

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO

**SOTTOPROGETTO 2: ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.
LOTTO 1 - ELETTRIFICAZIONE**

Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica

SCALA:

-

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

I A O X 0 1 D 1 1 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	M. Villani	Marzo 2015	F. Cobas	Marzo 2015	G. Lestingi	Marzo 2015	F. Sacchi	Marzo 2015

U.O. CORPO STRADALE e GEOTECNICA
 D. DIR. ING. DANIELE SACCHI
 ITALFERR S.p.A.
 A2...

File: IA0X01D11RIID0002001A.doc

n. Elab.:

L1.34

INDICE

1	PREMESSA	5
2	SINTESI TECNICA DESCRITTIVA	6
3	INQUADRAMENTO NORMATIVO	7
3.1	Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia	7
3.2	Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Basilicata	9
4	IL RILIEVO DELLA ZONA E L'IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA	12
4.1	L'individuazione degli attraversamenti idraulici lungo la tratta ferroviaria Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi	13
5	MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE E DELLE PORTATE	15
5.1	Il modello probabilistico TCEV	15
5.2	Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri	16
5.3	Curve regionali di crescita delle precipitazioni	18
6	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI CON IL METODO VAPI	19
7	DEFINIZIONE DELLE PORTATE	23
7.1	Il metodo cinematico	23
7.2	Portate in corrispondenza degli attraversamenti idraulici oggetto di intervento.	27
8	VERIFICHE IDRAULICHE	34
8.1	Metodologia	34
8.1.1	<i>Verifica idraulica in moto permanente</i>	35
8.2	Risultati	36
8.2.1	<i>Attraversamento idraulico Km 0+915 linea Rocchetta - S. Nicola di Melfi (Km 50+219 linea Rocchetta-Potenza)</i>	37
8.2.2	<i>Attraversamento idraulico Km 1+031 linea Rocchetta - S. Nicola di Melfi (Km 50+335 linea Rocchetta-Potenza)</i>	39
9	COMPATIBILITA' IDRAULICA	43
10	BIBLIOGRAFIA	45
11	APPENDICE - IL MODELLO MATEMATICO HEC-RAS	46
12	ALLEGATO 1 - COROGRAFIA DEI BACINI: ATTRAVERSAMENTI KM 0+915 E KM 1+031	55

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Inquadramento dell'area	6
Figura 2 – 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.	9
Figura 3 – Aree di rischio e aree di esondazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Basilicata, in rosso la tratta ferroviaria Cervaro-Rocchetta-Potenza.....	11
Figura 4 – DEM della Nasa	12
Figura 5 - DTM della Regione Puglia.	13
Figura 6 – Zone omogenee rispetto al valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere.	21
Figura 7 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.	24
Figura 8 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 10$ anni.	30
Figura 9 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 50$ anni.	30
Figura 10 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 100$ anni.	31
Figura 11 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 200$ anni.	31
Figura 12 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 300$ anni.	32
Figura 13 – km 0+915: Inquadramento planimetrico dell'attraversamento	38
Figura 14 - Profilo livelli idrici per diversi Tr pari a 10, 50, 100 e 200 anni.	38
Figura 15 - Sezioni immediatamente a monte, in corrispondenza di e immediatamente a valle dell'attraversamento 0+915: indicazione dei livelli idrici per diversi Tr pari a 10, 50, 100 e 200 anni.	39
Figura 16 – km 1+031: Inquadramento planimetrico dell'attraversamento	40
Figura 17 - Profilo livelli idrici per diversi Tr pari a 10, 50, 100 e 200 anni.	41
<i>Figura 18 - Sezioni immediatamente a monte, in corrispondenza di e immediatamente a valle dell'attraversamento sotto la linea Rocchetta-Potenza: indicazione dei livelli idrici per tempi di ritorno (Tr) pari a 10, 50, 100 e 200 anni.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 19 - Sezioni immediatamente a monte, in corrispondenza di e immediatamente a valle dell'attraversamento sotto la linea Rocchetta-San Nicola di Melfi: indicazione dei livelli idrici per tempi di ritorno (Tr) pari a 10, 50, 100 e 200 anni.....</i>	<i>42</i>
Figura 20 - km 0+915: Perimetrazione aree a Rischio (Estratto dal WebGis dell'AdB Puglia).....	43
Figura 21 - km 1+031: Perimetrazione aree a Rischio (Estratto dal WebGis dell'AdB Puglia).....	44

