

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## DIREZIONE TECNICA

## U.O. INFRASTRUTTURE SUD

## PROGETTO DEFINITIVO

# Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

### NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

#### IDROLOGIA

Idrologia e idraulica

Relazione idrologica corsi d'acqua minori

SCALA:

-
---

COMMESSA    LOTTO    FASE    ENTE    TIPO DOC.    OPERADISCIPLINA    PROGR.    REV.

IA5F    01    D    78    RI    ID0001    001    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE	L.Nani	07/2019	G. DECIANNI	07/2019	F. GERNONE	07/2019	D. TIBERTI Luglio 2019

File: IA5F01D78RIID0001001A

n. Elab.:

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2. ELENCO ELABORATI ANNESSI.....</b>	<b>5</b>
<b>3. SINTESI TECNICO DESCRITTIVA .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1. Scelta dei tempi di ritorno .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2. Inquadramento generale dell'area .....</b>	<b>7</b>
<b>3.3. Morfologia e idrografia.....</b>	<b>8</b>
<b>3.4. Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) .....</b>	<b>9</b>
<b>4. IL RILIEVO DELLA ZONA E L'IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA MINORE.....</b>	<b>10</b>
<b>4.1. Individuazione degli attraversamenti idraulici .....</b>	<b>16</b>
<b>5. ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI .....</b>	<b>17</b>
<b>5.1. Modello probabilistico TCEV – Procedura VAPI.....</b>	<b>17</b>
<b>5.2. Definizione delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP).....</b>	<b>26</b>
<b>5.3. Definizione Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica per eventi con durata inferiore all'ora .....</b>	<b>29</b>
<b>6. STIMA DELLE PORTATE PER I CORSI D'ACQUA MINORI .....</b>	<b>32</b>
<b>6.1. Il metodo cinematico o razionale .....</b>	<b>32</b>
<b>6.2. Calcolo delle portate per i corsi d'acqua minori.....</b>	<b>37</b>

## Indice Tabelle

Tabella 1 – Elenco Elaborati.....	5
Tabella 2 - Tempi di Ritorno di progetto .....	6
Tabella 3 - Attraversamenti idraulici: caratteristiche bacini sottesi .....	15
Tabella 4 - Attraversamenti idraulici linea ferroviaria .....	16
Tabella 5 - Attraversamenti idraulici nuova viabilità.....	16
Tabella 6 - LSPP (Ferrandina) – da pk 0+000 a pk 6+620.....	26
Tabella 7 - LSPP (Bradano) – da pk 6+620 a pk 17+950.....	27
Tabella 8 - LSPP (Matera) – da pk 17+950 a pk 19+544.....	28
Tabella 9 - Coefficienti riduttivi pluviografo di Milano Monviso (Piga et al., 1990).....	30
Tabella 10 - Coefficienti riduttivi pluviografo di Roma Macao (Calenda et al., 1993).....	30
Tabella 11 - Coefficienti riduttivi di calcolo per precipitazioni di durata inferiore all'ora.....	30
Tabella 12 - LSPP (Ferrandina) per durate $d < 1$ ora – da pk 0+000 a pk 6+620.....	31
Tabella 13 - LSPP (Bradano) per durate $d < 1$ ora – da pk 6+620 a pk 17+950.....	31
Tabella 14 - LSPP (Matera) per durate $d < 1$ ora – da pk 17+950 a pk 19+544.....	31
Tabella 15 - Tempi di corrivazione .....	37
Tabella 16 - Portate al colmo per i bacini afferenti alla linea ferroviaria .....	38
Tabella 17 - Portata al colmo per i bacini afferenti alla nuova viabilità.....	39

## Indice Figure

Figura 1 - Inquadramento generale e territoriale della linea ferroviaria in progetto.....	7
Figura 2 - Individuazione dei principali bacini idrografici interessati dalla linea ferroviaria.....	8
Figura 3 – Stralcio Corografia dei bacini minori (1/4).....	11
Figura 4 - Stralcio Corografia dei bacini minori (2/4) .....	12
Figura 5 – Stralcio Corografia dei bacini minori (3/4).....	13
Figura 6 – Stralcio Corografia dei bacini minori (4/4).....	14
Figura 7 - Sottozone Omogenee .....	21
Figura 8 - Isolinee del coefficiente $a$ della curva di probabilità pluviometrica.....	23
Figura 9 - Isolinee del coefficiente $n$ della curva di probabilità pluviometrica.....	24
Figura 10 - Aree omogenee leggi di probabilità pluviometriche.....	25
Figura 11 - LSPP (Ferrandina) - da pk 0+000 a pk 6+620 .....	27
Figura 12 - LSPP (Bradano) – da pk 6+620 a pk 17+950.....	28
Figura 13 - LSPP (Matera) – da pk 17+950 a pk 19+544.....	29

## 1. PREMESSA

Il presente documento è parte della progettazione definitiva dell'intervento relativo alla linea ferroviaria Ferrandina – Matera “La Martella” per un'estensione di circa 20 km.

La presente relazione descrive lo studio idrologico eseguito al fine di determinare le portate di progetto per la verifica idraulica delle opere di attraversamento minori e la curva di possibilità pluviometrica per il dimensionamento delle opere di drenaggio di piattaforma stradale e ferroviaria.

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

- Interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante specifici sopralluoghi nei quali sono state acquisite notizie sull'idrografia della zona, sullo stato degli alvei, nonché sul comportamento dell'area durante gli eventi piovosi intensi;
- Perimetrazione dei bacini idrografici e studio delle loro caratteristiche geomorfologiche;
- Redazione delle corografie dei bacini idrografici sottesi in corrispondenza del tracciato ferroviario e nuove viabilità in progetto;
- Valutazione delle caratteristiche dei bacini e calcolo dei tempi di corrivazione mediante l'utilizzo di diverse equazioni disponibili in letteratura;
- Calcolo delle altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno mediante il Metodo VAPI Regione Basilicata;
- Valutazione delle portate liquide dei bacini idrografici nella sezione di chiusura, mediante applicazione del metodo razionale;
- Definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora necessarie per il dimensionamento delle opere di drenaggio di piattaforma stradale e ferroviaria.

## 2. ELENCO ELABORATI ANNESSI

ELABORATO	SCALA	CODIFICA
RELAZIONE IDROLOGICA	-	IA5F01D78RIID0001001A
COROGRAFIA BACINI MINORI	1:15000	IA5F01D78CZID0002001A

**Tabella 1 – Elenco Elaborati.**

### 3. SINTESI TECNICO DESCRITTIVA

#### 3.1. Scelta dei tempi di ritorno

La scelta dei tempi 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 dal Manuale di Progettazione ferroviaria e dall'Aggiornamento delle Norme tecniche delle Costruzioni (D.M. 17 Gennaio 2018) e Circolare 21 gennaio 2019 , n. 7 Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. L'autorità di Bacino Interregionale della Basilicata, oggi confluita nell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) non fornisce indicazioni relativamente al dimensionamento delle opere di attraversamento dei corsi d'acqua.

La tabella 2 seguente sintetizza la scelta effettuata per tipologia di opere:

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2018 e relativa circolare applicativa
<b>Drenaggio di piattaforma (cunette, tubazioni, etc)</b>	<i>Piattaforma ferroviaria TR 100 anni</i> <i>Deviazioni stradali Tr=25 anni</i>	-
<b>Manufatti di attraversamento (ponti e tombini)</b>	<i>linea ferroviaria Tr= 300 anni per S &gt; 10 km<sup>2</sup></i> <i>linea ferroviaria Tr= 200 anni per S ≤ 10 km<sup>2</sup></i> <i>Deviazioni stradali Tr=200 anni</i>	<i>Tr = 200 anni</i>

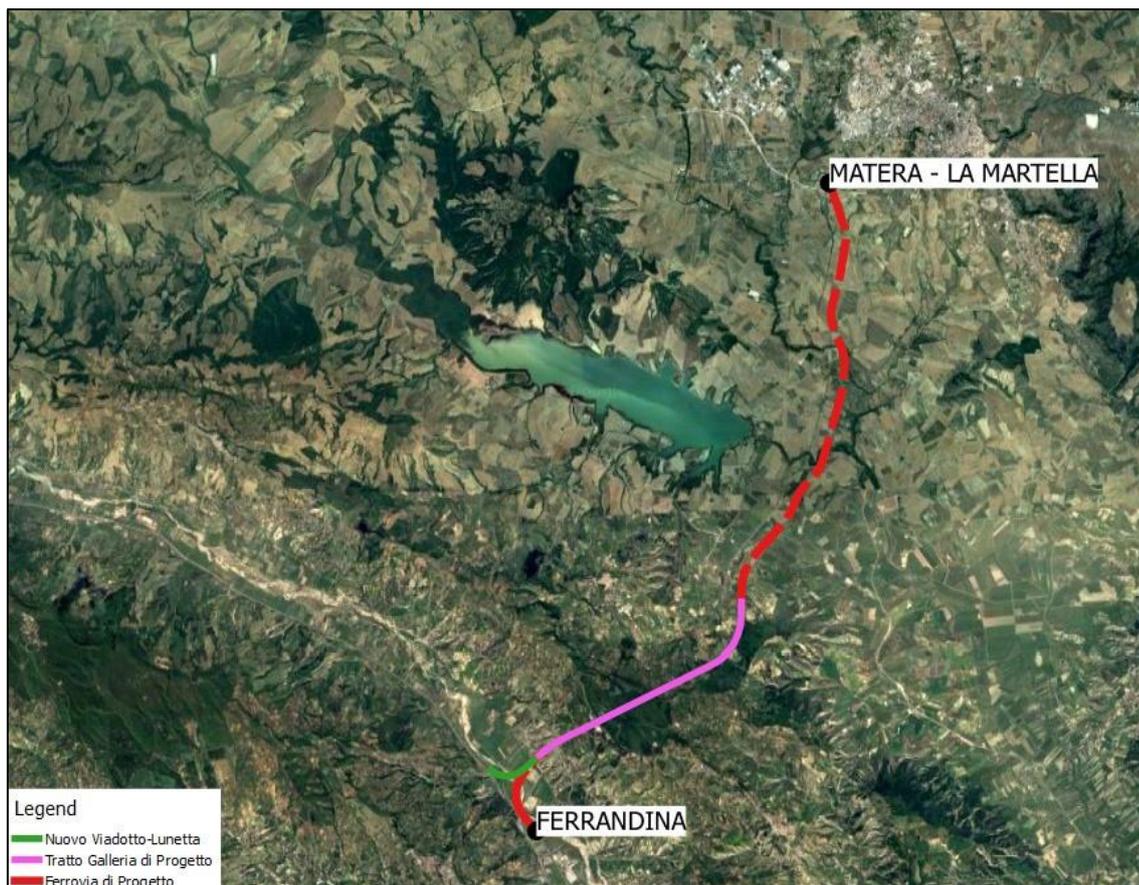
**Tabella 2 - Tempi di Ritorno di progetto**

S= superficie del bacino

### 3.2. Inquadramento generale dell'area

La tratta ferroviaria Ferrandina – Matera “La Martella” si sviluppa in direzione Sud-Ovest – Nord-Est per circa 20 km.

