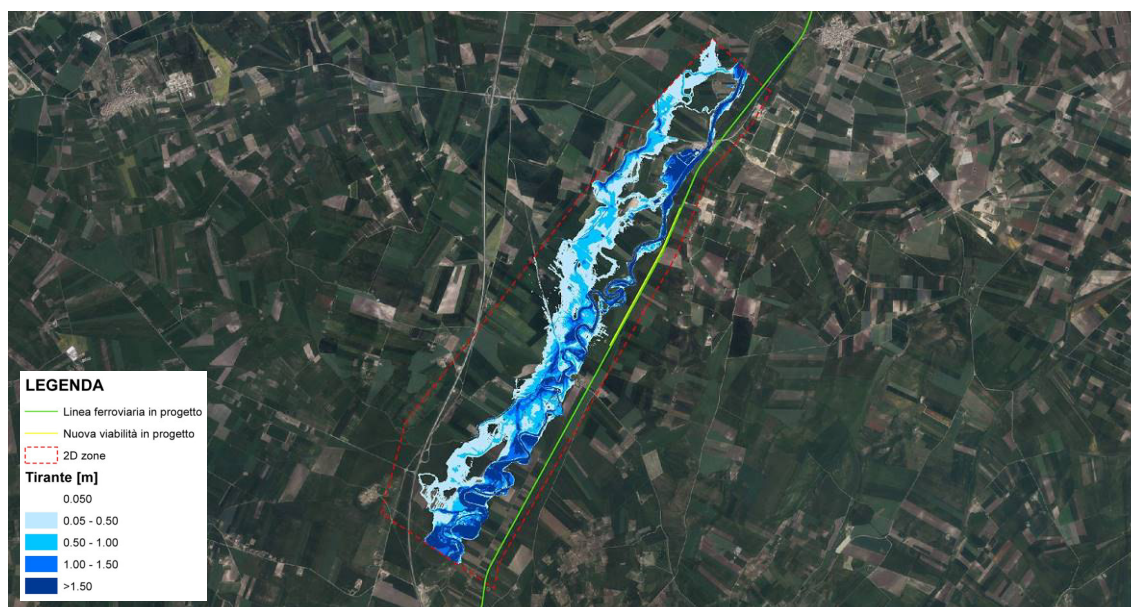
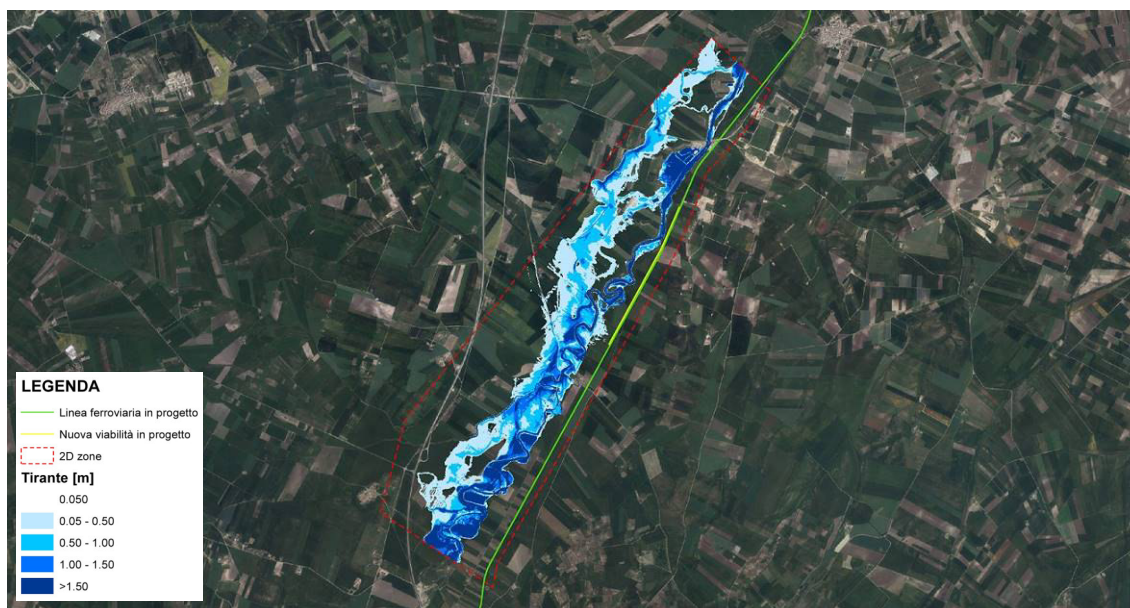
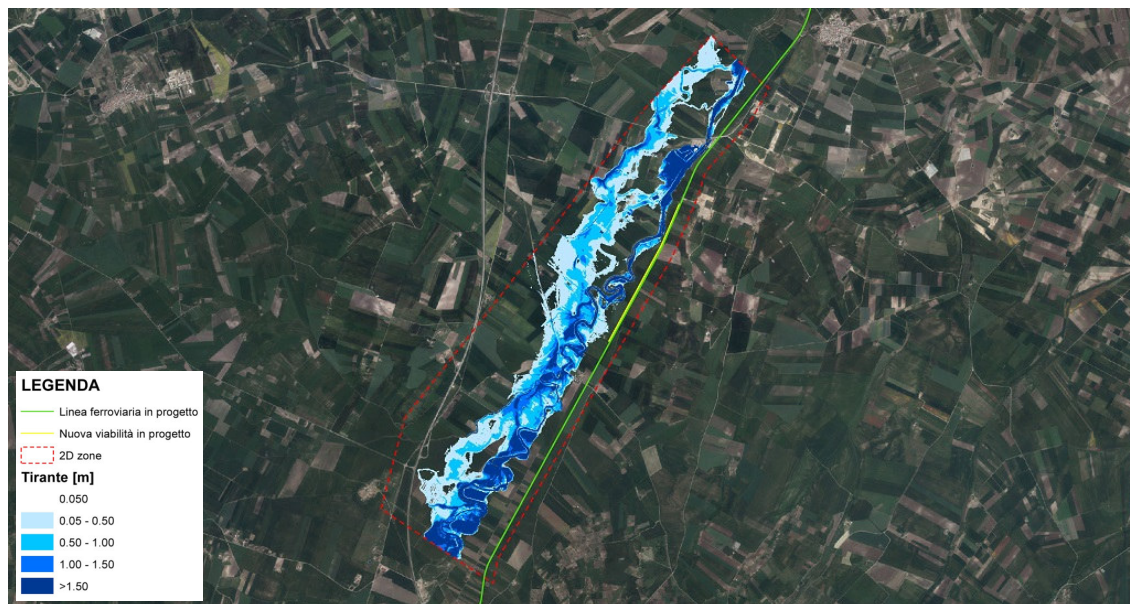


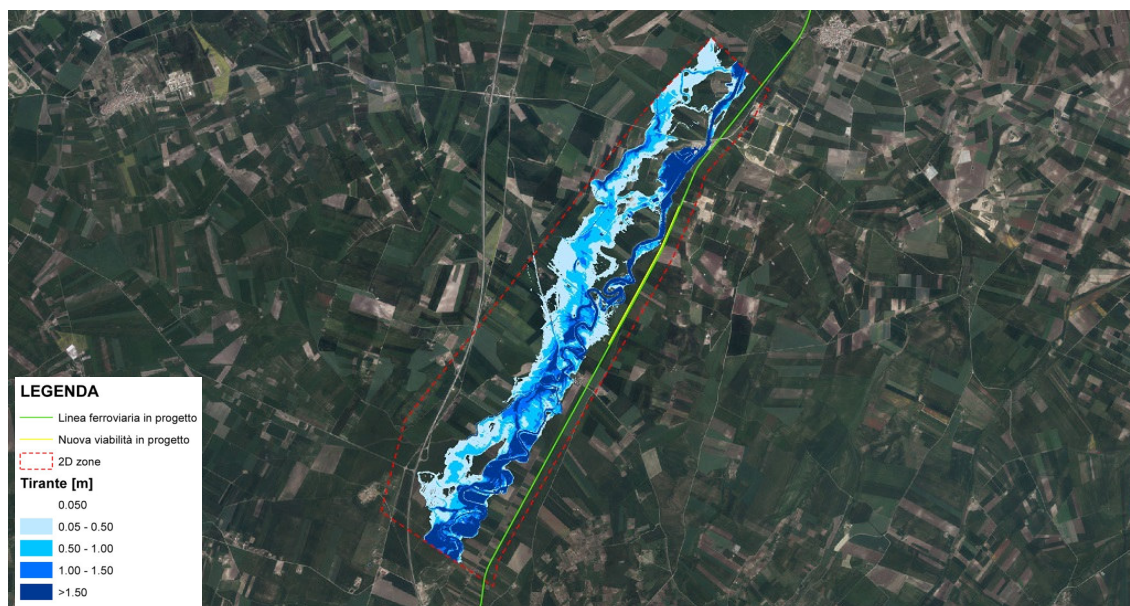
Figura 17 - Evento TR50 del Torrente Carapelle: altezze massime simulate dal modello idraulico nell'area in esame



*Figura 18 - Evento TR100 del Torrente Carapelle: altezze massime simulate dal modello idraulico nell'area in esame*

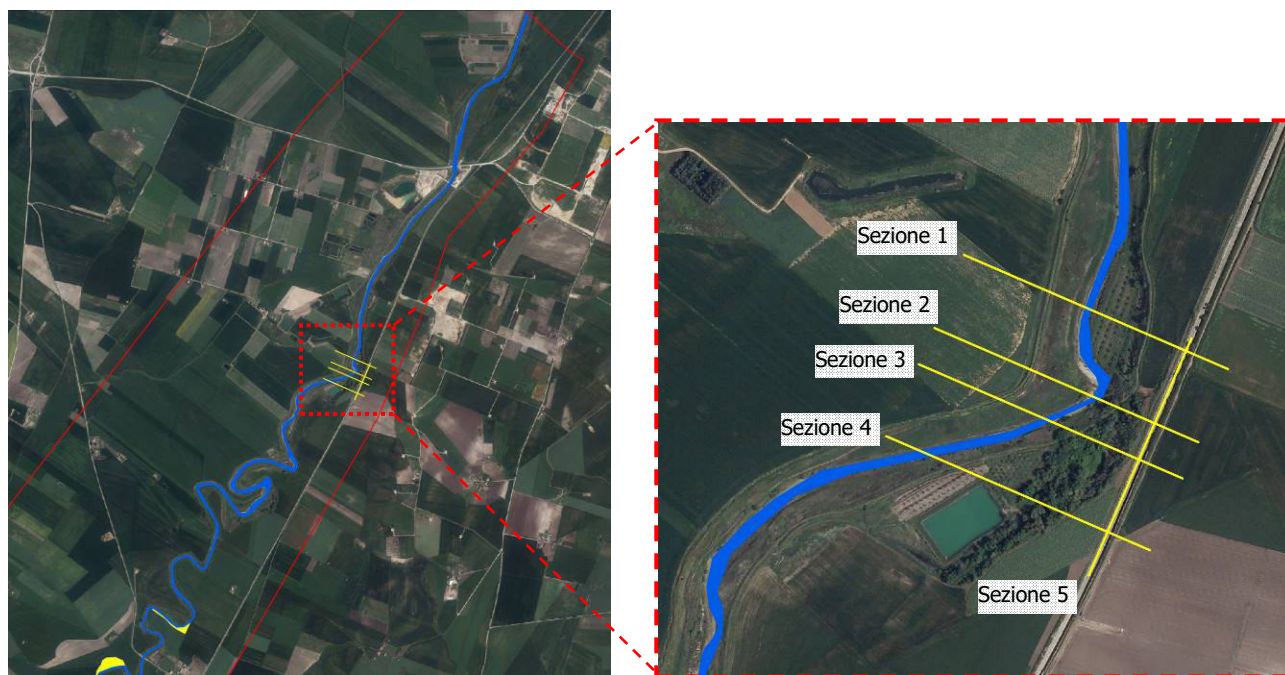


*Figura 19 - Evento TR200 del Torrente Carapelle: altezze massime simulate dal modello idraulico nell'area in esame*




*Figura 20 - Evento TR300 del Torrente Carapelle: altezze massime simulate dal modello idraulico nell'area in esame*

A fronte dei risultati ottenuti, è stata effettuata un'analisi dei livelli idrici in corrispondenza della nuova viabilità in progetto, così da valutare con maggior precisione il rischio idraulico in corrispondenza di alcune sezioni di controllo la cui ubicazione è riportata in Figura 21.



*Figura 21 – Ubicazione delle sezioni di controllo*

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettrificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

In particolare, l'analisi ha riguardato l'evento TR300, essendo questo il più gravoso in termini di estensione e entità degli allagamenti. I risultati sono riassunti in Tabella 13.

Tabella 13 – Tabella riassuntiva dei massimi tiranti e livelli idrici rilevati nelle sezioni di controllo

Sezione	Tirante massimo in alveo [m]	Massimo livello idrico [m s.l.m.]
1	6.7	125
2	7.1	125.4
3	6.6	125.2
4	7.2	126.7
5	-	-

In corrispondenza della sezione 5, longitudinale al tracciato della viabilità NV16, non sono riscontrati allagamenti. Inoltre, dal confronto della massima quota di pelo libero con il livello del terreno in destra idraulica nel tratto interessato dalla nuova viabilità è possibile constatare la presenza di un franco di sicurezza dell'ordine dei 10 - 15 m, tale da garantire l'assenza di rischio per la viabilità NV16. Si riportano di seguito i grafici relativi ai risultati per le sezioni 1 (Figura 22), 2 (Figura 23), 3 (Figura 24) e 4 (Figura 25) in termini di quota del terreno e livello idrometrico per l'evento TR300.

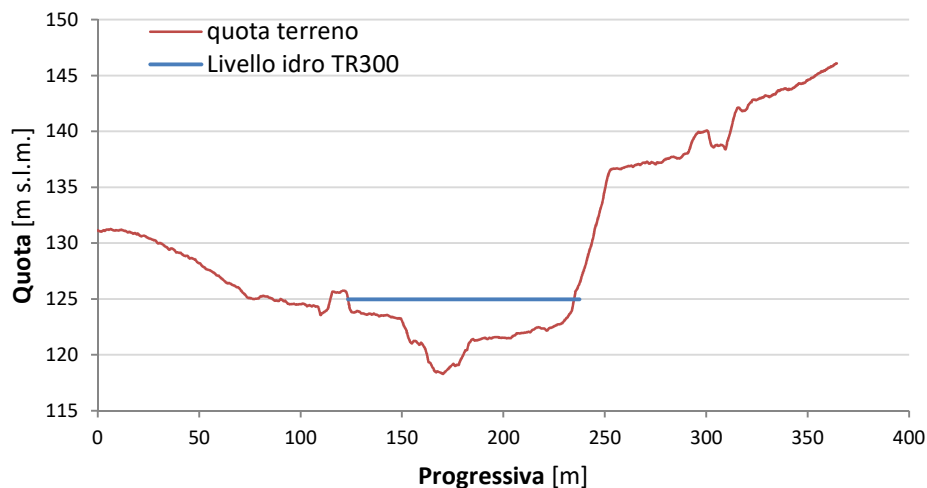


Figura 22 – Livello idrometrico per l'evento TR300 in corrispondenza della sezione 1

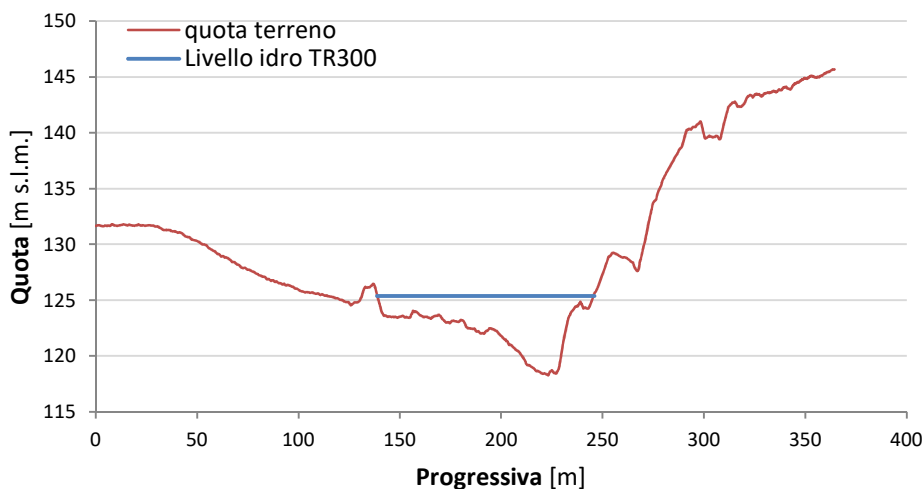


Figura 23 – Livello idrometrico per l'evento TR300 in corrispondenza della sezione 2