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Elenco degli attraversamenti idraulici oggetto di intervento: progressive relative alla linea storica Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi e Rocchetta - Potenza.....	14
Tabella 2 – Aree dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento. Le progressive tra parentesi si riferiscono alla linea Rocchetta – Potenza.....	14
Tabella 3 - Parametri del VAPI per il I e II livello di regionalizzazione per la zona in esame ricavata dall'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia.	19
Tabella 4 – Valori del fattore di crescita per la zona in esame ricavata dall' Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia.	20
Tabella 5 - 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.....	22
Tabella 6 - Parametro N della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione.....	26
Tabella 7 - Caratteristiche geomorfologiche del bacino idrografico afferente all'attraversamento al km 0+915.....	27
Tabella 8 - Elenco dei tempi di corrivazione relativi al bacino afferente all'attraversamento idraulico alla progressiva km 0+915.	28
Tabella 9 - Elenco delle precipitazioni relative a differenti tempi di ritorno per il bacino afferente all'attraversamento idraulico alla progressiva km 0+915.	28
Tabella 10 - Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative all'attraversamento idraulico alla progressiva km 0+915.	28
Tabella 11 – Compluvio minore afferente all'attraversamento idraulico alla progressiva km 1+031: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per gli attraversamenti della tratta Cervaro - Rocchetta Scalo. La progressiva tra parentesi si riferisce alla linea Rocchetta – Potenza.....	33
Tabella 12 – Manufatti di attraversamento lungo i tratti in variante all'attuale tracciato ferroviario.	34
Tabella 13 - Valori dei coefficienti di scabrezza di Manning, n, relativi ad alvei naturali (Open-Channel Hydraulics, CHOW, 1959)	37
Tabella 14 – Principali caratteristiche dell'attraversamento idraulico alla progressiva km 0+915	38
Tabella 15 – Risultati modello HEC-RAS	39
Tabella 16 – Principali caratteristiche dell'attraversamento idraulico alla progressiva km 1+031	40
Tabella 17 – Risultati modello HEC-RAS per i due attraversamenti sotto le linee Rocchetta-San Nicola di Melfi (71 Rocchet-SNdM) e Rocchetta-Potenza (85 Rocchetta-PZ).....	42

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento						
	Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO IA0X	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 001	REV. A

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 1 - Elettrificazione della linea esistente. Il suddetto progetto prevede una variante di tracciato in sede della linea ferroviaria conseguente alla necessità di modificare da doppio a singolo binario la galleria S.Venere, in uscita da Rocchetta, e di trasferire il bivio (per le direzioni S.Nicola di Melfi e Potenza) subito all'esterno della galleria stessa. Lungo tale tratto in variante al tracciato della linea ferroviaria storica è prevista la realizzazione di due nuovi attraversamenti idraulici in corrispondenza delle progressive km0+915 e km1+031 della linea Rocchetta Scalo - S.Nicola di Melfi.

La presente relazione descrive le caratteristiche idrologiche e idrauliche del territorio attraversato dalla tratta ferroviaria Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi, l'interazione della stessa con il reticolo idrografico e la metodologia di calcolo per il dimensionamento dei suddetti attraversamenti idraulici di nuova realizzazione lungo la variante in uscita della galleria S.Venere.

Sono inoltre riportati i risultati dello studio idrologico condotto al fine di valutare le portate afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento.

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

- individuazione degli attraversamenti idraulici lungo la linea ferroviaria;
- analisi del modello digitale del suolo per la determinazione dei bacini scolanti afferenti ad ogni attraversamento;
- sviluppo della metodologia VAPI per l'individuazione delle portate di verifica e progetto per ogni attraversamento idraulico.

A supporto della progettazione si fa riferimento ai seguenti documenti di pianificazione:

- secondo Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia ed adottato con delibera del Comitato Istituzionale n.25 in data 15.12.2004;
- Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Basilicata.