In Figura 1 è visibile un inquadramento dell'area di studio:

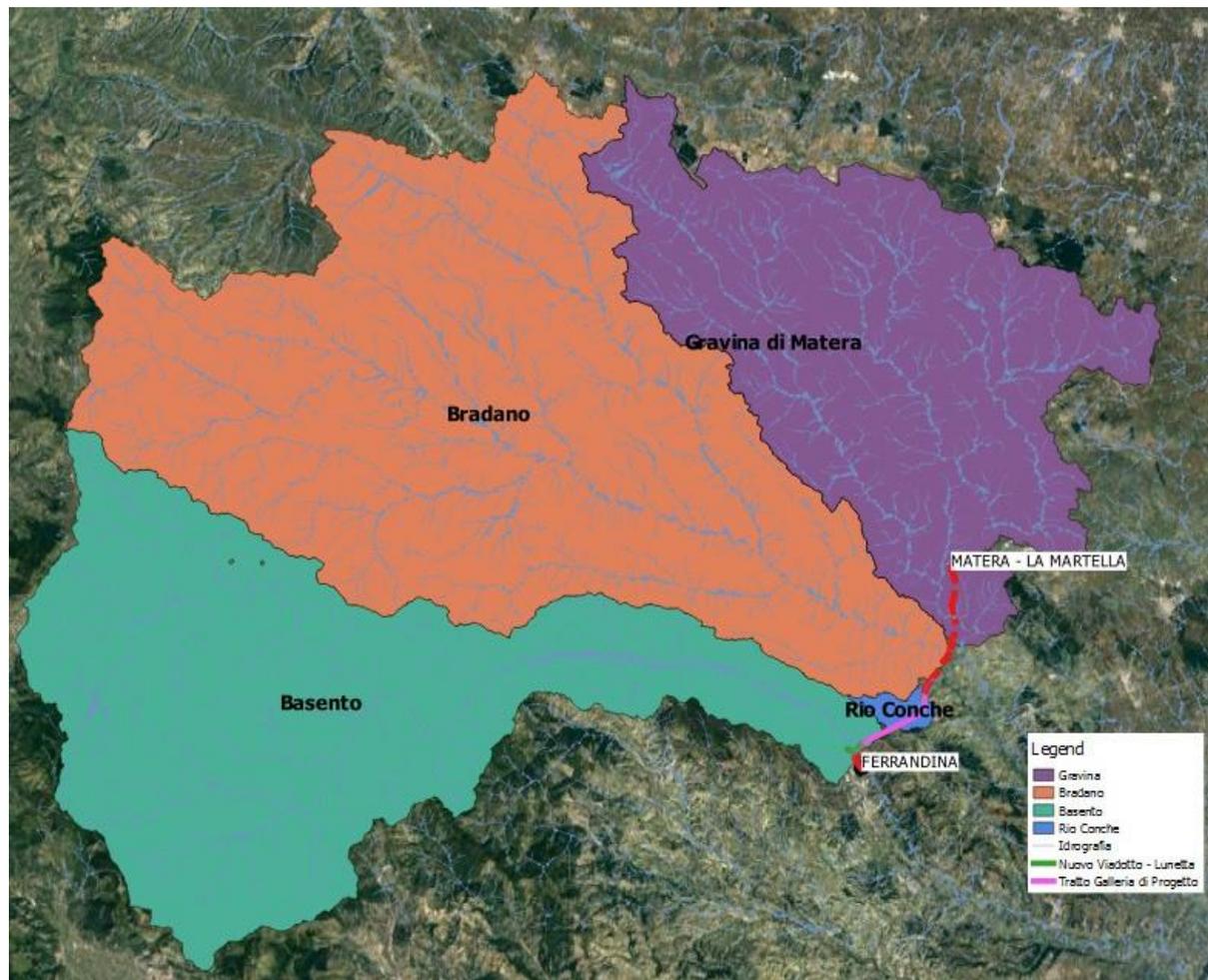


**Figura 1 - Inquadramento generale e territoriale della linea ferroviaria in progetto.**

Dal punto di vista idrologico, la linea ferroviaria in progetto interessa un territorio molto esteso, con caratteristiche fisiche e morfologiche differenti. Tale condizione ha richiesto un'attenta analisi delle aree di studio mirata all'individuazione delle grandezze idrologiche che meglio rappresentano la risposta attesa del bacino rispetto alle sollecitazioni meteoriche di progetto.

### 3.3. Morfologia e idrografia

Il territorio oggetto di studio, dove si sviluppa la tratta ferroviaria Ferrandina - Matera, ricade all'interno del territorio interno della Regione Basilicata attraversando i bacini dei Fiumi Basento, Bradano e Gravina di Matera.



**Figura 2 - Individuazione dei principali bacini idrografici interessati dalla linea ferroviaria.**

Il bacino del Fiume Basento è per estensione il terzo fra quelli del versante Jonico Lucano, con un'area di circa 1.535 km<sup>2</sup>. Il corso d'acqua presenta una caratterizzazione morfologica montuosa-collinare nel settore settentrionale e collinare-pianeggiante nella porzione centro-orientale

Il bacino del F. Bradano ha una superficie di circa 3000 km<sup>2</sup> ed è compreso tra il bacino del fiume Ofanto a nord-ovest, i bacini di corsi d'acqua regionali della Puglia con foce nel Mar Adriatico e nel Mar Jonio a nord-est e a est, ed il bacino del fiume Basento a sud.

Il Torrente Gravina ha origine tra le località “La Capasa”, “Massa Parcone” e “Murgia Pelliccia” a NE dell’abitato di Gravina in Puglia (BA) ad una quota pari a circa 430 m s.l.m.m e si sviluppa in parte nel territorio dei comuni di Gravina e di Altamura e nella porzione nord-orientale del territorio del Comune di Matera.

Relativamente al tracciato si può identificare come critica la parte iniziale compresa tra la stazione di Ferrandina e Miglionico, in cui la linea attraversa una propaggine delle “Dolomiti Lucane”.

L’orografia ha implicato il ricorso a un attraversamento in galleria che si estende per circa 7 km.

### **3.4. Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI)**

L’analisi condotta nel presente studio ha preso in considerazione anche gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore. In particolare, all’interno degli strumenti legislativi di recente emanazione, è stato consultato il Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale, nella quale è confluita l’Autorità di Bacino Interregionale della Basilicata, approvato il 21 dicembre 2016 dal Comitato Istituzionale dell’AdB con delibera n.11, primo aggiornamento 2016 del PAI, vigente dal 9 febbraio 2017, data di pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana (n.33).

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.

Dagli elaborati grafici annessi relativi alle carte di pericolosità idraulica si evince come l’infrastruttura ferroviaria di progetto, in corrispondenza degli attraversamenti minori oggetto della presente relazione, non intercetti le perimetrazioni del Piano di Bacino e attraversi aree classificate come “aree a pericolosità idraulica”.

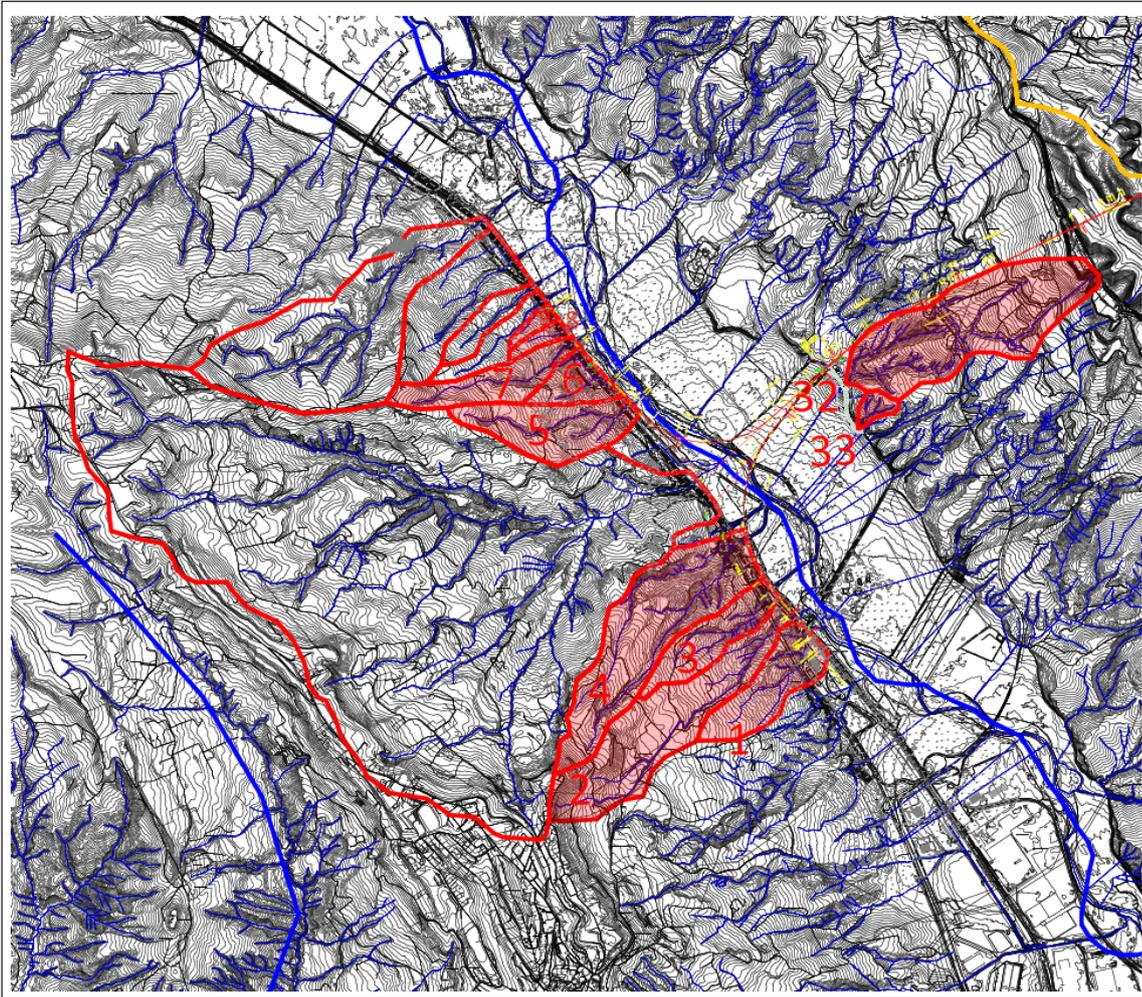
#### **4. IL RILIEVO DELLA ZONA E L'IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA MINORE**