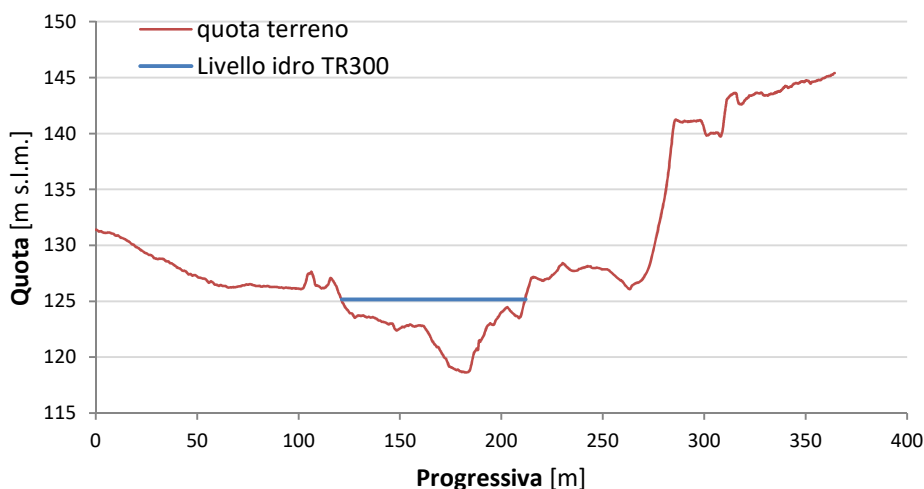


Figura 24 – Livello idrometrico per l'evento TR300 in corrispondenza della sezione 3

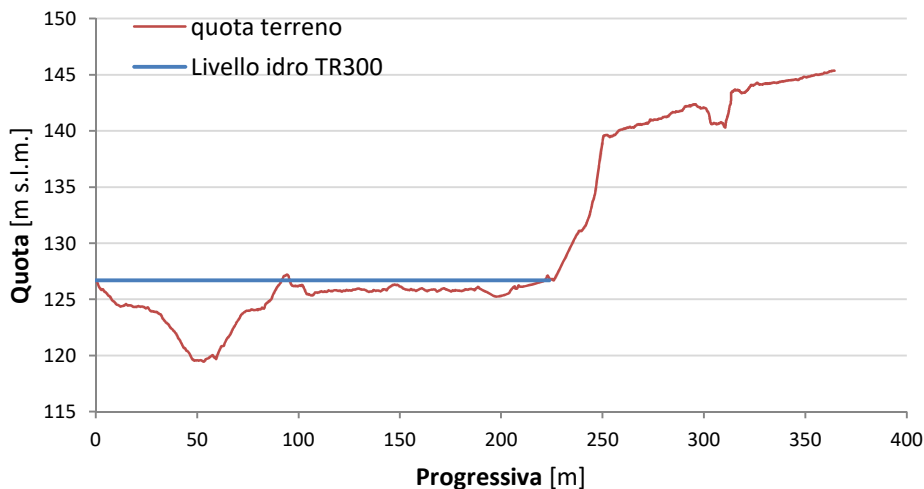



Figura 25 – Livello idrometrico per l'evento TR300 in corrispondenza della sezione 4



	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettrificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A


### **7.3.1 Confronto con la mappatura delle pericolosità del PSDA**

Secondo le mappature della pericolosità idraulica del PAI Puglia, aggiornate al 19-11-2019, l'area interessata dalla realizzazione del nuovo tratto di viabilità oggetto del presente studio risulta essere interessata nella sua parte settentrionale da allegamenti conseguenti ad eventi di piena, ricadendo in una zona classificata ad alta pericolosità. Tale differenza rispetto ai risultati del modello bidimensionale implementato nel presente studio è imputabile alle differenze nell'implementazione dei due modelli, quali la caratterizzazione del terreno e la schematizzazione del corso d'acqua e delle aree perfluviali. Nel modello bidimensionale realizzato per questo studio è stato, infatti, utilizzato un modello del terreno aggiornato ad alta definizione che permette una dettagliata rappresentazione dell'andamento altimetrico del terreno attraverso una mesh triangolare, a differenza dello studio condotto dall'AdB Puglia, monodimensionale, basato su un modello del terreno a celle rettangolari caratterizzate da un'area nettamente superiore.

### **7.3.2 Confronto con la mappatura delle pericolosità dello "Studio Per La Definizione Delle Opere Necessarie Alla Messa In Sicurezza Del Reticolo Idraulico Pugliese"**

I risultati del modello 1D dello Studio Per La Definizione Delle Opere Necessarie Alla Messa In Sicurezza Del Reticolo Idraulico Pugliese - Allegati 5.1.4\_CAR01\_1D\_tav4 e 5.1.5\_CAR01\_1D\_tav5 (Figura 5, Figura 6) confermano che la zona di interesse per lo studio non risulta interessata dagli eventi di piena per tempi di ritorno pari a 200 anni.

I risultati di tale modello e quelli del modello 2D svolto nel presente studio sono in sostanziale accordo per quanto concerne i tiranti idrici nelle aree coperte da entrambi i modelli, con qualche differenza nell'estensione degli allagamenti imputabile alle differenze che sussistono tra le caratteristiche dei modelli utilizzati: nel modello monodimensionale, avente sezioni trasversali molto ampie che impediscono di rilevare allagamenti all'interno della fascia di pertinenza fluviale, l'estensione dell'area di allagamento non risulta infatti evidente nell'area immediatamente esterna all'alveo.

	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettrificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

## 8 CONCLUSIONI

Lo studio idraulico condotto ha permesso di verificare l'estensione e l'entità delle aree di allagamento a seguito di possibili esondazioni del Torrente Carapelle in supporto allo sviluppo del progetto della viabilità NV16 nell'ambito del Progetto Esecutivo di Ammodernamento della linea ferroviaria Foggia – Potenza, Lotto 2 Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. e Consolidamento sede.

Le analisi sono state condotte per mezzo di un sofisticato modello idraulico bidimensionale (InfoWorks ICM) che è stato appositamente implementato utilizzando i dati topografici ottenuti da rilievi LiDAR e delle opere di attraversamento presenti lungo il corso d'acqua, come da rilievo dalla Protezione Civile Puglia.

I risultati delle simulazioni condotte hanno mostrato che l'area oggetto di studio interessata dalle modifiche di viabilità **non risulta interessata da eventi di piena del Torrente Carapelle** con tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni. Un'analisi approfondita su alcune sezioni di controllo in corrispondenza del tratto interessato dalle modifiche di viabilità ha, inoltre, permesso di rilevare la presenza di un **franco di sicurezza** variabile nel tratto in questione **dell'ordine dei 10 – 15 m.**

L'intervento, non interferendo con il deflusso, né modificando le condizioni di rischio, risulta compatibile con quanto disposto dalla normativa vigente.

## **APPENDICE A - IL MODELLO IDRAULICO INFOWORKS ICM**

### Punti di forza dell'applicativo software

I punti di forza principali dell'applicativo derivano dalla sua ampissima gamma di applicazione che ne consente l'utilizzo di qualsiasi situazione reale senza bisogno di ricorrere ad artifici o semplificazioni del problema. L'interfaccia utente, semplice e completo, la velocità di calcolo e la robustezza dell'approccio numerico completano il prodotto rendendolo facilmente fruibile ai tecnici che operano nel settore dell'idraulica.

### Modelli idrologici disponibili

Pur trattandosi di un modello idraulico, InfoWorks ICM dispone di una serie modelli di trasformazione afflusso-deflussi per connettere una sezione di deflusso del reticolo di drenaggio, a un bacino idrografico che produce la portata di alimentazione in risposta ad un evento meteorico. E' quindi possibile sollecitare il modello geometrico con diverse condizioni al contorno tra cui anche degli opportuni ietogrammi di pioggia incidenti in diversi sottobacini. A scelta l'utente potrà scegliere tra questi modelli idrologici:

- Formula Razionale
- Modello CN (SCS)
- Modello Green-Ampt
- Modello Horton
- Modello New UK
- Modello dell'Infiltrazione costante
- Modello di Horner

Si possono anche inserire diversi modelli di corrivazione e di computazione delle perdite iniziali.

### Approccio numerico alla componente 1D

Il moto idraulico all'interno degli elementi monodimensionali che lavorano a pelo libero (sia le tratte fluviali aperte o tubazioni) vengono risolte con l'integrazione delle equazioni di De Saint Venant (conservazione del momento e della massa).

Le equazioni sono le seguenti:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0$$

dove:


- $A$  area bagnata del condotto;
- $Q$  portata;
- $x$  distanza lungo l'asse del condotto;
- $t$  tempo;
- $g$  costante gravitazionale;
- $H$  carico idraulico totale dato da  $z+h$ ;
- $z$  quota dello scorrimento;
- $h$  livello idrico;
- $S_f$  cadente piezometrica.

In particolare, la prima è l'equazione di continuità in moto vario in assenza di afflussi e deflussi laterali, la seconda è l'equazione del momento della quantità di moto; quest'ultima può essere scritta in più forme, in funzione della scelta delle variabili dipendenti. La cadente piezometrica viene computata con varie possibili metodologie (a scelta dell'utente): in InfoWorks sono infatti disponibili le equazioni di Colebrook-White, Manning e Strickler.

Per poter essere integrate queste equazioni devono essere opportunamente semplificate e linearizzate in modo tale che il sistema di equazioni possa essere risolto con la teoria delle matrici. Lo schema di linearizzazione usato da InfoWorks CS è quello dei 4 punti di Priessmann mentre il risolutore adottato è quello di Newton-Raphson.

Le equazioni di cui sopra sono valide fino a quando il condotto non entra in pressione, per permettere a InfoWorks di simulare anche situazioni di condotte in pressione (senza problemi nella transizione da uno stato all'altro) il motore di calcolo adotta la tecnica dello slot per il quale si ipotizza la presenza di una piccola fessura alla sommità della condotta e fino al piano campagna. Così facendo il motore di calcolo non incontra nessuna discontinuità nella transizione da moto da gravità a quello in pressione (per tubi in cui invece permane costantemente il moto in pressione, come le condotte di mandate presenti nel modello, è possibile utilizzare un sistema di equazioni più appropriato che elimina l'artificio dello slot).

L'applicabilità di questo metodo di soluzione è stato testato in centinaia di studi e applicazioni anche con riscontri di misure idrometriche ottenuti su dei bacini sperimentali.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 - Elettificazione, Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b> <b>LOTTO 2 - Rettifiche Di Tracciato, Soppressione P.L. E Consolidamento Sede</b>						
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 006	REV. A

Ci sono alcune limitazioni sull'utilizzo di questo approccio sono:

- i risultati sono semplificati per elementi molto pendenti e per le quali comunque InfoWorks produce dei risultati comunque vicini alla realtà;
- il risalto idraulico (ovvero quella discontinuità che si nota nei profili di rigurgito dove un tubo molto pendente incontra un tubo a bassa pendenza per cui l'acqua forma un vero e proprio sovrizzo improvviso) non viene rappresentato in modo preciso ma il passaggio da corrente veloce a lenta viene computato su una certa distanza (qualche metro a seconda della geometria della situazione reale).

Si noti che la metodologia di calcolo a moto vario è in grado di tener conto anche dei volumi in gioco e quindi di tener conto delle attenuazioni dell'onda di piena quando questa riempie dei volumi disponibili in alveo o in vere e proprie vasche di espansione opportunamente rappresentate nel modello.

#### Approccio numerico alla componente 2D

Il modello usato per la rappresentazione matematica del flusso 2D è basato sull'equazione dell'acqua superficiale, relativa cioè all'altezza media che si ricava dalle equazioni di Navier – Stokes:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q_{1D} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu^2 + gh^2/2) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} \\ = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D}u_{1D} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y}(hv^2 + gh^2/2) \\ = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D}v_{1D} \end{aligned} \quad (3)$$

dove:

- $h$  è l'altezza dell'acqua;
- $u$  e  $v$  sono rispettivamente le velocità nelle direzioni  $x$  e  $y$ ;
- $S_{0,x}$  e  $S_{0,y}$  sono rispettivamente le pendenze dell'alveo nelle direzioni  $x$  e  $y$ ;

- $S_{f,x}$  e  $S_{f,y}$  sono rispettivamente gli attriti nelle direzioni x e y;
- $q_{1D}$  è la portata per unità di area;
- $u_{1D}$  e  $v_{1D}$  sono rispettivamente le componenti di velocità della portata  $q_{1D}$  nelle direzioni x e y.

Questa formulazione conservativa dell'equazione dell'acqua superficiale è discretizzata utilizzando un sistema di primo ordine esplicito del volume finito.

La tecnica di frazionamento del flusso assicura la proprietà del buon equilibrio bilanciando la pendenza con la pressione, termini a riposo.

La gestione della cella bagnata ed asciutta è eseguita utilizzando come criterio una profondità di soglia per considerare che una cella è bagnata, e la velocità è impostata a zero se la profondità è sotto il valore di soglia. Questo evita la creazione di elevate velocità artificiali in aree bagnate/asciutte. Il valore di default per questa profondità di soglia è 1 mm.

Questo algoritmo può essere utilizzato teoricamente sia con maglie strutturate (rettangolari) che non strutturate (triangolari) ed è adatto per rappresentare flussi rapidamente variabili, nonché correnti veloci e lente. In InfoWorks si utilizzano le maglie non strutturate perché sono molto più flessibile e di facile utilizzo quando si vogliono rappresentare forme e ostacoli complessi presenti nel dominio.

#### Produzione della magliatura 2D

All'interno del software sono presenti tutti gli strumenti necessari per costruire la magliature dei domini 2D da simulare. Si possono prevedere diversi gradi di dettaglio per varie zone con opportuni raffinamenti del dominio, impostare diverse zone di scabrezza, fissare delle breakline, definire ostacoli poligonali e lineari (edifici, muri, ecc.). Il processo di magliatura tiene conto di questi vincoli e, se lo si desidera, è in grado di produrre una magliatura dipendente dalla conformazione morfologica del terreno. Laddove il terreno risulta più pendente viene infittita la maglia per assicurarsi che i triangoli non abbiano i vertici con differenze di quota superiori ad un termine fissato dall'utente.

#### Collegamento 1D-2D

Il modello di simulazione consente un immediato collegamento di diverse componenti di modello modo e bidimensionale. Si possono utilizzare per esempi:

- *linee spondali*: rappresentano un confine ideale tra l'alveo inciso modellato con elementi 1D e la golena rappresentata da un dominio 2D, le linee spondali vengono rappresentate con delle polilinee per le quali viene definita una quota Z variabile sul suo percorso. Le linee spondali sono utilizzate essenzialmente come sfiori laterali tra alveo inciso e zona di golena 2D;

- *sfori frontali*: si utilizzano quando si desidera interrompere un modello 1D di un fiume e trasferire tutto l'idrogramma di portata sul dominio 2D (o viceversa);
- *nodi*: sono degli elementi puntiformi dove può avvenire lo scambio di portata tra 1D e 2D, per esempio questa tecnica è appropriata quando si rappresentano le esondazioni provenienti dai pozzetti di fognatura su un dominio bidimensionale.

#### Tempi di calcolo e dimensione del modello

Il software consente di eseguire calcoli e ottenere risultati in tempi rapidi. Mentre la componente 1D sui moderni processori consente dei tempi di simulazione irrisori (pochi secondi per modellare una rete di 1,000 nodi per una durata di 4 ore) la componente bidimensionale può necessitare di tempi d'attesa più lunghi in funzione del numero di triangoli e dalle condizioni di moto del dominio. Su dei processori Core i7 ci si può attendere che una simulazione di 10,000 triangoli di un evento reale di 60 minuti possa necessitare qualche minuto per essere computata. Il motore di calcolo 2D è stato testato su domini di calcolo con oltre 5 milioni di triangoli ma per queste ampiezze di dominio si consiglia di dotarsi di specifica GPU (hardware non sempre presente in classici Desktop e molto raramente in Laptop) che accelerano i tempi di calcolo di 30-50 volte rispetto ai normali processori consentendo quindi tempi computazionali molto ridotti (ordine di decine di minuti) per domini 2D di centinaia di migliaia di triangoli.