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 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 della linea ferroviaria Foggia-Potenza. La tratta ferroviaria Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi attraversa il Fiume Ofanto alla progressiva Km 0+388.



Figura 1 - Inquadramento dell'area.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento						
	Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO IAOX	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 001	REV. A

3 INQUADRAMENTO NORMATIVO

In materia di pianificazione idraulica del territorio, le autorità competenti sulla tratta ferroviaria in oggetto sono la Regione Puglia e la Regione Basilicata; per questo motivo il presente studio ha preso in considerazione i seguenti strumenti di pianificazione territoriale in vigore.

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

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

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

- **Aree a bassa probabilità di inondazione (B.P.)** - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) compreso tra 200 e 500 anni.
- **Aree a moderata probabilità di inondazione (M.P.)** - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) compreso tra 30 e 200 anni.
- **Aree ad alta probabilità di inondazione (A.P.)** - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) inferiore o pari a 30 anni.

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

- E5 = agglomerati urbani, aree industriali e/o artigianali, centri abitati estesi, edifici isolati, dighe e invasi idrici, strutture ricreative e campeggi;
- E4 = strade statali, strade provinciali, strade comunali (unica via di collegamento all'abitato) e **linee ferroviarie**;
- E3 = linee elettriche, acquedotti, fognature, depuratori e strade secondarie;
- E2 = impianti sportivi con soli manufatti di servizio, colture agricole intensive;

	CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento						
Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO IA0X	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 001	REV. A	Pag. 8 di 55

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

Le aree di rischio sono classificate come:

- Aree a rischio moderato R1: per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;
- Aree a rischio medio R2: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- Aree a rischio elevato R3: per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture, con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- Aree a rischio molto elevato R4: per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale e la distruzione di attività socioeconomiche.

In Figura 2 è riportata la disposizione planimetrica delle aree a diversa probabilità di esondazione definite dall'AdB della Puglia all'interno del Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico.