Per ottenere una rappresentazione quotata della zona di analisi al fine di ricostruire la complessa rete idrografica dell'area e la delimitazione del bacino per ciascun attraversamento idraulico lungo la tratta ferroviaria Ferrandina – Matera e lungo le viabilità di progetto, si è fatto riferimento a:

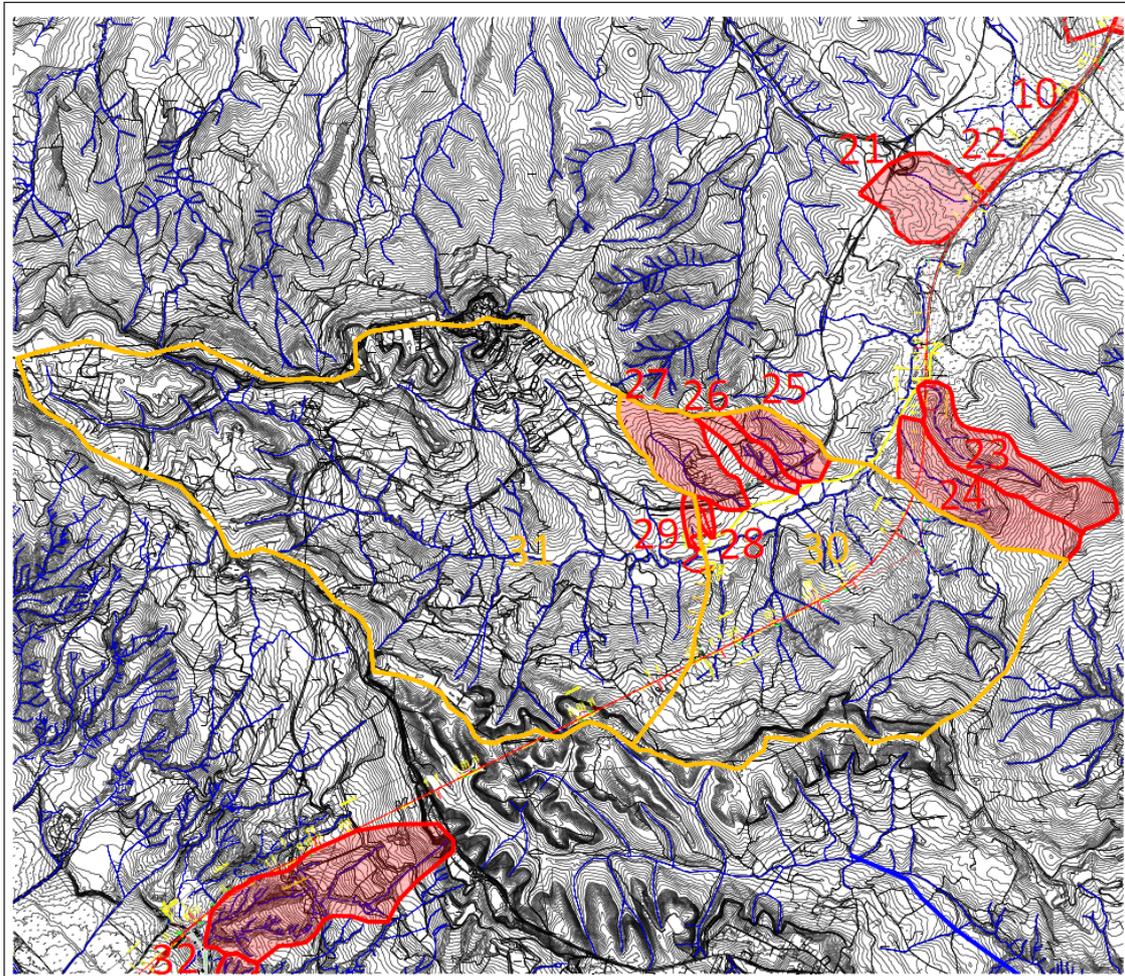
- Cartografia Tecnica Regionale scala 1:5.000;
- Cartografica scala 1:1.000;
- Rilievi celerimetrici dell'area.
- Rilievo Lidar 1x1 m effettuato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

Grazie a queste informazioni è stata costruita la delimitazione dei bacini idrografici dei corsi d'acqua minori e l'individuazione della rete idrografica riportata negli elaborati grafici annessi alla presente relazione.

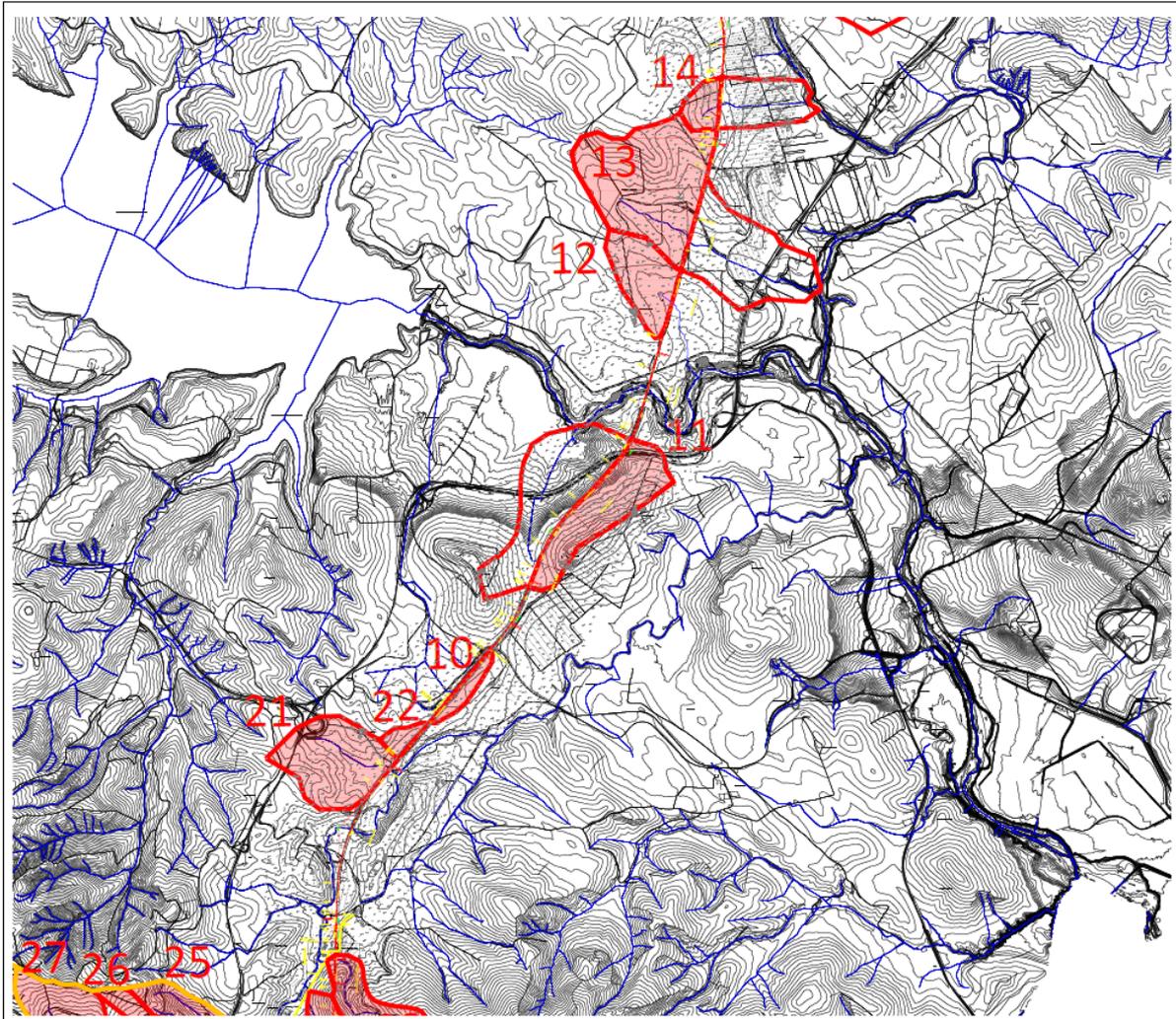
Nelle figure seguenti si riportano gli stralci delle corografie dei bacini minori.



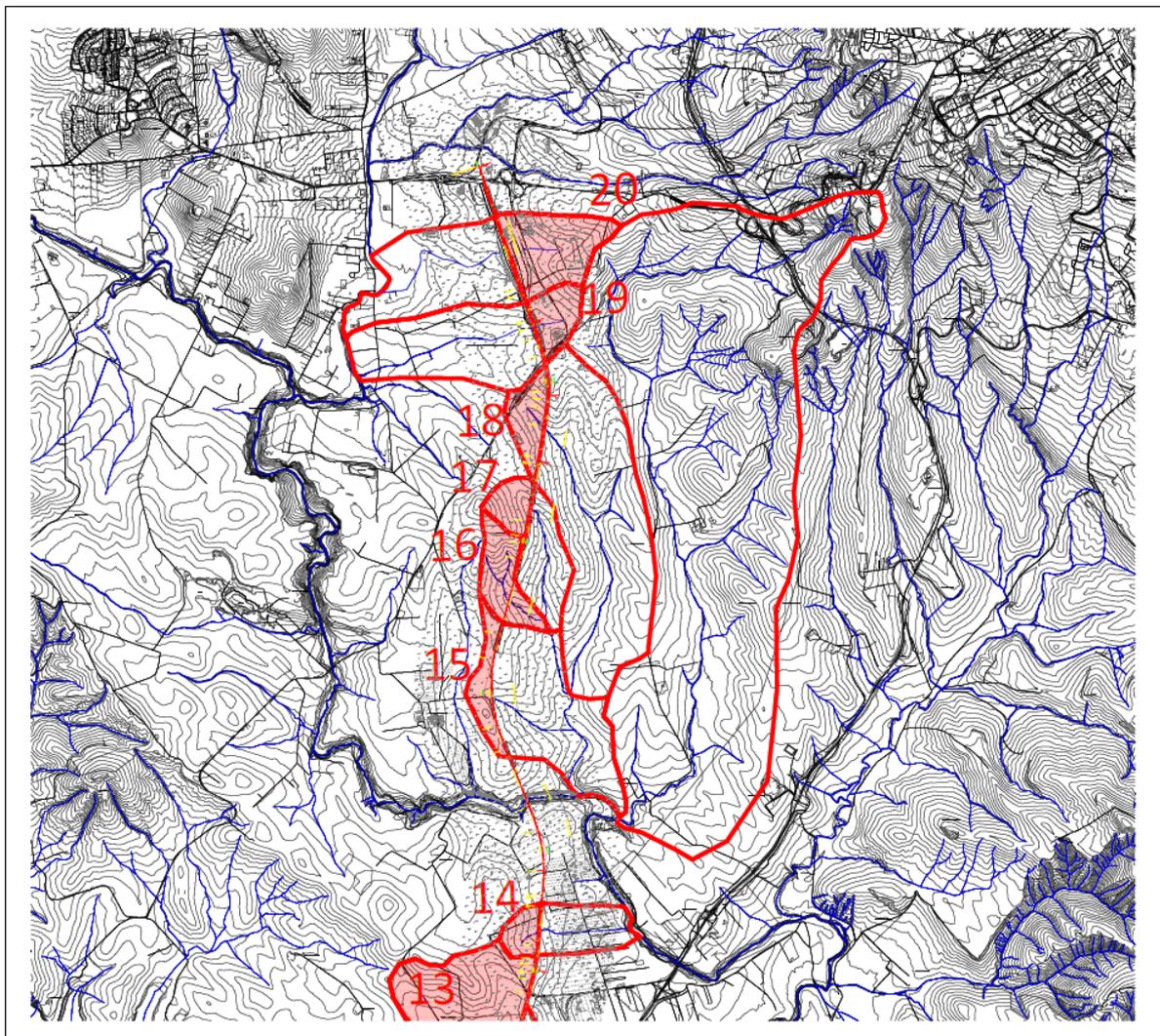
*Figura 3 – Stralcio Corografia dei bacini minori (1/4).*