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMA INVESTIMENTI DIRETTRICE SUD

PROGETTAZIONE:



**CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE  
DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO**

**S.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA SUD**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**LINEA POTENZA-FOGGIA - AMMODERNAMENTO  
SOTTOPROGETTO 2 – ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO,  
SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE**

**LOTTO 02 – RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E  
CONSOLIDAMENTO SEDE**

**Relazione idrologica e idraulica  
Tratta Roscchetta S. Antonio - Potenza**

SCALA:

-----

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

**I A 4 M    0 0    E    7 8    R I    I D 0 0 0 2    0 0 7    A**

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Emissione esecutiva	L.Galloppa	Dicembre 2021	Di Domenicantonio	Dicembre 2021	L.Diaferia	Dicembre 2021	 ITALEAS S.p.A. Gruppo Ferrovie dello Stato DIREZIONE INVESTIMENTI S.O. Progettazione Integrata e Field Engineering Dott. Ing. Francesco Sacchi Ordine degli Ingegneri della Campania n. 23172 Str. A

File: IA4M00E78RIID0002007A.DOCX

n. Elab.



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>5</b>
1.1	Modifiche Progetto Definitivo – Progetto Esecutivo	5
1.2	Elenco elaborati di riferimento	5
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>TEMPO DI RITORNO</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI E DELLE PORTATE CON IL METODO VAPI</b>	<b>8</b>
4.1	Dati utilizzati	8
4.1.1	<i>Pluviometria</i>	8
4.1.2	<i>Idrometria</i>	8
4.2	Leggi di variazione dei coefficienti di crescita con il periodo di ritorno	9
4.2.1	<i>Pluviometria</i>	9
4.2.2	<i>Idrometria</i>	11
4.3	Stima del valor medio	14
4.3.1	<i>Leggi di probabilità pluviometriche</i>	14
4.3.2	<i>Piena media annua</i>	26
4.4	Scrosci	27
4.5	Portate di progetto della sistemazione idraulica alla pk 104+864 della linea ferroviaria Foggia-Potenza	29
4.6	Curva di possibilità pluviometrica per il dimensionamento del drenaggio di piattaforma della NV18	29
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA DI VERIFICA</b>	<b>30</b>
5.1	Metodo dell'invaso	30
5.2	Dimensionamento Recapiti a Dispersione	33
<b>6</b>	<b>DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI E VERIFICHE IDRAULICHE</b>	<b>35</b>
6.1	Sistemazione idraulica	35
6.2	Viabilità NV18	37
6.2.1	<i>Opere di intercettazione</i>	42
<b>7</b>	<b>COMPATIBILITA' IDRAULICA</b>	<b>44</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Ipotesi di suddivisione della Basilicata in sottozone pluviometriche omogenee.	9
Figura 2 - Sottozone omogenee al II livello di regionalizzazione delle piene.	13
Figura 3 - Iso linee del coefficiente <b>a</b> della curva di probabilità pluviometrica.	17
Figura 4 - Iso linee dell'esponente <b>n</b> della curva di probabilità pluviometrica.	18
Figura 5 - Suddivisione della regione in esame in celle di lato 10 Km	19
Figura 6 – Relazione altezza – frequenza per T=2, 25, 100 anni	28
Figura 7 – NV18 – Setti lungo i fossi disperdenti - Interasse	38
Figura 8 – NV18 – Canali – Sezioni tipo	38
Figura 9 – NV18 – Stralcio planimetrico	39
Figura 10 – NV18 – Stralcio planimetrico	40
Figura 11 – NV18 – Rilevato – Opere tipo di drenaggio	41
Figura 12 – Ortofoto dell'area di intervento e sovrapposizione con il PAI della Basilicata	44

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1– Manuale di progettazione – Tempi di ritorno.	7
Tabella 2 - Principali statistiche delle serie storiche dei massimi annuali delle portate al colmo di piena.	9
Tabella 3 - Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Basilicata	10
Tabella 4 - Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita KT per le piogge in Basilicata, per alcuni valori del periodo di ritorno T.	10
Tabella 5 - Valori regionali di $\Lambda_1$ per le sottozone idrometriche considerate.	12
Tabella 6 - Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Basilicata	13
Tabella 7 - Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita KT per le piene in Basilicata, per alcuni valori del periodo di ritorno T.	14
Tabella 8 - Stime puntuali dei parametri della curva di probabilità pluviometrica	20
Tabella 9 - Medie areali dei parametri della curva di probabilità pluviometrica	21
Tabella 10 - Valori medi per celle dei parametri della curva di probabilità pluviometrica	22
Tabella 11 - Valori medi per celle dei parametri della curva di probabilità pluviometrica	23
Tabella 12 - Valori medi per celle dei parametri della curva di probabilità pluviometrica	24
Tabella 13 - Valori medi per celle dei parametri della curva di probabilità pluviometrica	25
Tabella 14– Rapporto pioggia con pioggia oraria.	27
Tabella 17 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 20, 30, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti della tratta Rocchetta Scalo - Potenza.	29
Tabella 19 – NV18 Verifica sistema di drenaggio.	41
Tabella 20– NV18 Verifica sistema ad accumulo e dispersione.	42
Tabella 21– NV18 Verifica sistema ad accumulo e dispersione.	42
Tabella 22– Parametri input opere intercettazione.	42
Tabella 23– Opere di intercettazione: portate e tiranti di verifica.	43
Tabella 24– Opere di intercettazione: Embrici - verifica	43

## 1 PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del progetto di Ammodernamento della linea Foggia-Potenza - Sottoprogetto 2 - Elettrificazione, rettifiche di tracciato, soppressione P.L. e consolidamento sede - Lotto 2 – Rettifiche di tracciato, Soppressione P.L. e Consolidamento sede.

Il suddetto progetto prevede la soppressione di 5 Passaggio a livello:

- NV01 - Viabilità al km 11+764.
- NV02 - Viabilità al km 14+942.
- NV06 - Viabilità al km 38+203.
- NV07 - Viabilità al km 44+443.
- NV18 – Viabilità al km 104+736

Nell'ambito dell'intervento NV07 è presente anche l'intervento di deviazione di una viabilità locale sterrata (NV17): nel tratto iniziale è prevista la realizzazione della piattaforma tra muri il cui sistema di drenaggio è organico con il sistema di drenaggio dell'intervento NV07.

La presente relazione descrive lo studio idrologico e idraulico della sistemazione idraulica alla pk 104+864 e riporta i risultati del dimensionamento del sistema di drenaggio della piattaforma stradale relativamente alla viabilità NV18.

### 1.1 Modifiche Progetto Definitivo – Progetto Esecutivo

La progettazione idraulica della viabilità di ricucitura NV18 è stata sviluppata nella presente fase progettuale.

### 1.2 Elenco elaborati di riferimento

Titolo	Scala	Codifica
<b>Tombini ferroviari</b>		
Sistemazione idraulica pk. 104+864 – Planimetria di progetto, Profili e Sezioni canali	varie	IA4M00E78PZID0002011A
<b>NV18</b>		
Planimetria di smaltimento acque meteoriche	1:500	IA4M00E78P8NV1800001A
Profili longitudinali canali e sezioni tipo	varie	IA4M00E78FZNV1800001A
Dettagli idraulici	varie	IA4M00E78BZNV1800001A

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b> <b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
	<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 007	REV. A

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale" e ss. mm. e ii.
- DM 17.01.2018 "Norme tecniche sulle costruzioni";
- Circolare n.7 del 21.01.2019: Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- RFI - Manuale di Progettazione RFI DTC SI CS MA IFS 001 E 31.12.2020.
- Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico (aggiornamento 2015) Norme tecniche di attuazione.

### Basilicata

- Deliberazione della Giunta Regionale n. 1888 del 21/12/2008 Piano Regionale di Tutela delle acque.

### 3 TEMPO DI RITORNO

La scelta del tempo di ritorno degli eventi meteorici per il calcolo delle portate necessarie al dimensionamento delle varie tipologie di opere è stata effettuata in conformità a quanto previsto dalle NTA del PAI, dalle NTC 2018 e dal Manuale di Progettazione Ferroviaria, di cui si riporta un riepilogo nella tabella seguente.

	<b>Manuale di progettazione ferroviaria</b>
<b>Manufatti di attraversamento (ponti e tombini)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>linea ferroviaria <math>Tr= 200</math> anni per <math>S &gt; 10</math> km<sup>2</sup></i></li> <li>• <i>linea ferroviaria <math>Tr= 200</math> anni per <math>S &lt; 10</math> km<sup>2</sup></i></li> </ul>
<b>Drenaggio di piattaforma (cunette, tubazioni, etc.)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>deviazioni stradali <math>Tr=200</math> anni</i></li> <li>• <i>Piattaforma ferroviaria TR 100 anni</i></li> <li>• <i>Deviazioni stradali <math>Tr=25</math> anni</i></li> </ul>

Tabella 1– Manuale di progettazione – Tempi di ritorno.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b> <b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
	<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 007	REV. A

#### 4 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI E DELLE PORTATE CON IL METODO VAPI

Lo studio idrologico si basa sui risultati del Progetto VAPI, che adotta un modello probabilistico a doppia componente (TCEV) e un'analisi regionale dell'informazione pluviometrica e idrometrica possedute su un dato territorio per la valutazione rispettivamente dei massimi annuali delle piogge e dei massimi annuali delle portate. Per maggiori dettagli sul modello TCEV si rimanda alla relazione IA4M00E78RIID0001001A. Nel seguito si riportano i contenuti del *Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia* relativi alla Regione Basilicata.

“La regione in esame è quella relativa ai bacini del versante ionico della Basilicata, che comprende i bacini del Bradano, del Basento, del Cavone, dell'Agri e del Sinni e misura circa 8500 Km<sup>2</sup>. Risultano incluse nell'analisi anche zone relative ad alcuni bacini minori, tra cui quello del Noce.”

#### 4.1 Dati utilizzati

##### 4.1.1 Pluviometria

I dati pluviometrici analizzati sono desunti dalle pubblicazioni del Servizio Idrografico Italiano (oggi SIMN) relative ai Compartimenti di Catanzaro, Bari e Napoli. L'archivio dei dati pluviografici, basato sulle citate pubblicazioni, è aggiornato al 1987. Per alcune stazioni è stato tuttavia possibile, grazie alla collaborazione fra il SIMN di Catanzaro ed il C.N.R.-I.R.P.I. di Rende (CS), utilizzare i dati, non ancora pubblicati, aggiornati al 1992. I dati utilizzati sono relativi a 55 stazioni pluviografiche con almeno 15 anni di funzionamento. Alcune stazioni sono situate all'esterno dei limiti di bacino allo scopo di migliorare le stime dei parametri areali relativi ai bacini idrografici.

##### 4.1.2 Idrometria

Le stazioni considerate nell'analisi delle portate al colmo di piena, con le relative statistiche principali sono riportate in Tabella 2. I dati utilizzati sono stati ottenuti da quelli originari del Servizio Idrografico tramite regolarizzazione per mezzo di scale di deflusso di piena appositamente tarate, operazione che ha eliminato numerose incongruenze emerse dal confronto tra i dati di più stazioni relativamente agli stessi eventi.

Cod.	Stazione	n° dati	Media	$C_v$	$C_a$
1.1	Bradano a S.Giuliano	17	507	0.79	1.03
1.3	Bradano a p.te Colonna	32	202	0.76	1.21
2.0	Basento a Menzena	24	401	0.63	1.57
2.1	Basento a Gallipoli	38	353	0.63	2.25
2.3	Basento a Pignola	28	35	0.43	1.1
3.2	Agri a Tarangelo	32	189	0.38	0.75
3.4	Agri a Le Tempe	27	87	0.15	0.55
4.0	Sinni a Valsinni	22	555	0.55	2.42
4.1	Sinni a Pizzutello	19	262	0.25	0.75

Tabella 2 - Principali statistiche delle serie storiche dei massimi annuali delle portate al colmo di piena.

## 4.2 Leggi di variazione dei coefficienti di crescita con il periodo di ritorno

### 4.2.1 Pluviometria

#### 4.2.1.1 Piogge giornaliere

Le ipotesi di regionalizzazione sono state poste contestualmente rispetto al primo ed al secondo livello. Le alternative valutate sono state (Figura 1):

- una in cui si considera l'intera Basilicata come unica zona omogenea al primo ed al secondo livello
- una seconda che individua una sottozona Nord composta da 70 stazioni e ed una sottozona Sud-Ovest comprendente le rimanenti 8, con zona ancora unica al primo livello.

Tale soluzione viene suggerita dalla particolare collocazione geografica delle 8 stazioni, a ridosso del massiccio del Pollino, che individuano la sottozona Sud-Ovest.

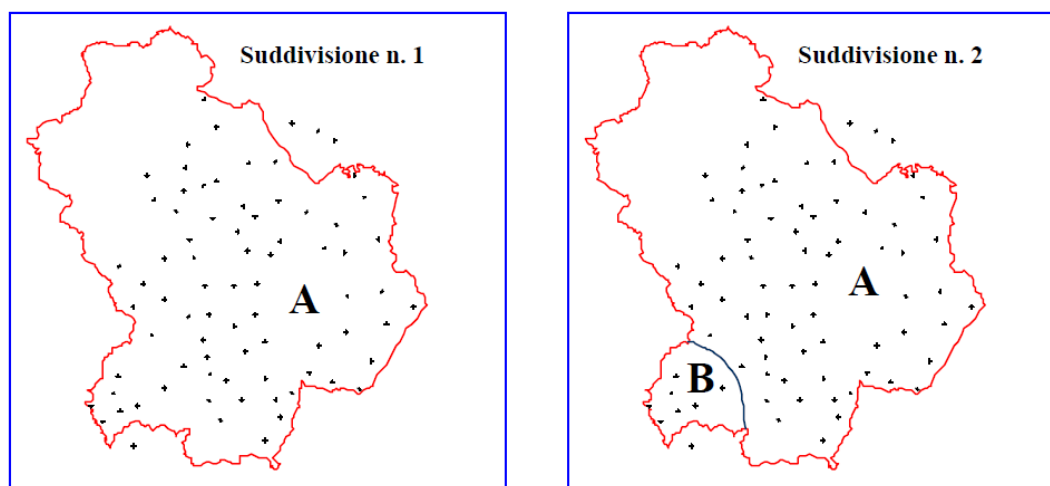


Figura 1 - Ipotesi di suddivisione della Basilicata in sottozone pluviometriche omogenee.



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETTTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b> <b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
	<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 007	REV. A

Sottozona	$\Lambda^*$	$\theta^*$	$\Lambda_1$	$\eta$
A	0.104	2.632	20.64	3.841
B	0.104	2.632	55.23	4.825

Tabella 3 - Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Basilicata

Il confronto tra i risultati ottenuti per le suddivisioni in una o due regioni si presenta a favore di quest'ultima ipotesi, con la suddivisione in due sottozone Nord e Sud-Ovest. Quest'ultima risulta anche omogenea rispetto alla sottozona di secondo livello indicata come tirrenica nel rapporto VAPI Calabria. In definitiva, risulta che i parametri regionali stimati al primo ed al secondo livello sono quelli riportati nella Tabella 3.

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

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

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

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
$K_T$ (SZOA)	0.92	1.25	1.49	1.74	1.83	2.03	2.14	2.49	2.91	3.50	3.97
$K_T$ (SZOB)	0.97	1.10	1.20	1.30	1.34	1.42	1.46	1.61	1.78	2.02	2.21

Tabella 4 - Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$  per le piogge in Basilicata, per alcuni valori del periodo di ritorno T.

	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETTIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b>						
	<b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	Progr. 007	Rev. A	Pag. 11 di 44

Nelle pratiche approssimazioni, è possibile anche fare riferimento ad una espressione semplificata del tipo:

$$K_T = \left( \frac{\theta^* \text{Ln } \Lambda^*}{\eta} + \frac{\text{Ln } \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta^*}{\eta} \text{Ln } T \quad (2)$$

che, dati i valori assunti dai parametri della distribuzione TCEV in Basilicata, diventa:

$$(SZO A) K_T = -0.7628 + 0.6852 \text{Ln } T \quad (3)$$

$$(SZO B) K_T = -0.4032 + 0.5455 \text{Ln } T \quad (4)$$

Per valori del periodo di ritorno superiori a 25 anni, l'errore nell'uso delle equazioni (3) e (4) in luogo della (2) è sempre inferiore al 5 % nella SZO B, mentre un risultato analogo è valido per la SZO A solo a partire da  $T = 50$  anni.