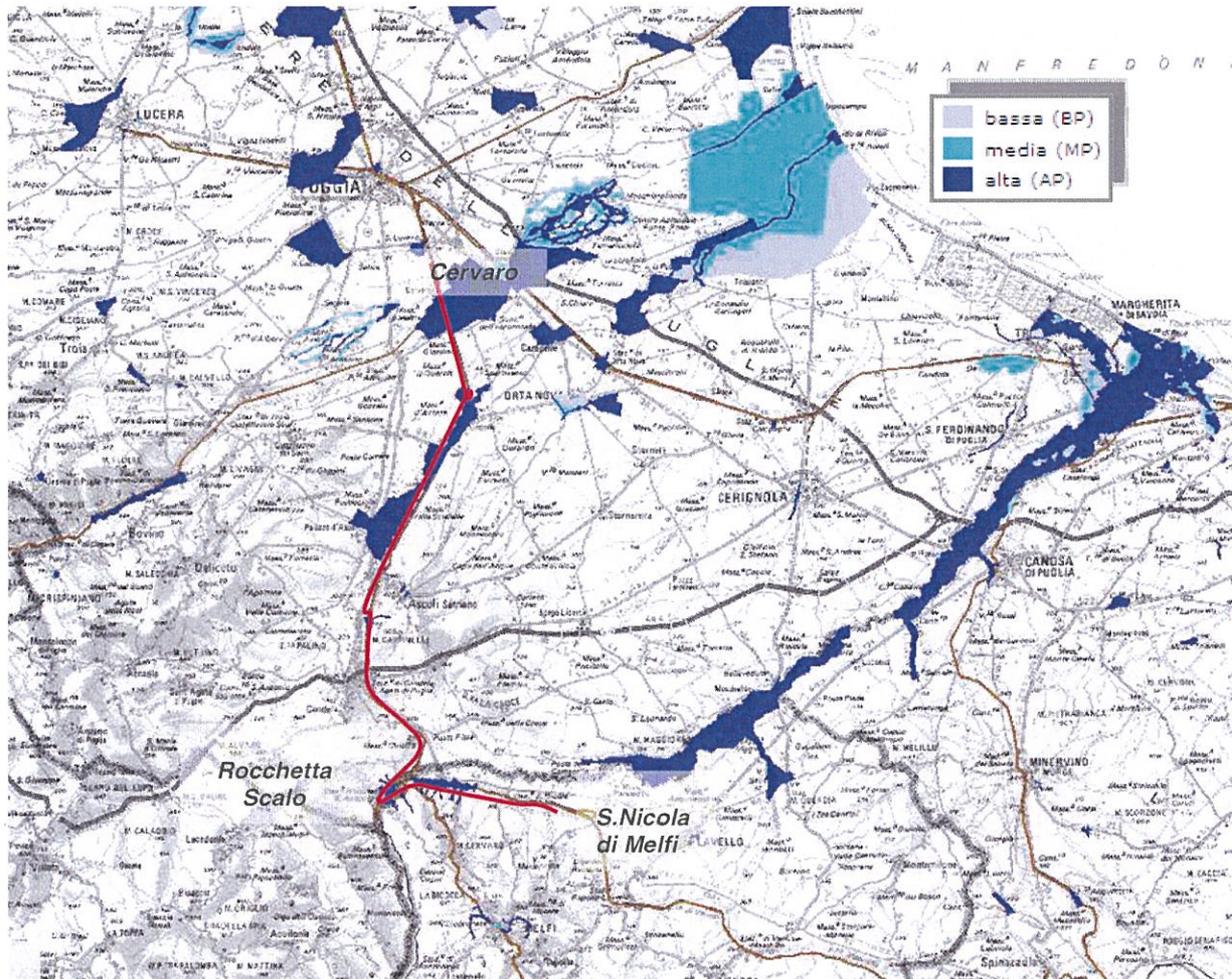


Figura 2 – Aree di rischio e aree di esondazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Puglia, in rosso la tratta ferroviaria Cervaro-Rocchetta-S.Nicola di Melfi.

3.2 Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Basilicata

Come riporta l'art. 5 delle NTA del Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Basilicata, le finalità del Piano sono:

- la individuazione degli alvei, delle aree golenali, delle fasce di territorio inondabili per piene con tempi di ritorno fino a 30 anni, per piene con tempi di ritorno fino a 200 anni e per piene con tempi di ritorno fino a 500 anni, dei corsi d'acqua compresi nel territorio dell'AdB della Basilicata: fiume Bradano, fiume Basento, fiume Cavone, fiume Agri, fiume Sinni, fiume Noce; il PAI definisce prioritariamente la pianificazione delle fasce fluviali del reticolo idrografico principale e una volta conclusa tale attività, la estende ai restanti corsi d'acqua di propria competenza;
- la definizione, per le dette aree e per i restanti tratti della rete idrografica, di una strategia di gestione

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento</p>						
<p>Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica</p>	<p>PROGETTO IAOX</p>	<p>LOTTO 01 D 11</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>OPERA/DISCIPLINA ID0002</p>	<p>PROGR. 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>Pag. 10 di 55</p>

finalizzata a superare gli squilibri in atto conseguenti a fenomeni naturali o antropici, a salvaguardare le dinamiche idrauliche naturali, con particolare riferimento alle esondazioni e alla evoluzione morfologica degli alvei, a salvaguardare la qualità ambientale dei corsi d'acqua attraverso la tutela dell'inquinamento dei corpi idrici e dei depositi alluvionali permeabili a essi direttamente connessi, a favorire il mantenimento e/o il ripristino, ove possibile, dei caratteri di naturalità del reticolo idrografico;

c) la definizione di una politica di minimizzazione del rischio idraulico attraverso la formulazione di indirizzi relativi alle scelte insediative e la predisposizione di un programma di azioni specifiche, definito nei tipi di intervento e nelle priorità di attuazione, per prevenire, risolvere o mitigare le situazioni a rischio.