*Figura 4 - Stralcio Corografia dei bacini minori (2/4)*



*Figura 5 – Stralcio Corografia dei bacini minori (3/4).*



**Figura 6 – Stralcio Corografia dei bacini minori (4/4).**

Di seguito sono riportate per ciascun bacino idrografico interferente con le opere in progetto le caratteristiche morfometriche alla sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'opera. Sono riportate la superficie del bacino (S), la lunghezza dell'asta principale (L), l'altezza massima, minima e media del bacino (H) e la pendenza media (P).

ID Bacino	Superficie [kmq]	Lasta [km]	H <sub>max</sub> [m s.m.m.]	H <sub>min</sub> [m s.m.m.]	H <sub>med</sub> [m s.m.m.]	P [m/m]
1	0.27	0.89	259	75	153.5	0.217
2	0.635	2.2	478	89	286.3	0.222
3	0.23	0.94	293	82	187.7	0.234
4	0.724	1.8	481	87	238.2	0.256
5	0.33	1.23	316	92	196.5	0.23

ID Bacino	Superficie [kmq]	Lasta [km]	H <sub>max</sub> [m s.m.m.]	H <sub>min</sub> [m s.m.m.]	H <sub>med</sub> [m s.m.m.]	P [m/m]
6	0.13	0.45	217	87	137	0.256
7	0.24	1.22	376	98	242.7	0.259
8	0.04	0.28	210	98	139.4	0.263
9	0.03	0.26	188	95	132.3	0.256
10	0.04	0.1	147	138	141.9	0.04
11	0.28	0.5	178	105	130.3	0.11
12	0.19	0.55	141	120	131.1	0.05
13	0.55	0.8	177	126	146.95	0.086
14	0.06	0.14	167	139	154.75	0.11
15	0.1	0.2	172	149	158.7	0.055
16	0.16	0.53	221	140	171	0.123
17	0.082	0.32	217	170	189.2	0.15
18	0.114	0.31	205	174	185.7	0.11
19	0.11	0.53	220	190	198.5	0.068
20	0.27	0.24	241	194	211.4	0.079
21	0.31	0.52	183	142	159	0.09
22	0.033	0.12	156	140	144.4	0.077
23	0.42	1.24	445.00	168.00	236.50	0.11
24	0.42	0.97	415.00	172.00	216.00	0.09
25	0.16	0.71	310.00	185.00	227.50	0.12
26	0.11	0.75	330.00	195.00	232.50	0.10
27	0.31	0.91	345.00	200.00	250.00	0.11
28	0.02	0.15	270.00	210.00	220.00	0.13
29	0.03	0.17	270.00	205.00	217.50	0.15
30	11.55	6.93	515.00	172.00	331.00	0.05
31	7.35	5.56	515.00	202.00	346.00	0.05
32	0.77	1.93	690.00	101.00	253.00	0.16
33	0.04	0.33	151.00	92.00	116.00	0.15

**Tabella 3 - Attraversamenti idraulici: caratteristiche bacini sottesi**

#### 4.1. Individuazione degli attraversamenti idraulici

Di seguito sono riportati gli attraversamenti individuati per la linea ferroviaria, indicando le rispettive progressive di progetto, il ramo ferroviario, l'identificativo del bacino idrografico sotteso con relativa area, ed il tipo di opera prevista.

Pk [km]	ID Ramo	ID Bacino	Superficie [kmq]	Tipologia
0+176.97	A	8	0.04	Tombino 2x2
0+265.74	A	7	0.24	Tombino 2x2
0+626.64	A	6	0.13	Tombino 3x3
0+823.17	A	5	0.33	Tombino 2x2
10+101.50	A	21	0.31	Tombino 5x2
10+281.50	A	22	0.033	Tombino 2x2
10+733.50	A	10	0.04	Tombino 2x2
10+911.00	A	10	0.04	Tombino 2x2
14+959.42	A	14	0.06	Tombino 2x2
18+888.57	A	19	0.11	Tombino 3x3
19+391.22	A	20	0.27	Tombino 3x3
0+379.23	B	3	0.23	Tombino 5x2

**Tabella 4 - Attraversamenti idraulici linea ferroviaria**

Di seguito sono riportati gli attraversamenti individuati per la nuova viabilità, indicando le rispettive progressive di progetto, l'identificativo della nuova viabilità, l'identificativo del bacino idrografico sotteso con relativa area, ed il tipo di opera prevista.

Pk [km]	ID Ramo	ID Bacino	Superficie [kmq]	Tipologia
0+016	NV01	33	0.04	Tombino DN 1500
0+340	NV01	32	0.77	Tombino 3x2
0+400	NV02	23	0.42	Tombino 2x2
0+609	NV02	24	0.42	Tombino 2x2
1+352	NV02	25	0.16	Tombino 2x2
1+534	NV02	26	0.11	Tombino 2x2
1+862	NV02	27	0.31	Tombino 2x2
2+185	NV02	28	0.02	Tombino DN 1500
2+305	NV02	29	0.03	Tombino DN 1500
1+006	NV02	30	11.55	Ponte L=25 m
2+305	NV02	31	7.35	Ponte L=25 m

**Tabella 5 - Attraversamenti idraulici nuova viabilità**

## 5. ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI

### 5.1. Modello probabilistico TCEV – Procedura VAPI

Lo studio delle piogge è stato affrontato applicando il metodo VAPI “Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia” in particolare dalla “Sintesi del rapporto regionale Basilicata”.

Gli afflussi naturali sono stati determinati, per assegnati tempi di ritorno, tramite l'impiego di piogge estreme regionalizzate nell'ambito del progetto VAPI-CNR dello studio del GNDCI (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche) con il modello probabilistico che adotta la distribuzione TCEV (Two- Component Extreme Value).

L'adozione di tale metodo d'indagine idrologica è stata ritenuta più appropriata per l'area in oggetto, in quanto garantisce risultati già ampiamente testati e quindi ritenuti sufficientemente cautelativi rispetto a quelli desumibili dai metodi tradizionali di elaborazione statistica.

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 pluviometrici, basato sulle citate pubblicazioni, è aggiornato al 1987. Per alcune stazioni è stato tuttavia possibile, utilizzare i dati non ancora pubblicati, aggiornati al 1992.

La legge di distribuzione probabilistica per la variabile casuale  $h_d$ , massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata oraria o sub-oraria  $d$ , è la Two Component Extreme Value (TCEV), secondo cui i valori estremi di una grandezza idrologica provengono da due diverse popolazioni: una degli eventi normali e un'altra degli eventi eccezionali (outliers), legati a differenti fenomeni meteorologici.

Tale distribuzione ha la caratteristica di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche, con presenza di alcuni valori molto elevati, di cui difficilmente le distribuzioni usuali (log-normale, Gumbel, Fréchet, ecc.) riescono a rendere conto.

La funzione di distribuzione di probabilità della  $h_d$  è funzione di quattro parametri:  $\Lambda_{b,d}$ ,  $\Theta_{b,d}$ ,  $\Lambda_{s,d}$  e  $\Theta_{s,d}$ , che esprimono il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori a una soglia delle due popolazioni ( $\Lambda_{b,d}$  e  $\Lambda_{s,d}$ ) e il loro valore medio ( $\Theta_{b,d}$  e  $\Theta_{s,d}$ ) con  $\Lambda_{b,d}$ ,  $\Theta_{b,d}$  relativi ad una componente base contenente i valori medi e bassi e  $\Lambda_{s,d}$ ,  $\Theta_{s,d}$  relativi ad una componente straordinaria contenente i valori più elevati.

$$P(h_d) = e^{\left( -\Lambda_{b,d} e^{-\frac{h_d}{\Theta_{b,d}}} - \Lambda_{s,d} e^{-\frac{h_d}{\Theta_{s,d}}} \right)}$$

Se si pone  $\Theta^* = \Theta_{s,d} / \Theta_{b,d}$  e  $\Lambda^* = \Lambda_{s,d} / \Lambda_{b,d} 1/\Theta^*$ , si può considerare la quaterna di parametri  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$ ,  $\Lambda_{b,d}$  e  $\Theta_{b,d}$ . La funzione di distribuzione di probabilità della variabile casuale  $x=h_d$  (massimo annuale della pioggia di durata t) è espressa come segue:

$$P(h_d) = e^{\left( -\Lambda_{b,d} e^{-\frac{h_d}{\Theta_{b,d}}} - \Lambda^* \Lambda_{b,d} 1/\Theta^* e^{-\frac{h_d}{\Theta^* \Theta_{b,d}}} \right)}$$

Si può dimostrare che il coefficiente d'asimmetria  $\xi(h_d)$  dipende soltanto dai parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ , il coefficiente di variazione  $\gamma(h_d)$  dipende dai parametri  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$  e  $\Lambda_{b,d}$  e la media  $\mu(h_d)$  dipende dai parametri  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$ ,  $\Lambda_{b,d}$ ,  $\Theta_{b,d}$  che si esprime con:

$$\mu(h_d) = \left[ \ln \Lambda_{b,d} + 0,5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda^{*j}}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\Theta^*}\right) \right] \Theta_{b,d}$$

dove posto:

$$\beta = \left[ \ln \Lambda_{b,d} + 0,5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda^{*j}}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\Theta^*}\right) \right]$$

Si ha:

$$P(h_d) = e^{\left( -\Lambda_{b,d} e^{-\beta \frac{h_d}{\mu_{h,d}}} - \Lambda^* \Lambda_{b,d} 1/\Theta^* e^{-\beta \frac{h_d}{\Theta^* \mu_{h,d}}} \right)}$$