## 4.2.2 Idrometria

### 4.2.2.1 Portate istantanee

Al 1° livello di regionalizzazione si sono assunti validi, per la Basilicata, i parametri  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$  nazionali. Si è infatti ritenuto che la rappresentatività delle serie dei dati disponibili fosse troppo bassa (poche serie e non eccessivamente lunghe) per mettere in discussione l'ipotesi di appartenenza della Basilicata alla zona unica nazionale nella quale  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$  sono ipotizzati costanti.

I valori assunti, validi per tutta l'Italia appenninica ed insulare, ad eccezione della Sardegna, sono:

$$\theta^* = 2.654; \quad \Lambda^* = 0.350$$

ai quali corrisponde un coefficiente di asimmetria teorico  $Ca = 2.32$ .

Al secondo livello si è effettuata, per ogni singolo sito idrometrografico, la stima regionale del parametro  $\Lambda_1$  della TCEV, avendo vincolato la stima a  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$  per i quali si sono assunti i valori nazionali. La procedura di stima utilizzata è quella di massima verosimiglianza (MV). I risultati vengono riportati nella Tabella 5, in cui si è escluso il valore di Agri a Le Tempe, inammissibile: data l'ampia variabilità osservata, si è portati ad escludere l'ipotesi che i bacini lucani possano appartenere ad una sottozona unica omogenea rispetto al parametro  $\Lambda_1$ . D'altra parte, ciò è in accordo con la variabilità dei

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b>						
	<b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	Progr. 007	Rev. A	Pag. 12 di 44

parametri geomorfoclimatici che è possibile notare passando da un bacino all'altro. Riguardando infatti i risultati raggruppati per bacino è possibile individuare tre sottozone omogenee (Figura 2):

- **Sottozona A:** si identifica praticamente con l'intero bacino del Bradano. Tale bacino è in assoluto quello caratterizzato dalla maggiore aridità di tutta la regione, caratteristica che induce bassi valori di  $\Lambda_1$ , tra le altre cose, anche a causa del fatto che il suolo è il più delle volte asciutto prima delle piene. Va poi rimarcata la presenza di zone carsiche all'interno del bacino.
- **Sottozona B:** comprendente il medio e basso bacino del Basento, le cui caratteristiche sono non molto dissimili da quelle della zona A, anche se il numero medio degli eventi è leggermente maggiore. Ai fini di questa suddivisione, il basso Basento si può approssimativamente far iniziare a valle della città di Potenza.
- **Sottozona C:** dove si fa rientrare l'Agri, il Sinni e l'alto bacino del Basento ovvero la zona a monte di Potenza. In quest'ultima sottozona il numero degli eventi piovosi significativi ai fini delle piene è molto maggiore rispetto agli altri bacini del versante ionico.

La stima del parametro  $\Lambda_1$  regionale è stata effettuata quindi separatamente per le tre sottozone computando la media pesata del parametro  $C_{v1} = \frac{0.557}{(\log \Lambda_1 - 0.251)}$ , che è meno variabile e distorto di  $\Lambda_1$ , e passando poi dal valor medio di  $C_{v1}$  al valore cercato di  $\Lambda_1$ . I valori regionali ottenuti per  $\Lambda_1$  relativamente ad ogni sottozona omogenea sono riportati in Tabella 5.

	<i>Stazione</i>	$C_V$	$\Lambda_1$	$C_{V_1}$	$C_{V_{1med}}$	$\Lambda_{1REG}$
Zona A	<i>Bradano a S.Giuliano</i>	0.79	2.9757	0.7687	<b>0.694</b>	<b>3.561</b>
	<i>Bradano a p.te Colonna</i>	0.76	4.4492	0.6194		
Zona B	<i>Basento a Menzana</i>	0.63	6.4369	0.5256	<b>0.500</b>	<b>7.302</b>
	<i>Basento a Gallipoli</i>	0.63	8.3992	0.4739		
Zona C	<i>Basento a Pignola</i>	0.43	19.8687	0.3595	<b>0.355</b>	<b>20.849</b>
	<i>Agri a Tarangelo</i>	0.38	20.2427	0.3576		
	<i>Sinni a Valsinni</i>	0.55	19.7996	0.3598		
	<i>Sinni a Pizzutello</i>	0.25	23.8833	0.3419		

Tabella 5 - Valori regionali di  $\Lambda_1$  per le sottozone idrometriche considerate.

In definitiva, i valori dei parametri della distribuzione TCEV, per l'intera Basilicata, vengono riportati nella successiva Tabella 6.

## II LIVELLO - ZONE OMOGENEE

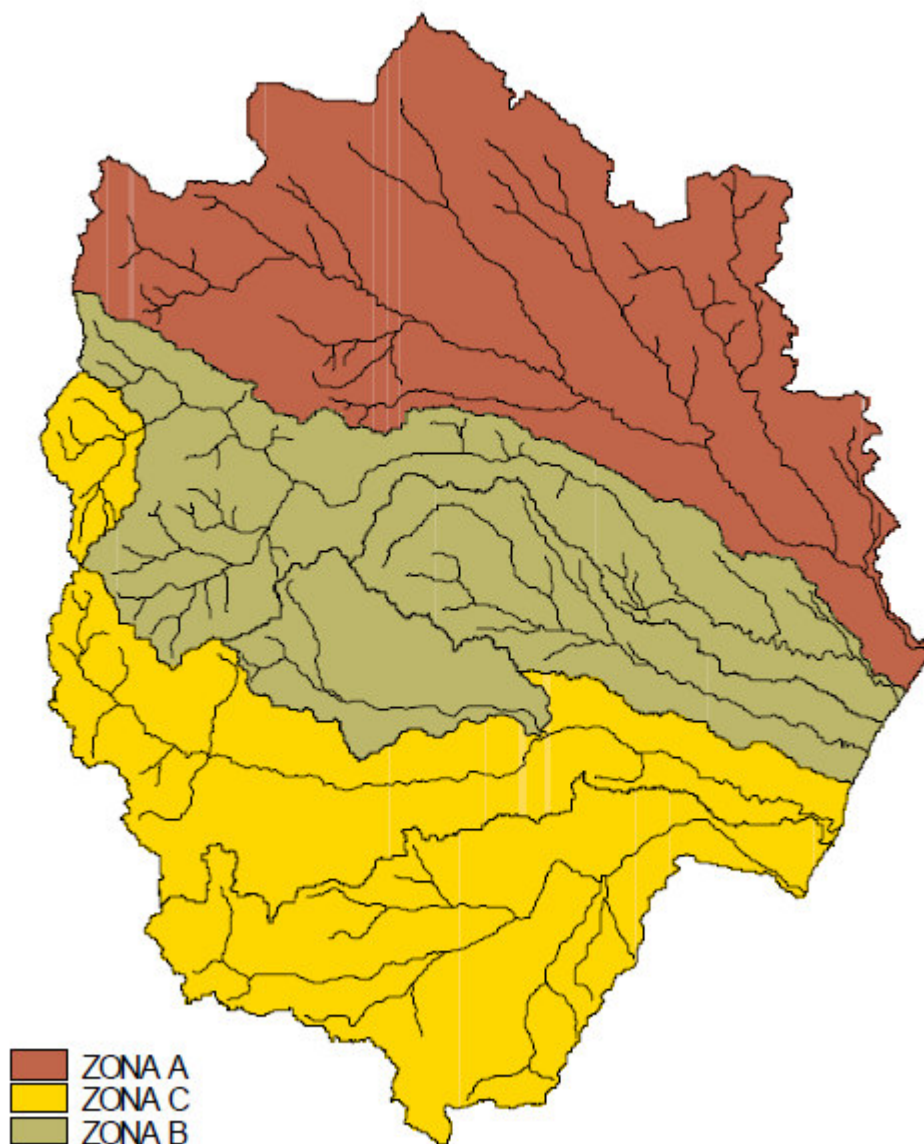


Figura 2 - Sottozone omogenee al II livello di regionalizzazione delle piene.

Sottozona	$\Lambda^*$	$\theta^*$	$\Lambda_1$	$\eta$
A	0.350	2.654	3.56	2.598
B	0.350	2.654	7.30	3.316
C	0.350	2.654	20.8	4.363

Tabella 6 - Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Basilicata

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b> <b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
	<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	Progr. 007	Rev. A

Si riportano, inoltre, in Tabella 7, i valori di  $K_T$  ottenuti numericamente dalla (1) per alcuni valori del periodo di ritorno.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
$K_T$ (SZOA)	0.81	1.44	1.96	2.55	2.76	3.21	3.43	3.12	4.83	5.76	6.47
$K_T$ (SZOB)	0.85	1.34	1.75	2.21	2.38	2.73	2.90	3.45	4.00	4.73	5.29
$K_T$ (SZOC)	0.89	1.26	1.57	1.92	2.05	2.31	2.45	2.86	3.28	3.84	4.26

Tabella 7 - Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$  per le piene in Basilicata, per alcuni valori del periodo di ritorno T.

Adoperando l'espressione asintotica (2) i fattori di crescita possono essere calcolati con:

$$(SZO A) K_T = -0.5836 + 1.022 \ln T \quad (5)$$

$$(SZO B) K_T = -0.2407 + 0.8004 \ln T \quad (6)$$

$$(SZO B) K_T = 0.0575 + 0.6083 \ln T \quad (7)$$

Per valori del periodo di ritorno superiori a 10 anni, l'errore nell'uso delle equazioni (5) in luogo della (1) è sempre inferiore al 10 % in tutte le SZO.

### 4.3 Stima del valor medio

#### 4.3.1 Leggi di probabilità pluviometriche

##### 4.3.1.1 Piogge puntuali

Obiiettivo del terzo livello di regionalizzazione dei massimi annuali delle piogge brevi è la definizione di relazioni utili alla valutazione del valor medio della distribuzione del massimo annuale della grandezza di interesse in un generico sito, o come valore caratteristico di un'area.

Data l'elevata variabilità spaziale di tale parametro di posizione, in presenza di dati la stima migliore risulta dal calcolo diretto.

Nei siti sprovvisti di stazioni di misura o i cui dati siano giudicati inaffidabili, la stima del parametro di posizione è solitamente affidata a relazioni, che vengono istituite per aree omogenee, tra il valor medio della distribuzione del massimo annuale dell'altezza di precipitazione in durata d,  $m[h(d)]$ , e parametri come quota, distanza dal mare,

	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETTIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b>						
	<b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 007	REV. A	Pag. 15 di 44

esposizione, etc.

L'individuazione delle aree omogenee al terzo livello avviene solitamente con riferimento alle medie  $m(hg)$  delle piogge giornaliere, sempre per ragioni legate alla maggiore disponibilità di stazioni e dati/stazione. Tuttavia, per la regione in indagine, precedenti analisi sulla variabilità spaziale di  $m(hg)$  [Dell'Aera, 1991; Gabriele e Iritano, 1994] non hanno consentito di individuare aree nelle quali fossero evidenti legami quali quelli sopra accennati.

In assenza delle indicazioni su eventuali aree omogenee al III livello, l'analisi delle medie delle piogge brevi è consistita nell'identificazione delle isoiete di  $m[h(d)]$ , per le diverse durate, utilizzando un metodo geostatistico, il kriging. Tale metodo, a differenza di altri, consente di interpolare tenendo conto della relazione fra la varianza campionaria e la varianza spaziale dei dati, secondo un approccio di tipo stocastico.

Utilizzando tale tecnica, conoscendo i dati relativi alle 55 stazioni pluviografiche considerate nella regione in esame, sono stati calcolati i valori della stima di  $m[h(d)]$  in corrispondenza dei nodi di una griglia regolare. Tramite questi valori si sono tracciate le isolinee di  $m[h(d)]$ , per le durate  $d = 1, 3, 6, 12$  e  $24$  ore.

Per una pratica utilizzazione dei risultati dell'analisi precedente, la ricostruzione della legge intensità-durata nella regione viene effettuata in base alla relazione:

$$m[h(d)] = a d^n \quad (8)$$

In Tabella 8, sono riportati i coefficienti  $a$  ed  $n$  stimati in ognuna delle 55 stazioni considerate.

Si sono interpolati i valori osservati nelle stazioni di misura attraverso il kriging, ottenendo delle isolinee per i due parametri  $a$  ed  $n$ , rispettivamente in figura 3 e 4. Si noti che le isolinee del parametro  $a$  sono praticamente coincidenti con quelle di  $m(h(1))$ .

Poiché non si sono individuate aree omogenee rispetto alle leggi di probabilità pluviometriche, la loro determinazione su un'area quale può essere, ad es., un bacino idrografico viene determinata a seguito di una operazione di media sui parametri  $a$  ed  $n$  della legge di pioggia (8). Per fornire dati utili per valutazioni idrologiche speditive, questa operazione è stata eseguita non solo per tutti i bacini monitorati in passato dal SIMN in Basilicata, incluse le aree comprese tra sezioni successive lungo il corso d'acqua, ma anche per celle di 10 Km di lato che ricoprono l'intero territorio lucano, come mostrato in

	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b>						
	<b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 007	REV. A	Pag. 16 di 44

figura 5.

Per i bacini sottesi dalle sezioni monitorate dal SIMN e le aree comprese tra successivi sottobacini vengono forniti in Tabella 9 i valori dei parametri **a** ed **n** relativi alle *curve di probabilità pluviometriche medie areali*. Sono invece riportati in Tabella 10, Tabella 11, Tabella 12 e Tabella 13 i valori medi di  $\log(a)$  e di **n** relativi alle celle rappresentate in figura 5 ed identificate da una numerazione che procede da Ovest verso Est e da Sud verso Nord.

Usando i valori medi di  $\log(a)$  e di **n** relativi alle celle, si può ottenere l'espressione della legge di pioggia riferita ad un'area attraverso media pesata dei suddetti valori tra le celle che ricoprono l'area stessa.

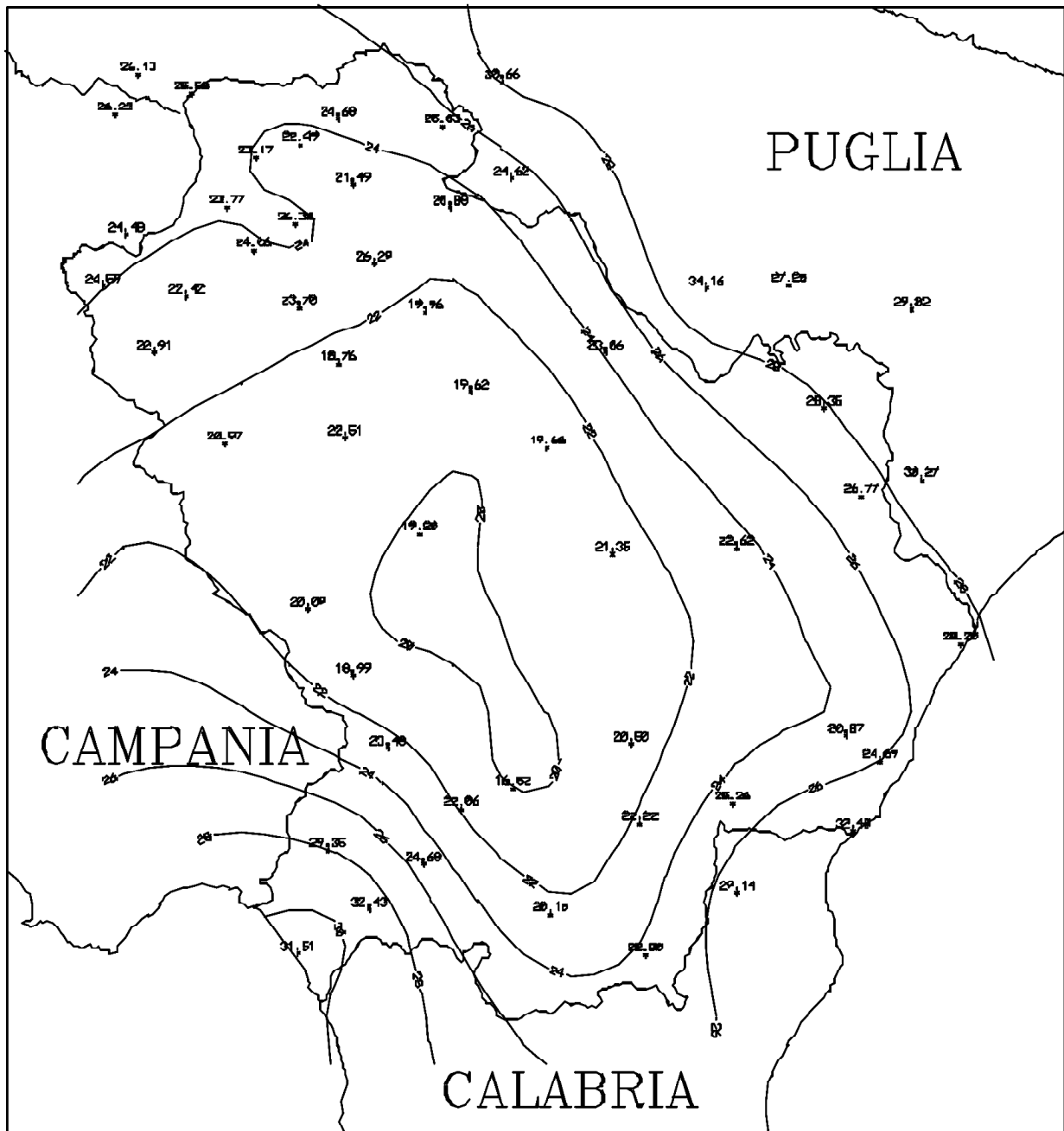


Figura 3 - Iso linee del coefficiente *a* della curva di probabilità pluviometrica.