L'art. 7 delle stesse NTA definisce le fasce di territorio di pertinenza dei corsi d'acqua e le fasce con probabilità di inondazione corrispondente a diversi tempi di ritorno. In particolare:

- le fasce di territorio ad alta frequenza di inondazione, corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 30 anni, sono le parti di territorio, nelle quali esondano piene con tempi di ritorno (Tr) fino a 30 anni, di pericolosità idraulica molto elevata;
- le fasce di territorio con moderata frequenza di inondazione, corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni, sono le parti di territorio, nelle quali esondano piene con tempi di ritorno (Tr) fino a 200 anni, di pericolosità idraulica elevata;
- le fasce di territorio a bassa frequenza di inondazione, corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 500 anni, sono le parti di territorio, nelle quali esondano piene con tempi di ritorno (Tr) fino a 500 anni, di pericolosità idraulica moderata, e le aree destinate dal Piano ad interventi di sistemazione dei corsi d'acqua per lo più da adibire a casse di espansione e aree di laminazione per lo scollo delle piene.

In Figura 3 è riportata la disposizione planimetrica delle aree a diversa probabilità di esondazione definite dall'AdB della Basilicata all'interno del *Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico*. Si nota che le aree di esondazione non interessano la tratta ferroviaria oggetto di studio, se non per una criticità locale nei pressi di Potenza dovuta ad insufficienza del Fiume Basento.