Sostituendo nella precedente espressione il coefficiente di crescita  $K_T = h_d / \mu_{h,d}$  si ottiene:

$$P(h_d) = e^{\left( -\Lambda_{b,d} e^{-\beta K_T} - \Lambda^* \Lambda_{b,d} 1/\Theta^* e^{-\beta \frac{K_T}{\Theta^*}} \right)}$$

che in forma implicita fornisce la curva di crescita  $K(T_r)$  della variabile  $h_d$ , dove  $T$  è il tempo di ritorno di  $h_d$ :

$$T = \frac{1}{1 - P(K_T)}$$

Purtroppo non è esplicitabile in forma esatta, ma può essere invertita con la seguente espressione

approssimata, valida per:

$$0,1 \leq \Lambda^* \leq 0,9 \quad \text{e} \quad 1,1 \leq \Theta^* \leq 10$$

Posto:

$$x = \ln\{-\ln[-P(k_T)]\} \quad x_0 = \frac{\Theta^*}{1 - \Theta^*} \ln \Lambda^* \quad A = 0,8288(\Theta^* - 0,4315)^{0,3456}$$

per  $x \leq x_0$ :

$$k = \frac{x + A e^{-B_1(x-x_0)^{C_1}}}{\beta}$$

con

$$B_1 = 1,345 \frac{\Theta^* - 1}{(\Theta^* - 1,092)^{0,9319}} \quad \text{e} \quad C_1 = 0,8118 + 0,2453 e^{-0,1731(\Theta^* - 1)}$$

per  $x > x_0$ :

$$k = \frac{\Theta^*(x + \ln \Lambda^*) + A e^{-B^2(x-x_0)^{C_2}}}{\beta}$$

con

$$B_2 = 0,6501(\Theta^* - 1) + 0,009705(\Theta^* - 1)^2 \quad e \quad C_2 = 1 + 0,08680(\Theta^* - 1)^{0,5942}$$

La Basilicata viene considerata come un'unica zona omogenea al primo livello e divisa in due sottozone omogenee al secondo livello.

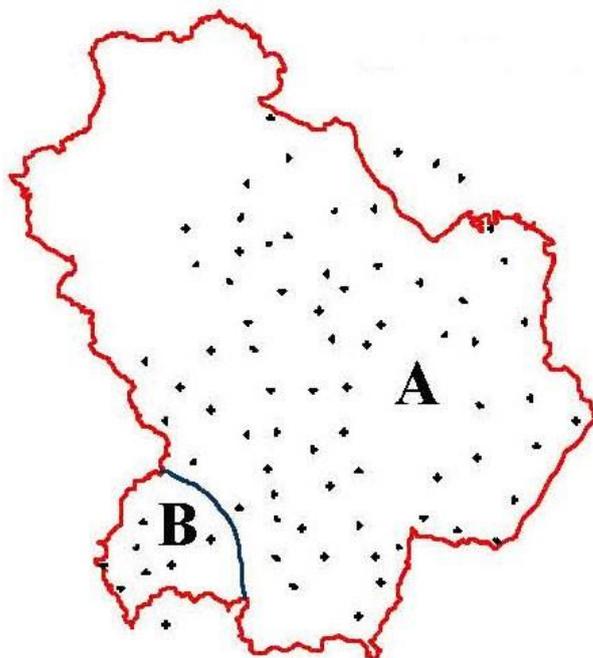
Si considera una sottozona Nord composta da 70 stazioni e una sottozona Sud-Ovest comprendente le rimanenti 8, come indicato nella figura seguente.

I parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Basilicata sono:

SOTTOZONA	$\Lambda^*$	$\Theta^*$	$\Lambda_1$	$\eta$
A	0.104	2.632	20.64	3.841
B	0.104	2.632	55.23	4.825

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  $K_T$  :

$$T = \frac{1}{1 - F_K(K)} = \frac{1}{1 - e^{-\left[ -\Lambda_1 e^{-\eta K} - \Lambda^* \Lambda_1^{\frac{1}{\Theta^*}} e^{-\frac{\eta K}{\Theta^*}} \right]}} \quad (1)$$



**Figura 7 - Sottozone Omogenee**

Più utile è la forma inversa, per cui, fissato un valore di 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 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
$K_T$ (SZO A)	0.92	1.25	1.49	1.74	1.83	2.03	2.14	2.49	2.91	3.50	3.97
$K_T$ (SZO B)	0.97	1.10	1.20	1.30	1.34	1.42	1.46	1.61	1.78	2.02	2.21

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)  $K_T = -0.7628 + 0.6852 \text{Ln} T$ ;

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

Obiettivo 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 provvisti di stazione 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, esposizione.

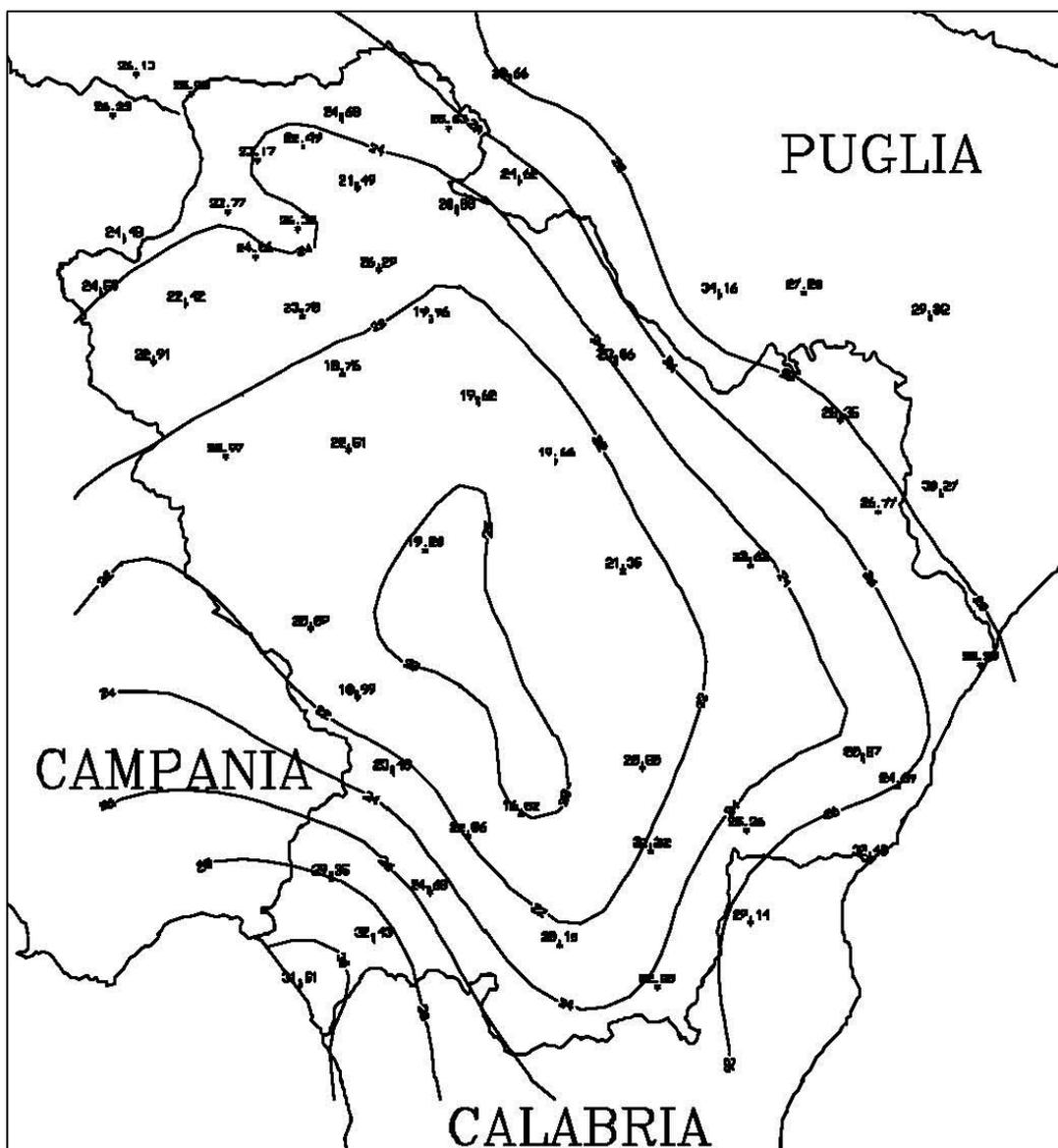
L'individuazione delle aree omogenee al terzo livello avviene solitamente con riferimento alle medie  $m(hg)$  delle piogge giornaliere, sempre per ragioni legate alla maggiore disponibilità di stazioni e dati/stazione. Tuttavia, per la regione in indagine, precedenti analisi sulla variabilità spaziale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

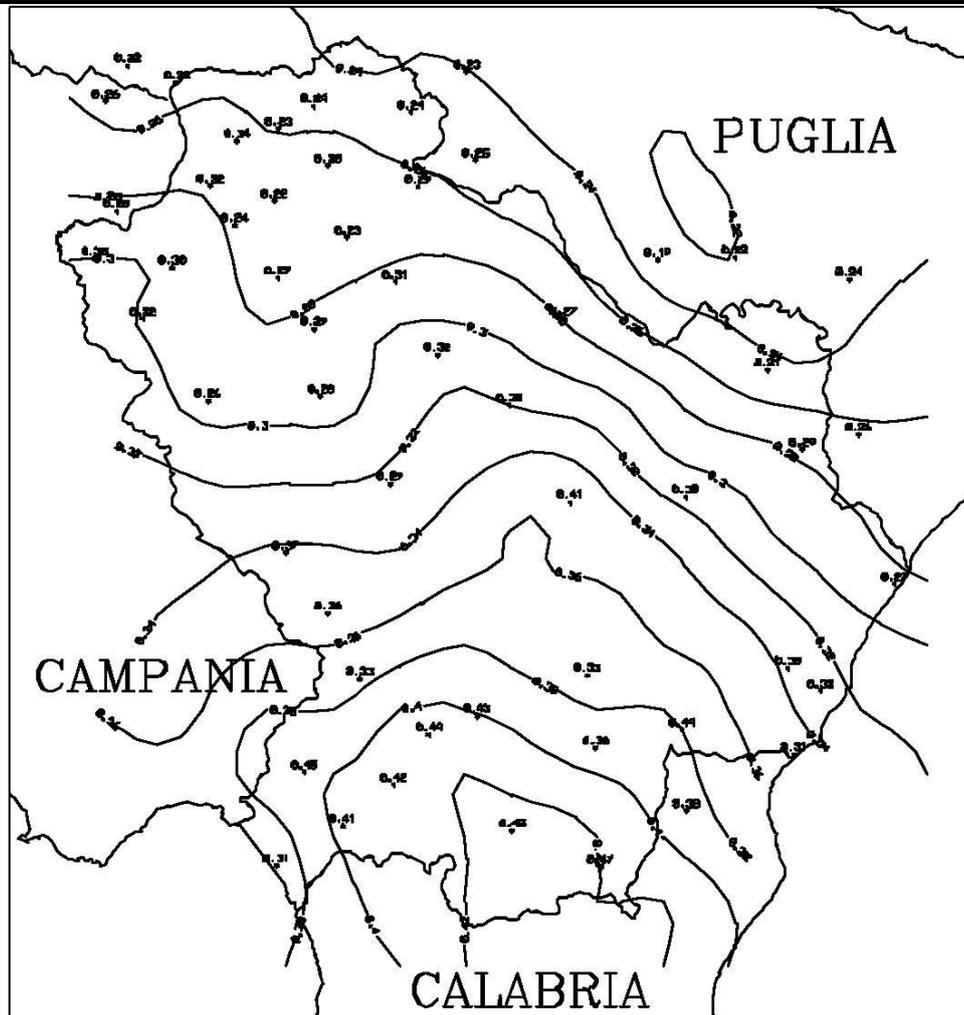
In assenza delle indicazioni su eventuali aree omogenee al III livello, l'analisi delle medie delle piogge brevi è consistita nell'identificazione delle isoiete di  $m(h(d))$  per le diverse durate.