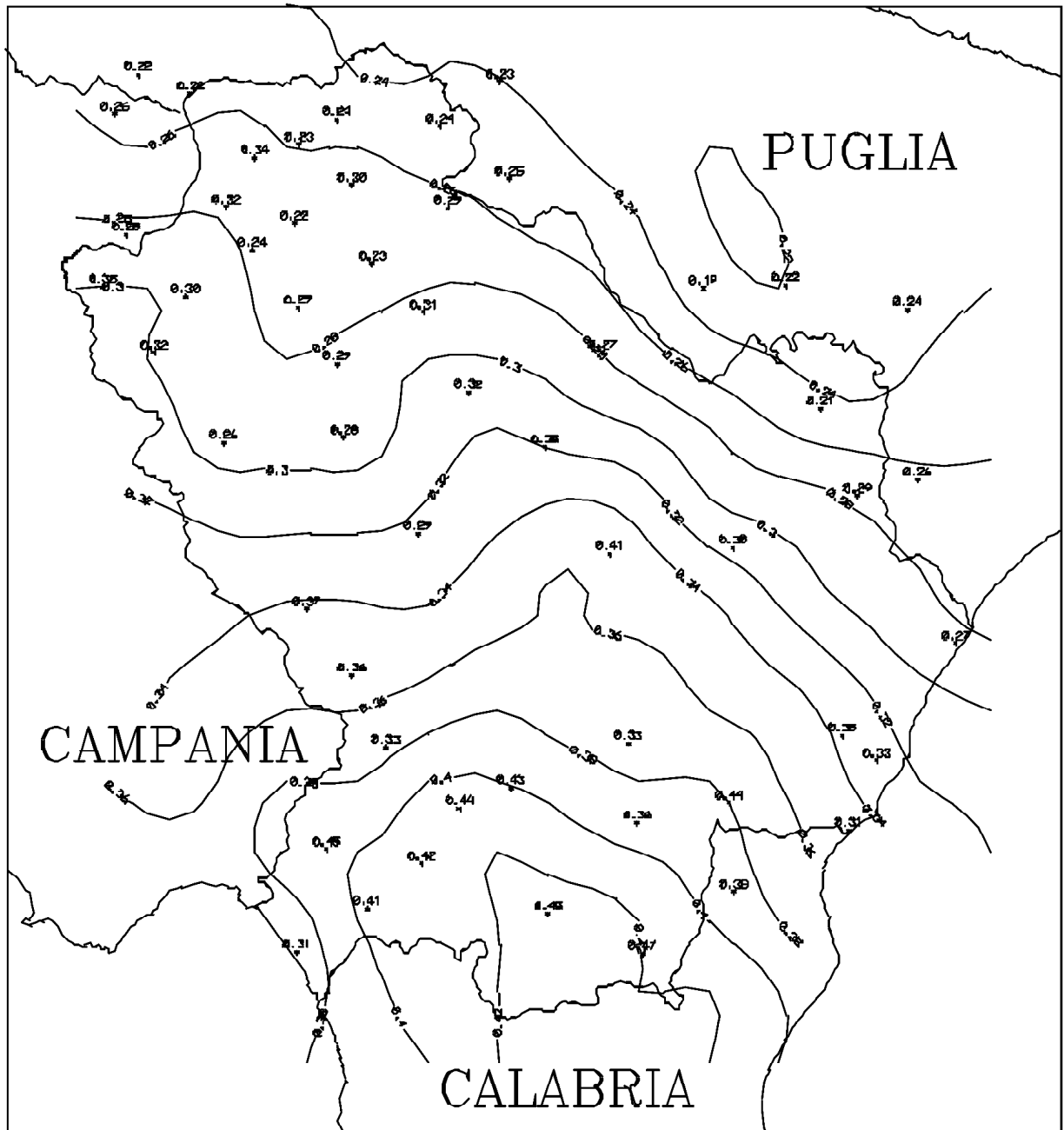


Figura 4 - Iso linee dell'esponente  $n$  della curva di probabilità pluviometrica.

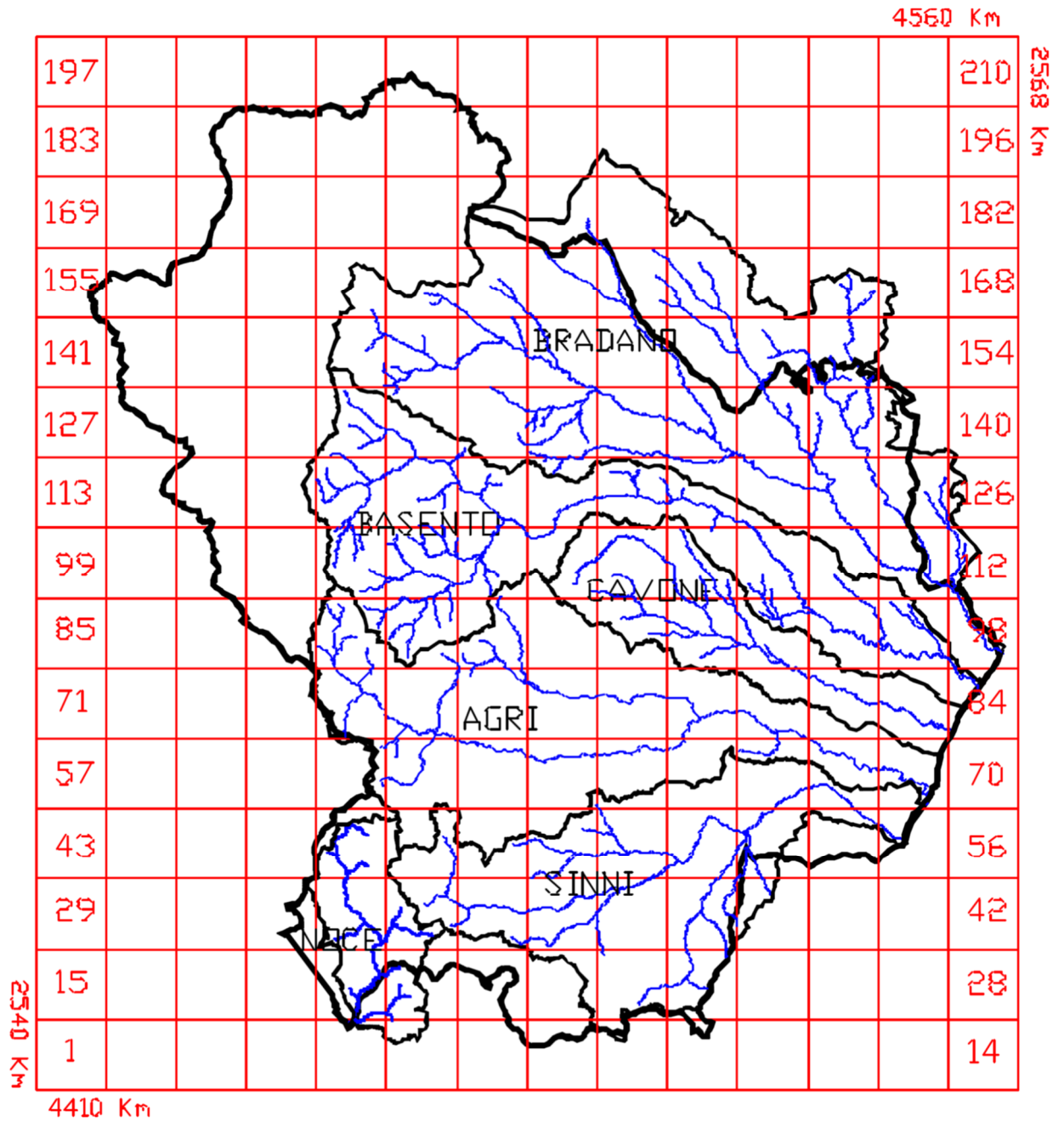


Figura 5 - Suddivisione della regione in esame in celle di lato 10 Km

Stazione	a	n	Stazione	a	n
Acerenza	19.96	0.31	Monticchio Bagni	23.77	0.32
Altamura	27.25	0.22	Muro Lucano	22.91	0.32
Anzi	19.20	0.29	Nova Siri Scalo	32.40	0.31
Atella	24.06	0.24	Oriolo	29.14	0.38
Calitri	24.48	0.25	Palazzo San Gervasio	20.88	0.29
Castel Lagopesole	23.70	0.29	Pescopagano	24.59	0.35
Castelsaraceno	22.06	0.44	Picerno	20.97	0.26
Cogliandrino	24.68	0.42	Policoro	24.69	0.33
Diga Rendina	22.49	0.23	Potenza	22.51	0.28
Ferrandina	22.62	0.30	Recoleta	20.87	0.35
Forenza	26.29	0.23	Ripacandida	26.30	0.22
Ginosa	30.27	0.26	Rocchetta S. Antonio	26.13	0.22
Gravina in Puglia	34.16	0.19	Rocchetta S. A. scalo	25.58	0.22
Irsina	23.06	0.27	S. Arcangelo	20.50	0.33
Isca di Tramutola	18.99	0.36	S. Chirico Raparo	16.52	0.43
Lacedonia	26.23	0.26	S. Fele	22.42	0.30
Lagonegro	29.35	0.45	S. Mauro Forte	21.35	0.41
Lauria inferiore	32.43	0.41	S. Nicola di Avigliano	18.76	0.29
Lavello	24.68	0.24	S. Severino Lucano	20.15	0.45
Maratea	31.51	0.31	Santeramo in Colle	29.02	0.24
Marsico Nuovo	20.09	0.37	Senise	22.22	0.36
Matera	28.35	0.21	Spinazzola	24.62	0.25
Melfi	23.17	0.34	Terranova del Pollino	22.80	0.47
Metaponto	28.20	0.27	Tolve	19.62	0.32
Minervino	30.66	0.23	Tricarico	19.66	0.35
Moliterno	23.48	0.33	Valsinni	25.26	0.44
Montemilone	25.03	0.24	Venosa	21.49	0.30
Montescaglioso	26.77	0.29			

*Tabella 8 - Stime puntuali dei parametri della curva di probabilità pluviometrica*

Bacino	Sezione	Area [Km <sup>2</sup> ]	a	N
Bradano	<b>P.te Colonna</b>	461.59	22.20	0.283
	<b>Basentello a Framarina</b>	377.36	25.41	0.256
	S.Giuliano escluso P.te Colonna e Framarina	818.46	23.45	0.287
	<b>S. Giuliano</b>	1657.41	23.52	0.279
	<b>Saglioccia ad Acquafredda</b>	15.29	27.99	0.232
	Tavole Palatine escluso Saglioccia ad Acquafredda e S. Giuliano	1150.85	26.22	0.250
	<b>Tav. Palatine</b>	2823.55	25.26	0.252
	Basento	<b>Pignola</b>	42.4	21
P.te S. Vito escluso Pignola		107	20.99	0.298
<b>P.te S. Vito</b>		149.4	20.95	0.302
Gallipoli escluso P.te S.Vito		703.9	20.30	0.318
<b>Gallipoli</b>		853.3	20.41	0.315
Menzena escluso Gallipoli		549.52	23.26	0.314
<b>Menzena</b>		1402.82	21.48	0.315
Agri	<b>Le Tempe</b>	173.3	21.22	0.347
	Grumento escluso Le Tempe	81.59	21.04	0.355
	<b>Grumento</b>	254.89	21.16	0.349
	Tarangelo escluso Grumento	254.09	21.98	0.374
	<b>Tarangelo</b>	508.98	21.56	0.362
Sinni	<b>Pizzutello</b>	232.45	21.56	0.362
	Valsinni escluso Pizzutello	907.75	22.85	0.404
	<b>Valsinni</b>	1140.20	23.13	0.405
Noce	<b>La Calda</b>	40.43	26.15	0.388
	Le Fornaci escluso La Calda	142.82	28.51	0.393
	<b>Le Fornaci</b>	183.25	27.97	0.392

*Tabella 9 - Medie areali dei parametri della curva di probabilità pluviometrica*

Numero cella	X (Km)	Y (Km)	log(a)	n
5	2585	4415	1.477	0.381
6	2595	4415	1.457	0.398
7	2605	4415	1.431	0.412
8	2615	4415	1.407	0.420
9	2625	4415	1.406	0.420
10	2635	4415	1.414	0.420
18	2575	4425	1.455	0.372
19	2585	4425	1.477	0.380
20	2595	4425	1.455	0.403
21	2605	4425	1.414	0.414
22	2615	4425	1.379	0.420
23	2625	4425	1.376	0.420
24	2635	4425	1.399	0.415
32	2575	4435	1.467	0.375
33	2585	4435	1.465	0.390
34	2595	4435	1.437	0.404
35	2605	4435	1.382	0.416
36	2615	4435	1.345	0.420
37	2625	4435	1.350	0.417
38	2635	4435	1.390	0.403
39	2645	4435	1.415	0.384
47	2585	4445	1.427	0.386
48	2595	4445	1.395	0.399
49	2605	4445	1.342	0.409
50	2615	4445	1.315	0.406
51	2625	4445	1.332	0.394
52	2635	4445	1.370	0.389

Tabella 10 - Valori medi per celle dei parametri della curva di probabilità pluviometrica

Numero cella	X (Km)	Y (Km)	log(a)	n
53	2645	4445	1.408	0.377
54	2655	4445	1.415	0.355
55	2665	4445	1.423	0.340
61	2585	4455	1.378	0.370
62	2595	4455	1.351	0.377
63	2605	4455	1.317	0.389
64	2615	4455	1.301	0.385
65	2625	4455	1.321	0.377
66	2635	4455	1.349	0.372
67	2645	4455	1.377	0.364
68	2655	4455	1.395	0.346
69	2665	4455	1.414	0.325
74	2575	4465	1.363	0.350
75	2585	4465	1.336	0.354
76	2595	4465	1.317	0.356
77	2605	4465	1.301	0.366
78	2615	4465	1.304	0.370
79	2625	4465	1.321	0.367
80	2635	4465	1.339	0.361
81	2645	4465	1.363	0.347
82	2655	4465	1.380	0.331
83	2665	4465	1.407	0.310
84	2675	4465	1.434	0.295
87	2565	4475	1.356	0.333
88	2575	4475	1.339	0.338
89	2585	4475	1.318	0.341
90	2595	4475	1.301	0.339

Tabella 11 - Valori medi per celle dei parametri della curva di probabilità pluviometrica

Numero cella	X (Km)	Y (Km)	log(a)	n
91	2605	4475	1.301	0.347
92	2615	4475	1.311	0.360
93	2625	4475	1.326	0.359
94	2635	4475	1.341	0.347
95	2645	4475	1.365	0.331
96	2655	4475	1.391	0.309
97	2665	4475	1.419	0.293
98	2675	4475	1.443	0.279
101	2565	4485	1.342	0.323
102	2575	4485	1.333	0.319
103	2585	4485	1.316	0.320
104	2595	4485	1.301	0.322
105	2605	4485	1.301	0.333
106	2615	4485	1.316	0.346
107	2625	4485	1.334	0.347
108	2635	4485	1.355	0.327
109	2645	4485	1.380	0.307
110	2655	4485	1.407	0.294
111	2665	4485	1.435	0.280
112	2675	4485	1.435	0.280
116	2575	4495	1.336	0.299
117	2585	4495	1.320	0.299
118	2595	4495	1.311	0.304
119	2605	4495	1.304	0.322
120	2615	4495	1.321	0.327
121	2625	4495	1.342	0.322
122	2635	4495	1.377	0.303