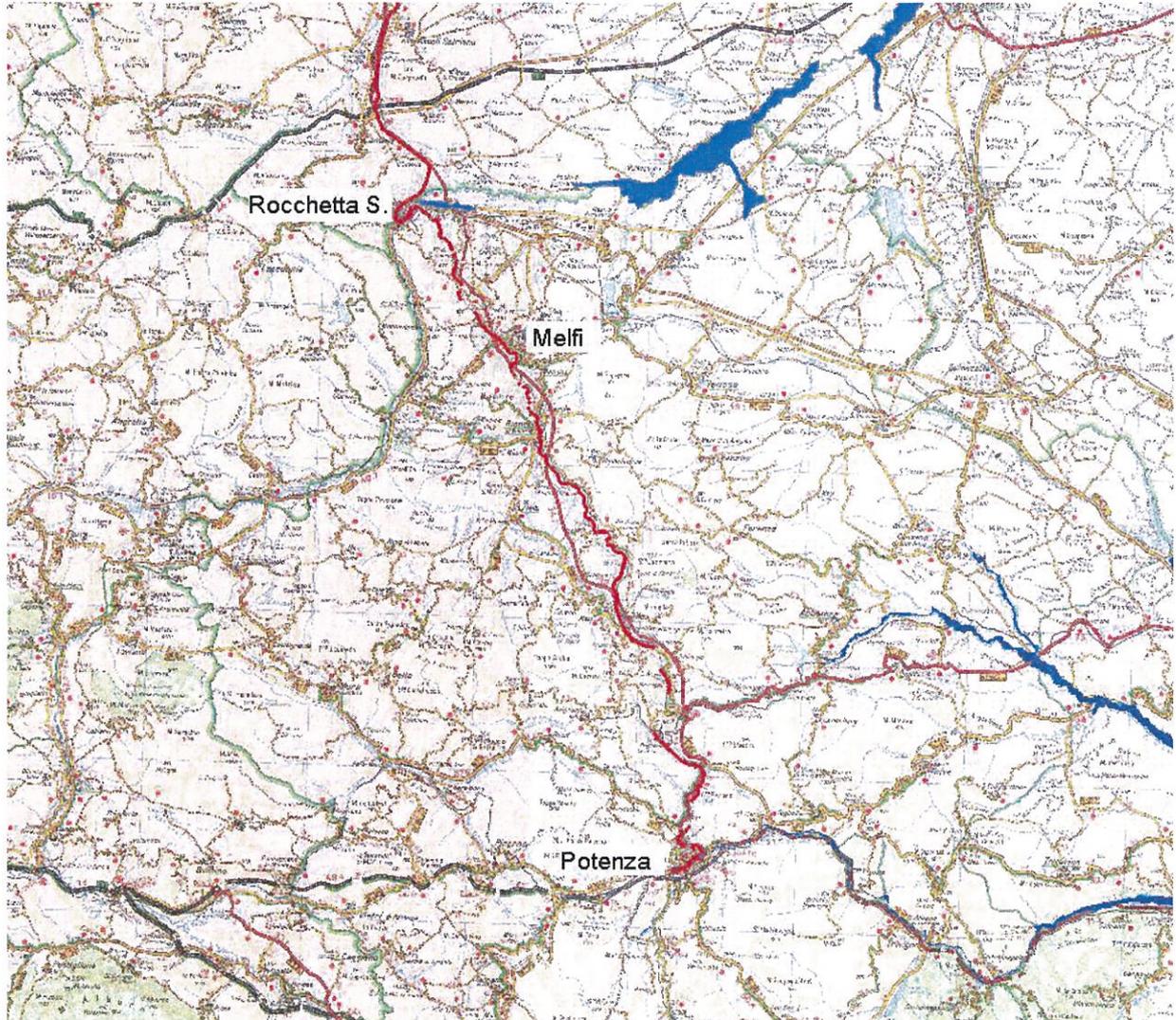


Figura 3 – Aree di rischio e aree di esondazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Basilicata, in rosso la tratta ferroviaria Cervaro-Rocchetta-Potenza.

	CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento						
	Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO IA0X	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 001	REV. A

4 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 del bacino per ciascun attraversamento idraulico oggetto della presente relazione 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).

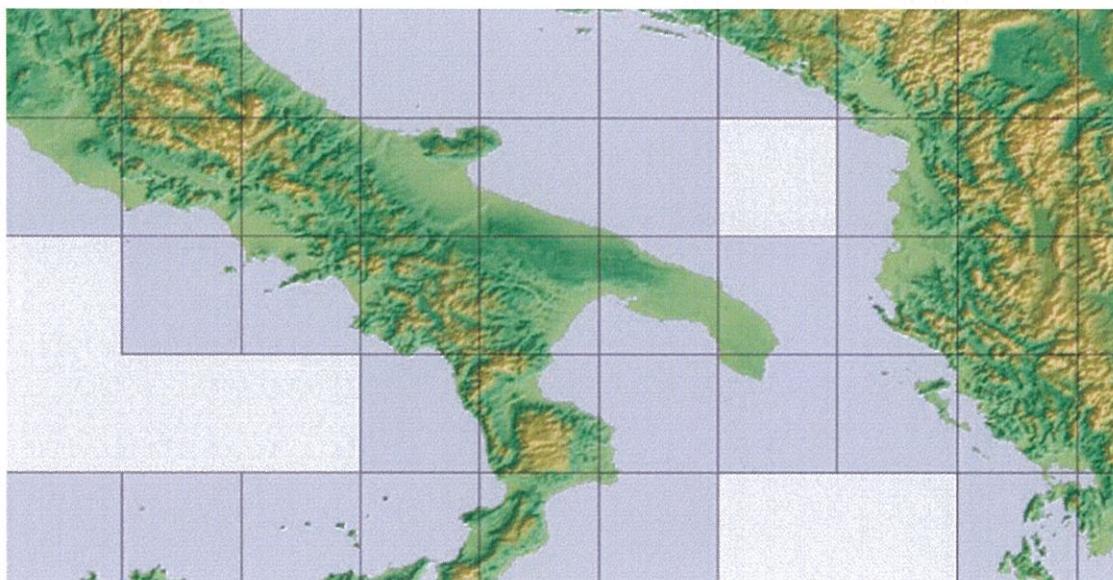


Figura 4 – DEM della Nasa

- 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.