Poiché non si sono individuate aree omogenee rispetto alle leggi di probabilità pluviometriche, la loro determinazione su un'area quale può essere, ad esempio, un bacino idrografico viene determinata a seguito di una operazione di media sui parametri  $a$  ed  $n$  della legge di pioggia:

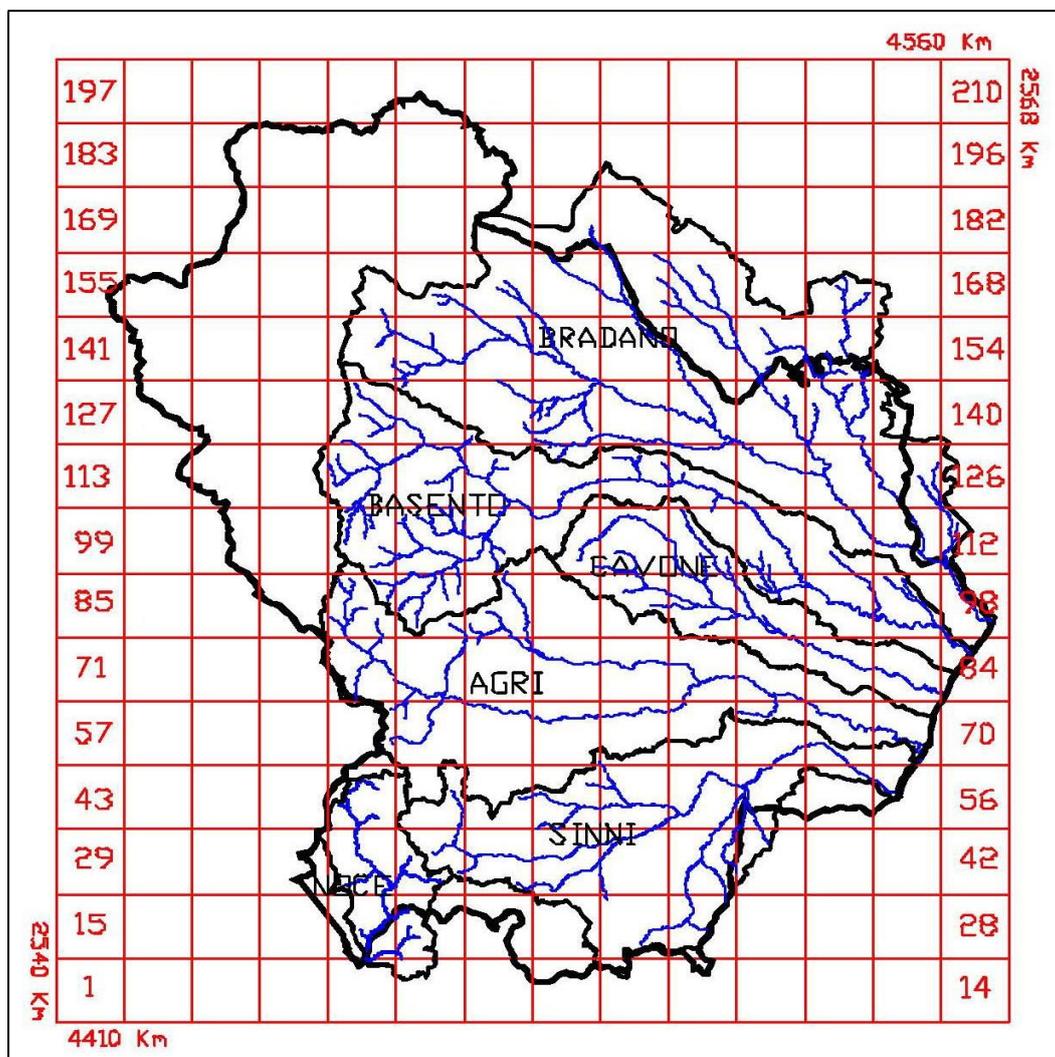
$$m(h(d)) = a \cdot d^n$$

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 nella figura seguente.





*Figura 9 - Isolinee del coefficiente  $n$  della curva di probabilità pluviometrica*



**Figura 10 - Aree omogenee leggi di probabilità pluviometriche**

Per ogni cella, identificata da una numerazione che procede da Ovest verso Est e da Sud verso Nord, sono riportati i valori medi di  $\log(a)$  e di  $n$ .

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

## 5.2. Definizione delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP)

In base ai dati di precipitazione delle zone omogenee derivate dal metodo VAPI si sono calcolate le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica lungo l'asse del tracciato.

Il legame funzionale tra l'altezza  $h$  della precipitazione e la sua durata  $d$  per un determinato tempo di ritorno ( $Tr$ ) è espressa mediante una equazione del tipo:

$$h(d,Tr) = a d^n$$

dove:

$a$  altezza di precipitazione oraria in mm.

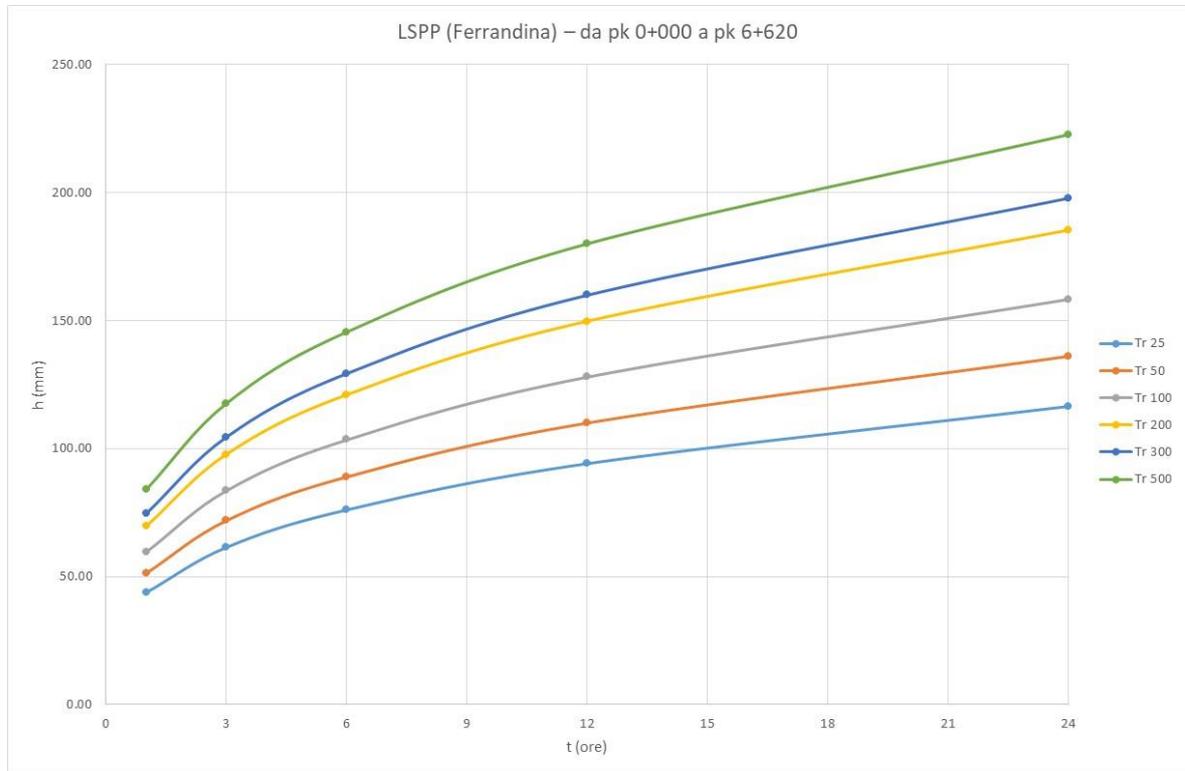
$d$  tempo di pioggia in ore

Lungo l'asse del tracciato ferroviario si sono determinate tre zone ricadenti all'interno di ciascuna cella individuata nel metodo VAPI che determinano una legge pluviometrica omogenea in funzione delle progressive chilometriche della linea.

I parametri della LSPP per durate  $d > 1$  ora sono riportate nelle tabelle e grafici seguenti.