*Tabella 12 - Valori medi per celle dei parametri della curva di probabilità pluviometrica*

Numero cella	X (Km)	Y (Km)	log(a)	n
123	2645	4495	1.405	0.281
124	2655	4495	1.428	0.270
125	2665	4495	1.447	0.260
126	2675	4495	1.455	0.260
131	2585	4505	1.331	0.287
132	2595	4505	1.324	0.298
133	2605	4505	1.322	0.310
134	2615	4505	1.334	0.306
135	2625	4505	1.366	0.292
136	2635	4505	1.405	0.275
137	2645	4505	1.431	0.257
138	2655	4505	1.447	0.240
139	2665	4505	1.455	0.240
145	2585	4515	1.348	0.280
146	2595	4515	1.339	0.285
147	2605	4515	1.341	0.291
148	2615	4515	1.357	0.286
149	2625	4515	1.397	0.270
150	2635	4515	1.442	0.248
151	2645	4515	1.447	0.233
152	2655	4515	1.455	0.230
153	2665	4515	1.455	0.235
159	2585	4525	1.374	0.273
160	2595	4525	1.356	0.272
161	2605	4525	1.356	0.272
162	2615	4525	1.384	0.264
163	2625	4525	1.423	0.254
164	2635	4525	1.447	0.235
165	2645	4525	1.455	0.220
166	2655	4525	1.455	0.220
167	2665	4525	1.455	0.220
175	2605	4535	1.382	0.258
176	2615	4535	1.412	0.250
177	2625	4535	1.441	0.240
178	2635	4535	1.452	0.230
190	2615	4545	1.441	0.241
191	2625	4545	1.447	0.235

Tabella 13 - Valori medi per celle dei parametri della curva di probabilità pluviometrica



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b>						
	<b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 007	REV. A	Pag. 26 di 44

### 4.3.2 *Piena media annua*

#### 4.3.2.1 Portata al colmo di piena istantanea: modelli empirici

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

Una prima ipotesi di accorpamento di tutti i bacini considerati in un unico meccanismo globale di dipendenza della piena media dall'area ha evidenziato che i bacini appartenenti al Sinni mostravano una consistente deviazione dalla relazione regressiva. Effettivamente, accorpando separatamente i valori di piena media per i bacini influenzati dal sistema montuoso Pollino-Sirino, si è riscontrato che per tutti risulta una posizione della piena media relativamente elevata, a parità di area, rispetto a quanto accade per gli altri bacini ionici.

Si sono pertanto individuate due aree omogenee:

- Area Omogenea 1, include i bacini del Bradano, Basento, Cavone e Agri;
- Area Omogenea 2, include i bacini del Sinni, Lao e Noce.

Le regressioni effettuate tra piena media e area hanno fornito le relazioni:

$$\text{Area Omogenea 1: } m(Q) = 2.13 A^{0.766} \quad (9)$$

$$\text{Area Omogenea 2: } m(Q) = 5.98 A^{0.645} \quad (10)$$

Il coefficiente di determinazione ottenuto è tale da far ritenere la stima di  $m(Q)$  sufficientemente affidabile anche per valutazioni di una certa importanza, purché riferite a bacini direttamente considerati nell'analisi. Per analogia morfologica e climatica tali risultati si possono considerare validi anche per bacini privi di stazioni di misura, ma ciò non esime da una più approfondita analisi dei fattori effettivamente dominanti, quale quella che generalmente accompagna l'uso della formula razionale.

#### *Riferimenti bibliografici*

Dell'Aera, M., Analisi della variabilità spaziale degli L-moments. Un'applicazione alla Calabria, *Rapp. Int. n. 335*, IRPI-CNR, Cosenza, 1991.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b>						
	<b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 007	REV. A	Pag. 27 di 44

Gabriele, S. e G. Iiritano, Alcuni aspetti teorici ed applicativi nella regionalizzazione delle piogge con il modello TCEV, in F. Rossi (a cura di), *Previsione e Prevenzione degli Eventi Idrologici Estremi e Loro Controllo, Rapporto 1992/93*, L1, GNDCI-CNR, Roma, 1994.

#### 4.4 Scrosci

Lo studio idrologico è stato integrato per la definizione delle curve di possibilità pluviometrica per tempi di pioggia inferiori all'ora, ai fini del dimensionamento del drenaggio di piattaforma della NV18.

Bell ("Generalized Rainfall Duration Frequency Relationship" – Journal of the Hydraulics Division – Proceedings of American Society of Civil Engineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969) ha osservato che i rapporti  $r_T$  tra le altezze di durata  $t$  molto breve ed inferiori alle due ore e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano.

Lo U.S. Water Bureau raccomanda per tempi di pioggia inferiore a mezz'ora l'adozione di una relazione empirica, derivata interamente da dati di breve durata; tale relazione mostra che il tempo in minuti in pioggia ha un rapporto costante con la pioggia della durata di 1 ora per lo stesso tempo di ritorno così come segue:

t (minuti)	5	10	15	30
$r_{\delta} = h_{\delta} / h_{60}$	0.29	0.45	0.57	0.79

Tabella 14– Rapporto pioggia con pioggia oraria.

Questi rapporti variano di molto poco negli Stati Uniti ed i loro valori sono indipendenti dal periodo di ritorno.

Bell, come sopra accennato, sulla scorta di osservazioni provenienti da oltre 150 stazioni con oltre 40 anni di osservazione, ha dimostrato che tale correlazione si può estendere fino a valori di durata sino alle due ore, come risulta dalla figura, ha riscontrato la costanza dei rapporti  $r_T$  tempi di pioggia breve e tempo di pioggia della durata pari ad un'ora, anche in Australia, Africa, Hawaii, Alaska e Porto Rico.

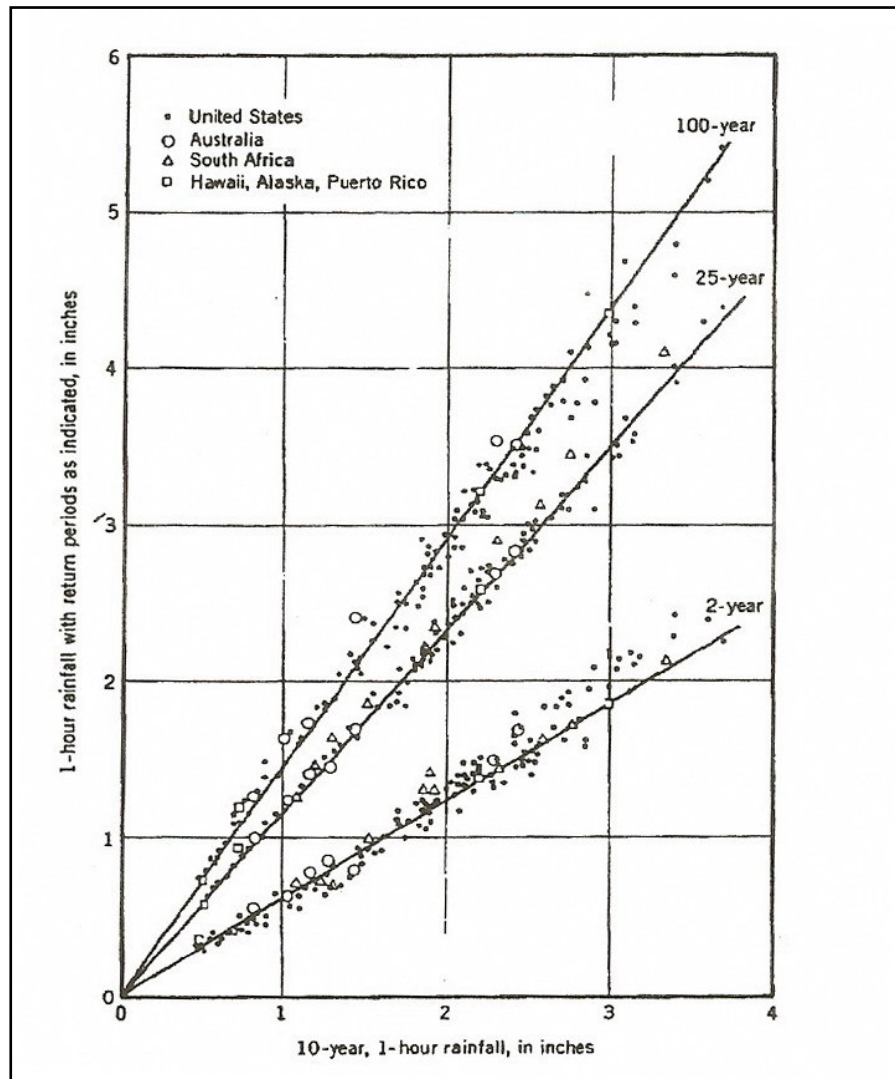


Figura 6 – Relazione altezza – frequenza per  $T=2, 25, 100$  anni

In relazione alla modesta variazione dei rapporti di intensità durata correlata al tempo di ritorno, ha proposto la seguente relazione che ben si adatta ai dati osservati:

$$\frac{P_T^t}{h_T^{60}} = (0.54t^{0.25} - 0.50)$$

applicabile per  $5 \leq t \leq 120$  dove:

$P_T^t$  indica l'altezza di pioggia relativa ad un evento pari al tempo  $t$  riferita al periodo di ritorno  $T$ ;

$h_T^{60}$  è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora riferita al periodo di ritorno  $T$ ;

$t$  è il tempo di pioggia espresso in minuti.

Nota l'altezza di pioggia  $h_t$  relativa all'evento di durata  $t$ , passando ai logaritmi, le coppie altezza di pioggia-durata vengono regolarizzate con l'equazione di una retta dove il termine noto indica il parametro  $a$  e il coefficiente angolare rappresenta il parametro  $n'$ .

Applicando la procedura si è ottenuto il coefficiente  $n' = 0.47$

#### 4.5 Portate di progetto della sistemazione idraulica alla pk 104+864 della linea ferroviaria Foggia-Potenza

Secondo lo studio di regionalizzazione delle piene, l'intervento ricade nella sottozona B. A partire dalla (9), moltiplicando per i relativi coefficienti di crescita indicati in Tabella 7, si ottengono i valori della portata per diversi tempi di ritorno per il bacino considerato.

Tratta Rocchetta Scalo - Potenza										
Opera	Progr.	Area [km <sup>2</sup> ]	E(Q) [m <sup>3</sup> /s]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=10	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=20	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=30	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=50	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=100	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300
Tombino	104+864	0.14	0.47	0.74	1.00	1.15	1.34	1.59	1.85	2.00

Tabella 15 – Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 20, 30, 50, 100, 200 e 300 anni relative agli attraversamenti della tratta Rocchetta Scalo - Potenza.

#### 4.6 Curva di possibilità pluviometrica per il dimensionamento del drenaggio di piattaforma della NV18

Secondo lo studio di regionalizzazione delle piogge, l'intervento ricade nella zona A. Relativamente ai parametri della curva di probabilità pluviometrica, la stazione di misura più vicina risulta San Nicola di Avigliano, per la quale si hanno i seguenti parametri  $a$  e  $n$ :

$$a=18.76 \text{ mm/h}$$

$$n=0.29 \text{ per } t > 1 \text{ h}$$

Considerato che il coefficiente di crescita per un tempo di ritorno pari a 25 anni vale 1.83, le leggi di pioggia utilizzate per il dimensionamento del drenaggio di piattaforma sono le seguenti:

$$\text{NV18: } h = 1.83 \cdot 18.76 \cdot t^{0.47} \text{ per } t < 1 \text{ h.}$$

$$\text{NV18: } h = 1.83 \cdot 18.76 \cdot t^{0.29} \text{ per } t > 1 \text{ h.}$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b>						
	<b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 007	REV. A	Pag. 30 di 44

## 5 METODOLOGIA DI VERIFICA

### 5.1 Metodo dell'invaso

La portata pluviale della rete è calcolata con un metodo empirico dell'invaso che tiene conto della diminuzione di portata per il velo (sottilissimo) che rimane sul terreno e per il volume immagazzinato in rete. Tale metodo è conforme alle indicazioni riportate sul "Manuale di Progettazione Ferroviario".

L'acqua di pioggia proveniente dall'atmosfera avrà una portata che indicheremo con " $p$ ", mentre con " $I$ " indicheremo l'intensità di pioggia, cioè l'altezza d'acqua che cade nell'unità di tempo.

Dell'acqua piovana una parte viene assorbita dal terreno, una porzione evapora ed il resto defluisce; la porzione che evapora è molto piccola e quindi trascurabile.

Indicando con " $\psi$ " l'aliquota che defluisce sul terreno bisogna tenere conto che tale valore dipenderà dalla natura del terreno, dalla durata dell'evento di pioggia, dal grado di umidità dell'atmosfera e dalla stagione;  $\varphi$  prende il nome di coefficiente di afflusso e moltiplicato per l'area del bacino ( $A$ ) e per l'intensità di pioggia ( $I$ ) ci fornirà una stima della portata che affluisce nel bacino nell'unità di tempo.

$$p = \varphi * I * A$$

Nel tempo  $dt$  il volume d'acqua affluito sarà  $p*dt$ , mentre nell'istante  $t$  nella rete di drenaggio defluirà, una portata  $q$ , inizialmente nulla e man mano crescente.

Se il volume che affluisce nel tempo  $dt$  è pari a  $p*dt$  e quello che defluisce è  $q*dt$ , la differenza, che indicheremo con  $dw$ , rappresenterà il volume d'acqua che si invasa nel tempo.

Pertanto, l'equazione di continuità in forma differenziale sarà:

$$p * dt = q * dt + dw$$

Il metodo dell'invaso utilizzato per lo studio idraulico e la verifica del sistema di drenaggio si basa proprio sull'equazione di continuità.

Considerando che la portata  $q$  può essere considerata costante, le variabili da determinare sono  $q(t)$ ,  $w(t)$ , e  $t$ , per cui l'equazione non sarebbe integrabile se non fissando  $q$  o  $w$ .

Tuttavia, valutando che il valore massimo di portata verrà raggiunto alla fine dell'evento di pioggia di durata  $t$ , il problema di progetto si riduce ad individuare la durata di pioggia che massimizzi la portata, tenuto conto che al diminuire di questa aumenta l'intensità di

pioggia l.

Tale problema è stato risolto, nell'ipotesi di intensità di pioggia ( $l$ ) costante e di rete di drenaggio inizialmente vuota ( $q = 0$  per  $t = 0$ ), considerando:

- una relazione lineare tra il volume  $w$  immagazzinato nella rete a monte e l'area della sezione idrica  $\omega$ :

$$w/\omega = W/\Omega = cost$$

Questa condizione, nel caso di un singolo tratto, corrisponde all'ipotesi di moto uniforme, mentre nel caso di reti, si basa su due ulteriori ipotesi: che i vari elementi si riempiano contemporaneamente senza che mai il deflusso affluente sia ostacolato (*funzionamento autonomo*) e che il grado di riempimento di ogni elemento sia coincidente con quello degli altri (*funzionamento sincrono*);

- una relazione lineare tra la portata defluente e l'area della sezione a monte:

$$q/\omega = Q/\Omega = cost$$

Tale relazione corrisponde all'ipotesi di velocità costante in condotta, ipotesi abbastanza prossima alla realtà nella fascia dei tiranti idrici che in genere si considerano.

Con queste ipotesi semplificative si ottiene:

$$\frac{dw}{W} = \frac{dq}{Q}$$

$$dw = \frac{dq}{Q} * W$$

L'equazione di continuità diviene quindi:

$$(p - q)dt = \frac{W}{Q} * dq$$

Ovvero:

$$p - q = \frac{dW}{dt}$$

L'integrazione dell'equazione di continuità consente di ottenere una relazione tra la portata e il tempo di riempimento di un canale, ovvero consente la stima dell'intervallo temporale tra un valore nullo di portata ed un valore massimo. Definendo  $\tau$  il tempo necessario per passare da  $q=0$  a  $q=q_{max}$ , e  $t_r$  il tempo di riempimento, un canale risulterà adeguato se  $\tau \leq t_r$ , viceversa se  $\tau > t_r$  il canale sarà insufficiente.

Il corretto dimensionamento del canale di drenaggio delle acque piovane si ottiene ponendo  $\tau = t_r$ , ovvero nel caso in cui la durata dell'evento piovoso eguagli il tempo di riempimento del canale. In quest'ottica nasce il metodo dell'invaso non come metodo di

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETTIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b>						
	<b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità - Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	Progr. 007	Rev. A	Pag. 32 di 44

verifica, ma come strumento progettazione, imponendo la relazione  $\tau = \tau_r$  si ottiene l'espressione analitica del coefficiente udometrico:

$$u = k * \frac{(\varphi * a)^{1/n}}{w^{\frac{1}{n}-1}}$$

Il coefficiente udometrico rappresenta la portata per unità di superficie del bacino, ed è espresso in l/s\*ha,  $\varphi$  è il coefficiente di afflusso,  $w$  è il volume di acqua invasata riferito all'area del bacino in m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>,  $a$  ed  $n$  sono i coefficienti della curva di possibilità climatica,  $k$  un coefficiente che assume il valore di  $2168 * n$  [Sistemi di Fognatura, Manuale di Progettazione, CSU Editore, Hoepli; Appunti di Costruzioni idrauliche, Girolamo Ippolito, Liguori Editore]

L'espressione del coefficiente udometrico utilizzata nel nostro studio è:

$$u = 2168 * n * \frac{(\psi * a)^{1/n}}{w^{1/n-1}}$$

I coefficienti di afflusso adottati sono:

- $\varphi=0.90$  per la piattaforma stradale [Manuale di Progettazione Italferr];
- $\varphi=0.50$  per stradello di servizio e scarpate del rilevato.
- $\varphi=0.30$  per il bacino esterno

Per il bacino esterno, vista la natura dei luoghi, terreni prevalentemente agricoli, il coefficiente di deflusso utilizzato risulta essere cautelativo.

Il volume  $w$  rappresenta il volume specifico di invaso totale pari al rapporto tra il volume di invaso totale  $W_{tot}$  e la superficie drenata.

$W_{tot}$  è dato dalla somma del volume proprio di invaso,  $W1$ ; del volume di invaso dei tratti confluenti depurato del termine dei piccoli invasi,  $W2$ ; del volume dei piccoli invasi considerando l'intera superficie del bacino drenata,  $W3$ .

In particolare, il volume dei piccoli invasi è stato calcolato considerando un apporto unitario di 30 m<sup>3</sup>/ha per le superfici stradali [Manuale di Progettazione Italferr] e 50 per il bacino esterno e scarpate [Manuale di Progettazione Italferr].

La verifica idraulica degli spechi in progetto è stata effettuata valutando le altezze idriche e le velocità relative alle portate di progetto tramite l'espressione di Chezy:

$$V = K \sqrt{Ri}$$

e l'equazione di continuità

$$Q = \sigma V$$

dove  $K$ , il coefficiente di scabrezza, è stato valutato secondo la formula di Gaukler-

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b>						
	<b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 007	REV. A	Pag. 33 di 44

Strickler:

$$K_s = C R^{1/6}$$

ottenendo:

$$Q = K_s \times R^{2/3} \times i^{1/2} \times \sigma$$

dove:

Q, la portata in m<sup>3</sup>/s

R, il raggio idraulico in metri;

$\sigma$ , la sezione idraulica [m<sup>2</sup>];

i, la pendenza [m/m];

K<sub>s</sub>, il coefficiente di scabrezza pari a 66.67 m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup> per le opere in calcestruzzo.

## 5.2 Dimensionamento Recapiti a Dispersione

I bacini ed i fossi in terra a dispersione sono stati dimensionati fissando per essi una capacità di invaso superiore al volume di pioggia di progetto. Nelle fasi successive essi agevolano il recapito per infiltrazione nel terreno sottostante.

Nel dimensionamento del sistema di drenaggio le ipotesi di base sono:

- Coefficiente di deflusso piattaforma stradale = 0.90;
- Coefficiente di deflusso terreno = 0.30;
- Invaso superficiale equivalente a 50 m<sup>3</sup>/ha pari a 5 mm distribuito uniformemente su opere e terreno;
- Tempi di pioggia da 10 a 180 minuti di intensità costante durante l'evento.

La scelta del coefficiente di deflusso del terreno nasce dalla constatazione che i terreni risultano prevalentemente di natura agricola con una antropizzazione pressoché nulla e pertanto favoriscono l'infiltrazione dei deflussi su di essi ricadenti.

Il dimensionamento prevede il calcolo del volume di pioggia caduto durante l'evento tenendo conto delle superfici efficaci affluenti; il calcolo del volume di invaso superficiale e la stima del volume di pioggia da portare a recapito.

Noto il volume sono state dimensionate le opere necessarie al suo totale accumulo lasciando alle capacità di infiltrazione un ulteriore margine di sicurezza oltre che il recapito finale.

Per quanto riguarda il valore della permeabilità, sulla tratta Rocchetta Sant'Antonio – Potenza non sono stati eseguiti sondaggi da cui stimare tale parametro. In analogia ai



	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b>						
	<b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 007	REV. A	Pag. 34 di 44

terreni presenti sulla tratta Cervaro-Rocchetta Sant'Antonio si è assunto un valore pari a  $4.5 \cdot 10^{-6}$  m/sec.

La portata smaltibile per infiltrazione è stata calcolata con la equazione di Darcy:

$$Q_f = K \cdot J \cdot A_f$$

dove

$Q_f$  è la portata di infiltrazione (m<sup>3</sup>/s);

$k$  è la permeabilità stimata (m/s);

$J$  è la cadente piezometrica;

$A_f$  è la superficie netta di infiltrazione (m<sup>2</sup>)

Considerando:

- la cadente piezometrica  $J$  pari a 1 (si può considerare pari a 1 quando il tirante idrico della superficie filtrante è trascurabile rispetto all'altezza dello strato filtrante e la superficie piezometrica della falda è convenientemente al di sotto del fondo disperdente);
- $A_f$  la superficie drenante effettiva del fosso non rivestito.

## 6 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI E VERIFICHE IDRAULICHE

### 6.1 Sistemazione idraulica

La sistemazione idraulica è realizzata in continuità ad un attraversamento idraulico della linea storica alla pk 104+864 della tratta Rocchetta Sant'Antonio - Potenza.

La sistemazione consiste in un canale rettangolare in c.a., di base pari a 1.5 m e altezza variabile, di raccordo al tombino ferroviario; un tombino circolare in c.a. di diametro 1500 m e lunghezza 10 m, necessario a risolvere l'interferenza tra l'incisione e la nuova viabilità in progetto NV18. L'opera di sbocco è costituita da un breve canale in c.a. (L=4.20 m) di base pari a 1.5 m e altezza variabile, con taglione finale di ammorsamento. Il tratto successivo prevede una regolarizzazione della sezione trapezia dell'incisione esistente ed un rivestimento in materassi tipo Reno (sp. 30 cm) per un'estensione di circa 11.0 m, con ammorsamento in gabbioni iniziale e finale.

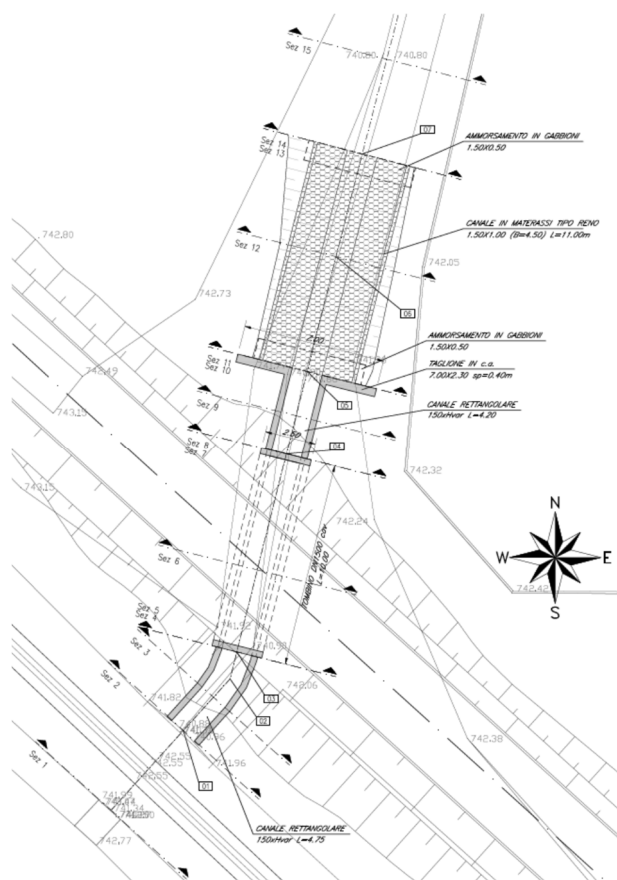


Figura 7 – Sistemazione idraulica alla pk 104+864 della L.S. (pk 0+145 della NV18)

Le verifiche idrauliche, riportate di seguito, sono state effettuate in condizioni di moto uniforme (per la trattazione teorica si rimanda alla relazione IA4M00E78RIID0002001A).

Progressiva L.S.	Pendenza (%)	Tr (anni)	Q M <sup>3</sup> /s	Dimensioni	Tirante idrico [m]	Grado di riempimento [%]	Franco m	Velocità [m/s]
104+864 (pk 0+145 della NV18)	0.2%	200	1.85	1.5mx1.0m (hmin)	0.76	76	0.24	1.63

Tabella 16 – Verifica canale rettangolare in c.a.

Progressiva L.S.	Pendenza (%)	Tr (anni)	Q M <sup>3</sup> /s	Dimensioni Tombino	Tirante idrico [m]	Grado di riempimento [%]	Franco m	Velocità [m/s]
104+864 (pk 0+145 della NV18)	0.2%	200	1.85	Ø1500	0.86	60	0.64	1.76

Tabella 17 – NV18 Verifica attraversamento stradale

Progressiva L.S.	Pendenza (%)	Tr (anni)	Q M <sup>3</sup> /s	Dimensioni Tombino	Tirante idrico [m]	Grado di riempimento [%]	Franco m	Velocità [m/s]
104+864 (pk 0+145 della NV18)	0.2%	200	1.85	sezione trapezia 1,00x1,00m (B=3,00 m)	0.81	81	0.19	1.0

Tabella 18 – Verifica tratto di raccordo rivestito in materassi.

In accordo alla tabella seguente, le velocità che si verificano nel tratto di raccordo sono compatibili con il rivestimento di materassi e gabbioni metallici previsto.

Type	Thickness (m)	Filling stones		Critical velocity (*)	Limit velocity (*)
		stone size	d <sub>50</sub>		
Reno mattress	0,15-0,17	70-100	0.085	3.5	4.2
		70-150	0.110	4.2	4.5
	0,23-0,25	70-100	0.085	3.6	5.5
		70-150	0.120	4.5	6.1
	0,30	70-120	0.100	4.2	5.5
		100-150	0.125	5.0	6.4
Gabions	0,50	100-200	0.150	5.8	7.6
		120-250	0.190	6.4	8.0

Tabella 19 – Velocità critiche e limite per i rivestimenti in materassi e gabbioni metallici

	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETTIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b>						
	<b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 007	REV. A	Pag. 37 di 44

## 6.2 Viabilità NV18

L'intervento in progetto, della lunghezza di circa 550 metri, si sviluppa prevalentemente in rilevato.

È previsto un tratto molto breve di circa 25 metri ad inizio progetto in leggera trincea; le acque meteoriche che ricadono in tale tratto per ruscellamento troveranno recapito nel sistema di drenaggio esistente.

Il sistema di drenaggio per il tratto in rilevato è realizzato con embrici prefabbricati ad interasse massimo 10 m che trovano recapito tra progr. 0+025 a progr. 0+195 in una canaletta rettangolare in cls posta al piede del rilevato; da progr. 0+195 a progr. 0+265 è presente una condotta in PVC pesante con DN315 che recapita nella canaletta rettangolare; infine da progr. 0 + 265 a fine progetto embrici prefabbricati ad interasse massimo 10 m che trovano recapito in un canale in terra con tratti a pendenza ridotta che consentono l'accumulo e la dispersione differita nel tempo.

Il fosso disperdente deve essere in grado di ricevere e mantenere al suo interno i volumi in arrivo per svolgere la sua funzione di laminazione e dispersione della portata. Di conseguenza, nei casi in cui vi sia una certa pendenza longitudinale del terreno e quindi del fosso, è necessario ostacolare l'innesco del deflusso delle portate al suo interno e contrastare la riduzione dell'invaso dovuta alle pendenze longitudinali del fosso di guardia. A questo fine si prevede di realizzare degli opportuni setti di ripartizione in terra da posizionare all'interno del fosso di guardia in modo da garantire il necessario volume di invaso.

Per la valutazione del volume di invaso disponibile viene quindi mediata l'area bagnata tra due setti di ripartizione, cioè tra la sezione terminale del fosso (fosso pieno) e la sezione iniziale dello stesso; così facendo è possibile determinare il volume di invaso al variare della pendenza e dell'interasse dei setti (Figura 8).

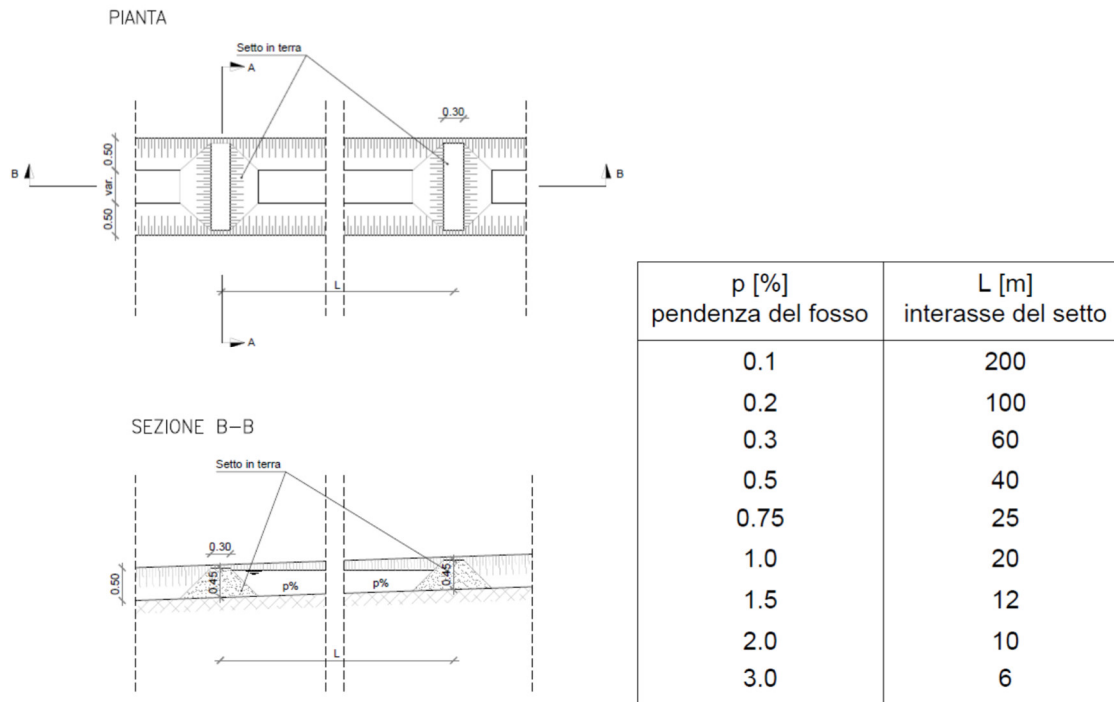


Figura 8 – NV18 – Setti lungo i fossi disperdenti - Interasse

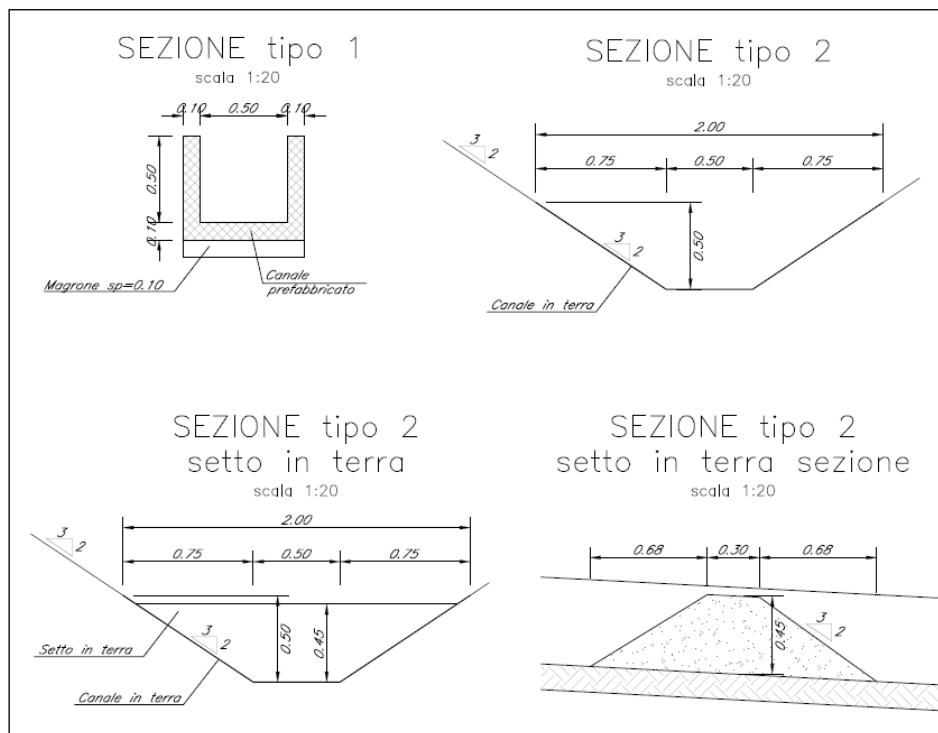


Figura 9 – NV18 – Canali – Sezioni tipo

Le canalette rettangolari trovano recapito nel tombino circolare DN1500 previsto alla progr. 0+145 circa.