<b>LSPP (Ferrandina) – da pk 0+000 a pk 6+620</b>		
<b>Tr</b>	<b>a</b>	<b>n</b>
25	43.90	0.307
50	51.34	0.307
100	59.73	0.307
200	69.81	0.307
300	74.60	0.307
500	83.96	0.307

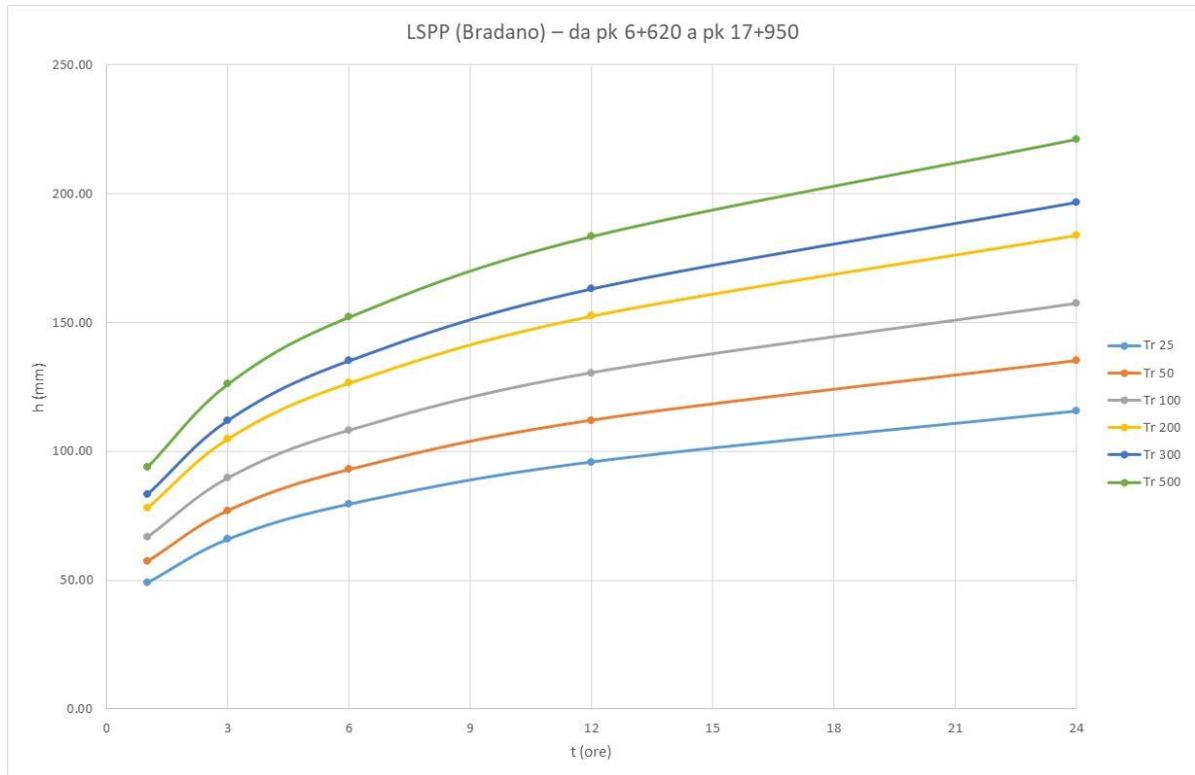
**Tabella 6 - LSPP (Ferrandina) – da pk 0+000 a pk 6+620.**



**Figura 11 - LSPP (Ferrandina) - da pk 0+000 a pk 6+620**

LSPP (Bradano) – da pk 6+620 a pk 17+950		
Tr	a	n
25	49.03	0.270
50	57.33	0.270
100	66.71	0.270
200	77.96	0.270
300	83.32	0.270
500	93.77	0.270

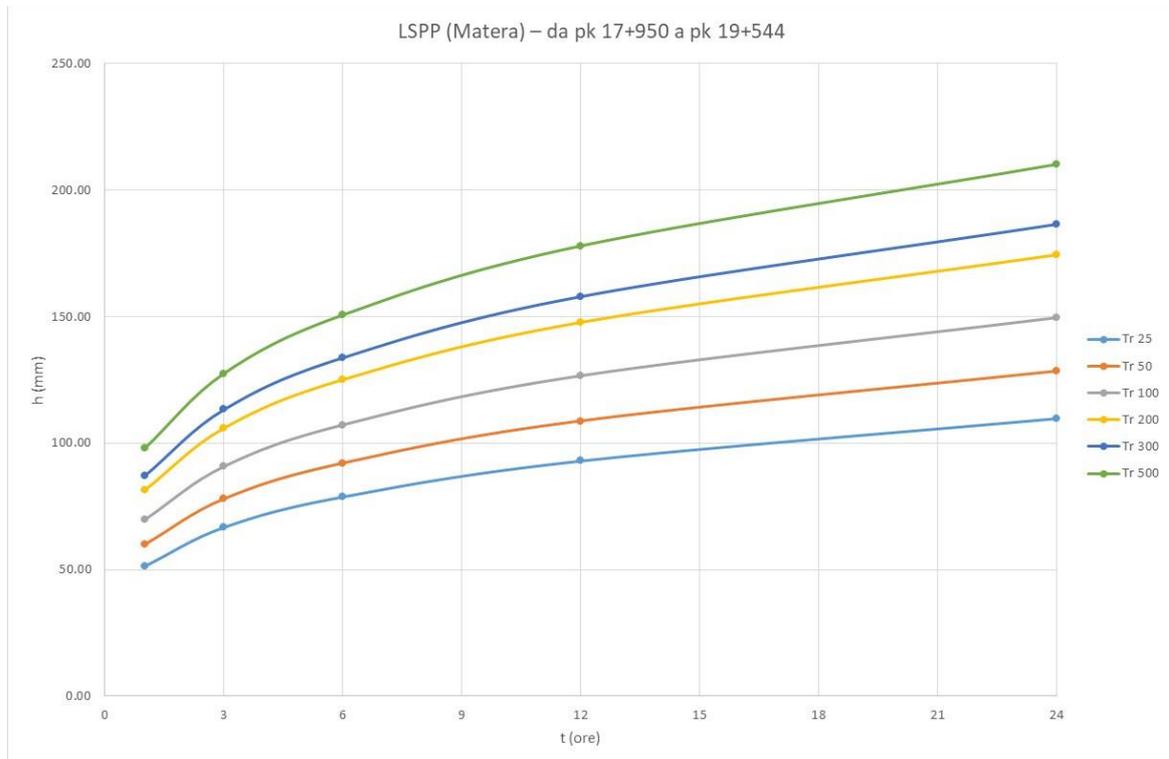
**Tabella 7 - LSPP (Bradano) – da pk 6+620 a pk 17+950.**



**Figura 12 - LSPP (Bradano) – da pk 6+620 a pk 17+950.**

LSPP (Matera) – da pk 17+950 a pk 19+544		
Tr	a	n
25	51.22	0.240
50	59.90	0.240
100	69.69	0.240
200	81.45	0.240
300	87.05	0.240
500	97.96	0.240

**Tabella 8 - LSPP (Matera) – da pk 17+950 a pk 19+544.**



**Figura 13 - LSPP (Matera) – da pk 17+950 a pk 19+544.**

### 5.3. Definizione Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica per eventi con durata inferiore all'ora

Le massime altezze di pioggia di durata inferiore all'ora sono state ricavate prendendo a riferimento studi effettuati in altre località italiane. E' noto infatti da letteratura [Bell, 1969] che i rapporti  $r_{\delta}$  tra le altezze di durata  $\delta$  molto breve e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località.

A partire dalla massima pioggia di durata oraria, si ricavano le corrispondenti altezze di pioggia di durata pari a frazioni di ora mediante l'utilizzo di un opportuno coefficiente correttivo, denominato nel seguito  $r_{\delta}$ . Tale coefficiente può essere assunto sulla base delle indicazioni disponibili in letteratura tecnica e supportate da ricerche svolte su alcune stazioni di misura italiane appartenenti ad aree pluviometriche con diverse caratteristiche, in particolare i pluviografi di Milano Monviso e Roma Macao (riportati in "Sistemi di fognatura – Manuale di progettazione" del Centro Studi Deflussi Urbani).

Durata (min)	1	2	3	4	5	10	15	30	45
$r_{\delta}$	0,130	0,180	0,229	0,272	0,322	0,489	0,601	0,811	0,913

**Tabella 9 - Coefficienti riduttivi pluviografo di Milano Monviso (Piga et al., 1990).**

Durata (min)	5	10	15	20	25	30
$r_{\delta}$	0,278	0,435	0,537	0,632	0,709	0,758

**Tabella 10 - Coefficienti riduttivi pluviografo di Roma Macao (Calenda et al., 1993).**

Data la sostanziale congruenza dei valori di  $r_{\delta}$  ricavati per le due stazioni, nel presente studio sono stati utilizzati coefficienti riduttivi ottenuti come media dei precedenti.

Durata (min)	1	2	3	4	5	10	15	30	45
$r_{\delta}$	0,130	0,180	0,229	0,272	0,300	0,4892	0,569	0,785	0,913

**Tabella 11 - Coefficienti riduttivi di calcolo per precipitazioni di durata inferiore all'ora.**

Applicando quanto sopra si determinano i parametri delle LSPP in funzione del tempo di ritorno come riportati nelle seguenti tabelle.

<b>LSPP (Ferrandina) d &lt; 1 ora – da pk 0+000 a pk 6+620</b>		
<b>Tr</b>	<b>a</b>	<b>n</b>
25	43.90	0.410
50	51.34	0.410
100	59.73	0.410
200	69.81	0.410
300	74.60	0.410
500	83.96	0.410

**Tabella 12 - LSPP (Ferrandina) per durate d < 1 ora – da pk 0+000 a pk 6+620.**

<b>LSPP (Bradano) d &lt; 1 ora – da pk 6+620 a pk 17+950</b>		
<b>Tr</b>	<b>Tr</b>	<b>Tr</b>
25	49.03	0.410
50	57.33	0.410
100	66.71	0.410
200	77.96	0.410
300	83.32	0.410
500	93.77	0.410

**Tabella 13 - LSPP (Bradano) per durate d < 1 ora – da pk 6+620 a pk 17+950.**

<b>LSPP (Matera) d &lt; 1 ora – da pk 17+950 a pk 19+544</b>		
<b>Tr</b>	<b>Tr</b>	<b>Tr</b>
25	51.22	0.410
50	59.90	0.410
100	69.69	0.410
200	81.45	0.410
300	87.05	0.410
500	97.96	0.410

**Tabella 14 - LSPP (Matera) per durate d < 1 ora – da pk 17+950 a pk 19+544.**

## 6. STIMA DELLE PORTATE PER I CORSI D'ACQUA MINORI

### 6.1. Il metodo cinematico o razionale

Il metodo cinematico viene utilizzato per il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione incidente su un bacino di limitata estensione. In questo studio, il metodo è stato utilizzato per la determinazione della massima piena corrispondente ad un fissato periodo di ritorno ( $T_r$ ).

La schematizzazione alla base del metodo si basa sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

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

Il calcolo della portata si effettua con la formula seguente:

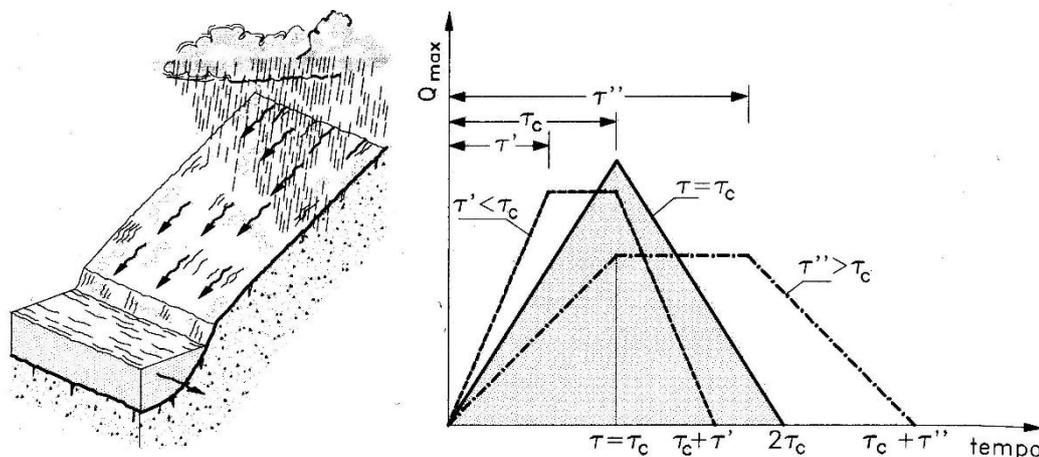
$$Q_{\max} = \frac{h_{d,t} \times C \times A}{3.6 \times t_c}$$

con :

- A area del bacino [km<sup>2</sup>];
- $h_{d,t}$  precipitazione caduta per un tempo pari alla durata critica [mm];
- C coefficiente di deflusso superficiale.
- $t_c$  tempo di corrivazione (ore).