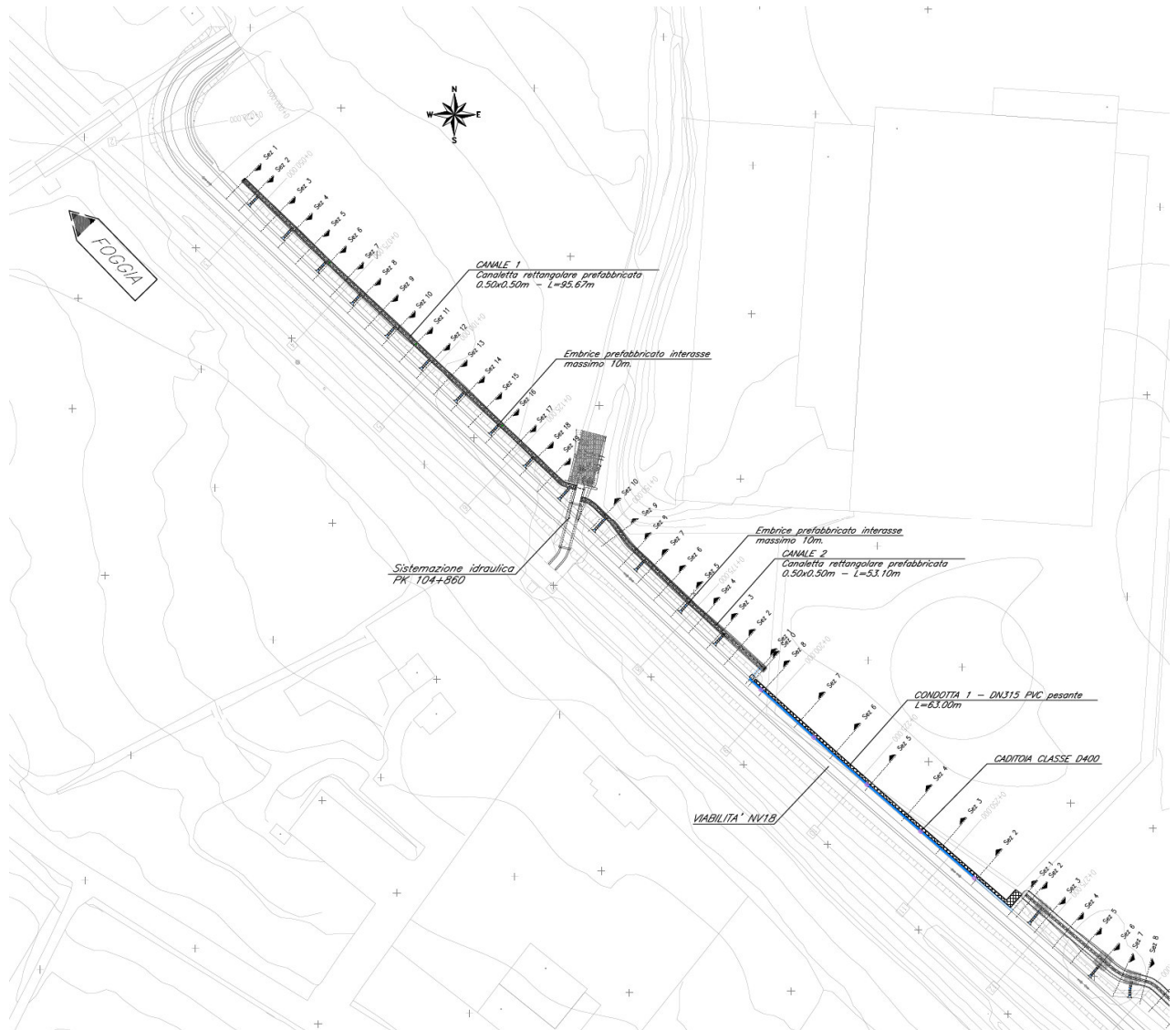


Figura 10 – NV18 – Stralcio planimetrico



Figura 11 – NV18 – Stralcio planimetrico

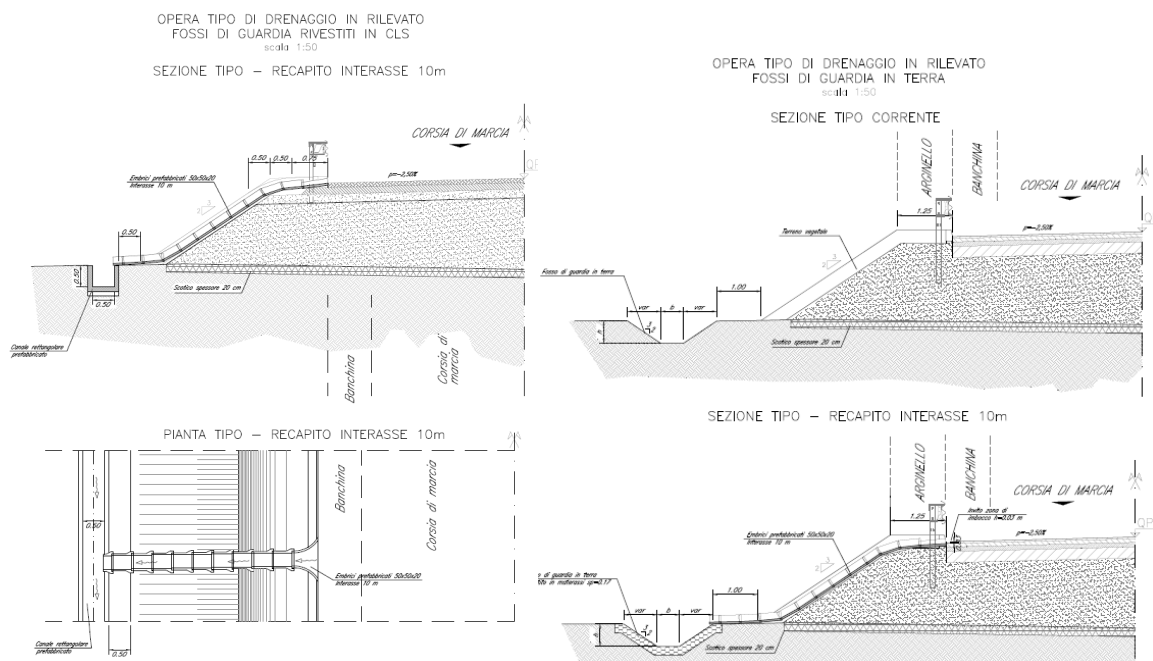


Figura 12 - NV18 - Rilevato - Opere tipo di drenaggio

Nelle tabelle seguenti si riportano le verifiche del sistema di drenaggio.

TRATTO	φmedio	S <sub>TOT</sub>	Pendenza calcolo	Invaso specifico	U	Qtot	Tipo canaletta	Tirante	% riemp.	Franco
		(m <sup>2</sup> )	(m/m)	(m)	(l/s/ ha)	(m <sup>3</sup> /s)	R (rett bxh)	(m)	(%)	(m)
Canale1	0.71	1230	0.003	0.0054	134.51	0.017	R50	0.07	13.0	0.43
Canale 2	0.78	1130	0.003	0.0064	137.82	0.016	R50	0.06	12.5	0.44

Tabella 20 - NV18 Verifica sistema di drenaggio.

L	L <sub>c</sub>	i	L <sub>p</sub>	S <sub>p</sub>	φ	ΣW <sub>p</sub>	W <sub>c</sub>	ΣΣW	w	u	Q <sub>u</sub>
m	m	m/m	m	m <sup>2</sup>		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m	l/s Ha	l/s
78.0	63.0	0.009	4.0	312.0	0.90	0.94	0.60	1.54	0.005	249.4	7.8

DN	Materiale	Ks	y	V	g.r.	Franco
		m1/3s-1	cm	m/s		cm
315	PVC	80	5.81	0.81	19.6%	23.9

Tabella 21 - NV18 Verifica condotta in PVC



BACINO	INPUT BACINO											V <sub>INV SUPERFICIALE</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>PIOGGIA "NETTA"</sub> (m <sup>3</sup> )	
	a (mm/h)	n	t (min)	h (mm)	S <sub>strada</sub> (m <sup>2</sup> )	φ <sub>strada</sub>	S <sub>RILEV</sub> (m <sup>2</sup> )	φ <sub>rilev</sub>	Sesterno (m <sup>2</sup> )	φ <sub>ester</sub>	S <sub>TOT</sub> (m <sup>2</sup> )			V <sub>PIOGGIA</sub> (m <sup>3</sup> )
NV18 (0+260 -0+520)	34.3	0.47	10	14.79	1110	0.9	1360	0.6	0	0.2	2470	26.84	12.35	14.49
	34.3	0.47	20	20.49								37.18		24.83
	34.3	0.47	30	24.79								44.99		32.64
	34.3	0.47	50	31.51								57.19		44.84
	34.3	0.29	60	34.33								62.31		49.96
	34.3	0.29	120	41.97								76.18		63.83
34.3	0.29	180	47.21	85.69	73.34									

Tabella 22– NV18 Verifica sistema ad accumulo e dispersione.

BACINO	FOSSO											Verifica
	B (m)	L (m)	H <sub>CAN</sub> (m)	A <sub>BAG</sub> (m <sup>2</sup> )	H <sub>INVASO</sub> (m)	H <sub>UT</sub> (m)	Sponde 3/2=33.69° 1/1=45°	K <sub>perm</sub> (m/s)	Q <sub>infiltrata/metro</sub> (m <sup>3</sup> /h/m)	V <sub>infiltrato/ora</sub> (m <sup>3</sup> /h)	V <sub>max invaso canaletta</sub> (m <sup>3</sup> )	
NV18 (0+260 -0+520)	0.5	120	0.5	0.12	0.13	0.065	33.69	4.5E-06	0.0119	1.43	75.00	verificato
				0.21	0.19	0.095			0.0136	1.64		verificato
				0.27	0.23	0.115			0.0148	1.78		verificato
				0.37	0.29	0.145			0.0166	1.99		verificato
				0.42	0.31	0.155			0.0172	2.06		verificato
				0.53	0.55	0.275			0.0242	2.90		verificato
				0.61	0.60	0.3			0.0175	2.10		verificato

Tabella 23– NV18 Verifica sistema ad accumulo e dispersione.

### 6.2.1 Opere di intercettazione

L'interasse degli embrici di intercettazione è dimensionato sulla base della portata per fissato tempo di ritorno stimata per la superficie di piattaforma stradale gravante.

Tipologia	B (larghezza)	L (interasse)
Embrice	5.50 m	10.00 m

Tabella 24– Parametri input opere intercettazione.

La portata di deflusso è stimata applicando il metodo razionale o della corrivazione.

In particolare:

$$Q = \frac{\varphi \cdot a \cdot t^{n-1} \cdot S}{360}$$

Con

φ, coefficiente di deflusso pari a 0.90;

S, superficie drenata [ha];

a, n parametri della curva probabilità pluviometrica pari rispettivamente a 34.3 mm/h e 0.47;

t, tempo di corrivazione considerato pari al tempo di ruscellamento pari a 7 min.

Nelle ipotesi di calcolo la portata di deflusso stimata risulta pari a:

embrice:  $Q_d = 1.47 \text{ l/s}$

Per determinare la portata che le singole opere di intercettazione sono in grado di intercettare, è necessario determinare l'altezza della corrente in cunetta.

Partendo dalla relazione di Gaukler-Strickler, per cunette che presentano la sponda esterna praticamente verticale, nell'ipotesi che il raggio idraulico si confonda con il tirante, la relazione base di Strickler può essere modificata ed invertita per determinare il tirante:

$$h = \left[ \frac{S_c}{(0.375 \cdot S_L^{0.50} K_s)} \right]^{3/8} Q_d^{3/8}$$

dove:

$S_c$ , pendenza trasversale della cunetta posta pari alla pendenza trasversale;

$S_L$ , pendenza longitudinale della cunetta;

$K_s$ , coefficiente di scabrezza pari a 60 in presenza di cunetta in cls e 40 in assenza di cunetta in cls.

Nella tabella seguente si riporta il tirante per le pendenze pari alla pendenza longitudinale massima di progetto.

Tipologia	$S_L$	$S_c$	$K_s$	$Q_d$	$h$
	(m/m)	(m/m)	( $m^{1/3}s^{-1}$ )	(l/s)	(m)
Embrice	0.055	0.025	40	1.47	0.014

Tabella 25– Opere di intercettazione: portate e tiranti di verifica.

L'imbocco dell'embrice è caratterizzato da una larghezza di intercettazione pari a circa  $L = 0.90 \text{ m}$ . Il funzionamento idraulico di un embrice può essere assimilato, con una approssimazione sufficiente al caso, a quello di una larga soglia sfiorante. In questo caso la portata di sfioro è data dalla:

$$Q_{\text{opera}} = 0.385 \cdot h \cdot L \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

dove  $h$  è il tirante calcolato in cunetta ed  $L$  la larghezza dell'embrice.

I risultati della verifica sono riportati in tabella.

$h$	$Q_{\text{opera}}$	Verifica
(m)	(l/s)	
0.014	2.42	> $Q_d$ verificato

Tabella 26– Opere di intercettazione: Embrici - verifica

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>SOTTOPROGETTO 2: ELETTIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.</b> <b>LOTTO 2 - RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE</b>						
	<b>Relazione idraulica drenaggio viabilità – Tratta Rocchetta S. Antonio - Potenza</b>	PROGETTO IA4M	LOTTO 00 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 007	REV. A

## 7 COMPATIBILITA' IDRAULICA

Nell'immagine sottostante si riporta l'ortofoto dell'area d'intervento tratta dal sito dell'ex Autorità di Bacino della Basilicata - oggi Unit of Management Regione Basilicata dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Meridionale - per dare evidenza che non vi è sovrapposizione tra le opere in progetto e le aree allagabili perimetrare dal PAI.



Figura 13 – Ortofoto dell'area di intervento e sovrapposizione con il PAI della Basilicata

Il tombino stradale e la sistemazione idraulica sono stati dimensionati per una portata di progetto avente tempo di ritorno di 200 anni in accordo all'ART. 4 quater delle NTA; le verifiche svolte mostrano che per le sezioni chiuse si ha un funzionamento con grado di riempimento inferiore ai 2/3 della sezione utile e franco superiore a 50 cm, per le sezioni aperte franchi dell'ordine dei 20 cm. Le opere in progetto non costituiscono dunque in nessun caso un fattore di aumento del rischio idraulico, né localmente né negli ambiti territoriali limitrofi, e non determinano limitazioni al normale libero deflusso delle acque. L'intervento pertanto risulta compatibile con l'assetto idraulico del territorio e con la normativa di settore.