Il valore di  $h$  rappresenta l'altezza di pioggia che cade in un dato sito in un tempo uguale al tempo di corrivazione  $t_c$ : infatti se la durata della precipitazione è inferiore al tempo  $t_c$  solo una parte del bacino contribuirà alla formazione della portata, che risulterà pertanto di minore entità. Viceversa, se la durata dell'evento è maggiore, l'intensità della pioggia sarà minore e quindi meno intenso il colmo di piena. Nella figura seguente 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 1 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.**

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.

Il tempo di corrivazione è funzione essenzialmente delle caratteristiche morfometriche del bacino e per la sua stima possono essere utilizzate diverse formulazioni, in funzione della grandezza del bacino esaminato.

Le formulazioni riportate di seguito possono dar luogo a tempi di corrivazione molto differenti, in quanto ciascuna di esse attribuisce pesi diversi ai parametri morfometrici considerati. In particolar modo, tali espressioni sono di natura empirica e sono state calibrate per determinati intervalli di superficie di bacino idrologico. Per tale motivo, la stima del tempo di corrivazione è stata effettuata considerando un valore ponderato.

Kirpich

$$T_c = 0.666 \cdot L^{0.77} \cdot \left[ 1000 \cdot \frac{L}{(H_{\max} - H_{\min})} \right]^{0.385}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta principale;

Hmax = altezza massima del bacino idrografico

Hmin = altezza della sezione di chiusura

Ventura

$$T_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$$

dove:

i = pendenza media dell'asta principale;

S = superficie del bacino idrografico;

Pasini

$$T_c = 0.108 \cdot \frac{(S \cdot L)^{1/3}}{i^{0.5}}$$

dove:

i = pendenza media dell'asta principale;

S = superficie del bacino idrografico;

L = lunghezza dell'asta principale;

Puglisi

$$T_c = 6 \cdot L^{(2/3)} \cdot (H_{MAX} - H_{MIN})^{1/3}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta principale;

Hmax = altezza massima del bacino idrografico

Hmin = altezza della sezione di chiusura

Pezzoli

$$T_c = 0.055 \cdot L / i^{(1/2)}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta principale;

i = pendenza media del bacino;

Giandotti

$$T_c = \frac{4 \times \sqrt{A} + 1.5 \times L}{0.8 \times \sqrt{H}}$$

dove:

A = area del bacino (km<sup>2</sup>)

L = lunghezza dell'asta principale (km)

H = altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m)

Le formule riportate vengono utilizzate in funzione dell'estensione areale del bacino, ed in particolare per i bacini idrografici in esame, sono state applicate le seguenti relazioni:

Formule utilizzate	Bacino
Kirpich; Ventura; Pasini; Puglisi; Pezzoli	Bacini minori
Ventura; Pasini; Puglisi; Pezzoli; Giandotti	Rio Conche

La scelta del tempo di corrivazione, determinante ai fini della portata di progetto, è stata dunque realizzata operando attraverso la media delle relazione proposte.

Per il coefficiente di defflusso si è utilizzato un valore cautelativo pari a C = 0.5, considerando quelli suggeriti in letteratura per i boschi (0.1-0.3) e quelli per i terreni coltivati (0.3-0.6). Il valore appare pienamente congruente con i parametri già proposti dal PAI della regione Basilicata.

Nelle tabelle seguenti vengono riportati i valori dei tempi di corrivazione per i vari bacini idrografici minori presi in esame relativamente a quelli interferenti con linea ferroviaria in progetto e con la nuova viabilità.

ID Bacino	Kirpich [h]	Ventura [h]	Pasini [h]	Puglisi [h]	Pezzoli [h]	Giandotti [h]	Media [h]
1	0.11	0.14	0.14	0.99	0.11		0.30
2	0.22	0.21	0.26	1.42	0.26		0.47
3	0.11	0.13	0.13	0.98	0.11		0.29
4	0.18	0.21	0.23	1.24	0.20		0.41
5	0.14	0.15	0.17	1.15	0.14		0.35
6	0.06	0.09	0.08	0.71	0.05		0.20
7	0.13	0.12	0.14	1.07	0.13		0.32
8	0.04	0.05	0.05	0.54	0.03		0.14
9	0.04	0.04	0.04	0.55	0.03		0.14
10	0.04	0.13	0.09	0.63	0.03		0.18
11	0.09	0.20	0.17	0.92	0.08		0.29
12	0.13	0.25	0.23	1.47	0.14		0.44
13	0.14	0.32	0.28	1.41	0.15		0.46
14	0.03	0.09	0.07	0.54	0.02		0.15
15	0.06	0.17	0.13	0.73	0.05		0.23
16	0.09	0.14	0.14	0.92	0.08		0.28
17	0.06	0.09	0.08	0.79	0.05		0.21
18	0.06	0.13	0.11	0.88	0.05		0.25
19	0.11	0.16	0.16	1.28	0.11		0.37
20	0.06	0.23	0.16	0.65	0.05		0.23
21	0.10	0.24	0.20	1.14	0.10		0.35
22	0.03	0.08	0.06	0.58	0.02		0.16
23	0.18	0.25	0.26	1.08	0.21		0.40
24	0.16	0.27	0.27	0.96	0.18		0.37
25	0.11	0.15	0.15	0.97	0.11		0.30
26	0.13	0.13	0.15	0.98	0.13		0.30
27	0.14	0.21	0.21	1.09	0.15		0.36
28	0.03	0.05	0.04	0.44	0.02		0.12
29	0.04	0.06	0.05	0.46	0.02		0.13
30		2.01	2.14	3.18	1.78	2.38	2.30
31		1.51	1.61	2.83	1.34	2.00	1.86

ID Bacino	Kirpich [h]	Ventura [h]	Pasini [h]	Puglisi [h]	Pezzoli [h]	Giandotti [h]	Media [h]
32	0.22	0.28	0.31	1.13	0.27		0.50
33	0.06	0.07	0.07	0.75	0.05		0.23

**Tabella 15 - Tempi di corrivazione**

## 6.2. Calcolo delle portate per i corsi d'acqua minori

Nel presente paragrafo sono riportati i valori delle portate calcolati secondo il metodo cinematico, descritto nel precedente paragrafo 6.1

La valutazione delle portate è stata eseguita utilizzando le altezze di pioggia corrispondenti ad un tempo di ritorno di 30, 100 e 200 anni per tutti i bacini in esame, compreso il Rio Conche (bacino n.30) che, benché presenti una superficie maggiore di 10 km<sup>2</sup> viene assunta come portata di riferimento la Tr 200 anni in quanto trattasi di ponte stradale.

I restanti bacini risultano ampiamente inferiori ai 10 km<sup>2</sup>, ed in particolari quelli afferenti alla linea ferroviaria, pertanto la portata di progetto è pari a Tr 200 anni congruentemente a quanto previsto dal Manuale Italferr e dalle NTC 2018 per le opere di attraversamento. Nelle seguenti tabelle vengono riportate le portate al colmo di piena relativi ai bacini idrografici interferenti con la linea ferrovia in progetto, e per quelli interferenti con le nuove viabilità in progetto.

ID Bacino	Intensità di pioggia (mm/h)			C	Portata al colmo (mc/s)		
	Tr 30	Tr 100	Tr 200		Tr 30	Tr 100	Tr 200
1	86.87	132.59	158.91	0.50	3.26	4.97	5.96
2	63.22	96.49	115.65	0.50	5.58	8.51	10.20
3	88.16	134.55	161.26	0.50	2.82	4.30	5.15
4	69.68	106.34	127.45	0.50	7.01	10.69	12.82
5	77.78	118.72	142.28	0.50	3.57	5.44	6.52
6	115.49	176.26	211.25	0.50	2.09	3.18	3.81
7	83.01	126.70	151.85	0.50	2.77	4.22	5.06
8	145.44	221.97	266.03	0.50	0.81	1.23	1.48
9	146.59	223.72	268.13	0.50	0.61	0.93	1.12
10	146.08	222.95	267.20	0.50	0.81	1.24	1.48
11	102.96	157.14	188.33	0.50	4.00	6.11	7.32
12	75.99	115.98	139.01	0.50	2.01	3.06	3.67
13	73.85	112.71	135.08	0.50	5.64	8.61	10.32
14	166.63	254.32	304.80	0.50	1.39	2.12	2.54
15	124.19	189.53	227.16	0.50	1.72	2.63	3.15
16	107.67	164.33	196.95	0.50	2.39	3.65	4.38
17	129.59	197.79	237.05	0.50	1.48	2.25	2.70
18	116.47	177.75	213.04	0.50	1.84	2.81	3.37
19	94.24	143.83	172.38	0.50	1.44	2.20	2.63
20	134.39	205.10	245.82	0.50	5.04	7.69	9.22
21	84.10	128.36	153.84	0.50	3.62	5.53	6.62
22	150.53	229.74	275.34	0.50	0.69	1.05	1.26

**Tabella 16 - Portate al colmo per i bacini afferenti alla linea ferroviaria**

ID Bacino	Intensità di pioggia (mm/h)			C	Portata al colmo (mc/s)		
	Tr 30	Tr 100	Tr 200		Tr 30	Tr 100	Tr 200
<b>23</b>	93.14	122.58	143.26	0.5	5.42	7.13	8.34
<b>24</b>	98.10	129.11	150.88	0.5	5.75	7.57	8.84
<b>25</b>	113.49	149.36	174.55	0.5	2.59	3.40	3.98
<b>26</b>	112.32	147.82	172.76	0.5	1.70	2.24	2.62
<b>27</b>	99.15	130.48	152.49	0.5	4.27	5.62	6.57
<b>28</b>	221.24	291.16	340.27	0.5	0.65	0.85	0.99
<b>29</b>	209.67	275.94	322.48	0.5	0.96	1.26	1.48
<b>30</b>	26.53	34.91	40.80	0.5	42.55	56.00	65.45
<b>31</b>	30.86	40.61	47.46	0.5	31.50	41.46	48.45
<b>32</b>	73.51	96.84	113.18	0.5	7.86	10.36	12.10
<b>33</b>	124.78	164.38	192.13	0.5	0.69	0.91	1.07

**Tabella 17 - Portata al colmo per i bacini afferenti alla nuova viabilità**