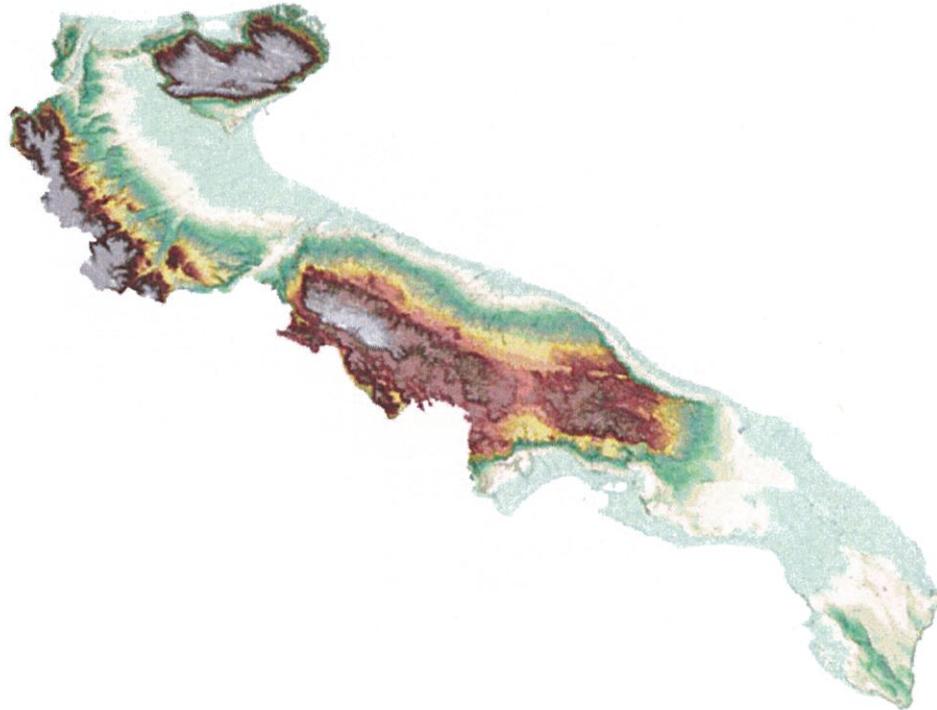


Figura 5 - DTM della Regione Puglia.

Grazie a queste informazioni sono stati costruiti i DTM (Digital Terrain Map) di diverso dettaglio, che hanno consentito la ricostruzione della rete idrografica e la perimetrazione dei bacini di tutti gli 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.

4.1 L'individuazione degli attraversamenti idraulici lungo la tratta ferroviaria Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi

Nella Tabella 1 è riportato l'elenco degli attraversamenti idraulici lungo la tratta Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi oggetto di intervento.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento						
	Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO IA0X	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 001	REV. A

Tabella 1 – Elenco degli attraversamenti idraulici oggetto di intervento: progressive relative alla linea storica Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi e Rocchetta - Potenza.

Progressive	
Linea Rocchetta Scalo - San Nicola di Melfi	Linea Rocchetta - Potenza
0+915	50+219
1+031	50+335

Nella Tabella 2 sono riportate le aree dei bacini idrografici afferenti alle due opere in progetto.

Tabella 2 – Aree dei bacini afferenti agli attraversamenti idraulici oggetto di intervento. Le progressive tra parentesi si riferiscono alla linea Rocchetta – Potenza.

Progressive	A [km ²]
0+915 (50+219)	0.04
1+031 (50+335)	0.15

Per l'identificazione dei bacini idrografici, con indicazione dei relativi attraversamenti, si rimanda all'Allegato 1 alla presente relazione.

5 MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE E DELLE PORTATE

5.1 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, Λ_1 , Θ_1 , Λ_2 e Θ_2 . I parametri contraddistinti dal pedice 1 sono relativi agli eventi più frequenti (componente base) mentre quelli con pedice 2 si riferiscono ad eventi più gravosi e rari (componente straordinaria). Ognuna delle due componenti è, a tutti gli effetti, una legge di Gumbel.

I parametri Λ_1 e Λ_2 esprimono, rispettivamente per le due componenti, il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori ad una soglia. I parametri Θ_1 e Θ_2 esprimono invece la media di tali eventi.

Spesso è utile fare riferimento, anziché alla X, alla variabile standardizzata

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

caratterizzata dalla funzione di probabilità cumulata:

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

nella quale risulta:

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

L'espressione completa della funzione di probabilità cumulata della TCEV può essere ulteriormente

semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_i)$ dove con $\mu(X_i)$ 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 Λ^* , Θ^* , Λ_1 e Θ_1 , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

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

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

5.2 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 Λ , Θ , e Λ_1 ed è quindi indipendente da Θ_1 , mentre il coefficiente di asimmetria teorico dipende da Λ , e Θ , ed è quindi indipendente da Λ_1 e Θ_1 .

La stima su base regionale di parametri dipendenti da momenti di ordine elevato si rende necessaria in quanto i coefficienti di asimmetria e di variazione campionari, espressi rispettivamente dalle relazioni:

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

stimati dalle serie storiche dei massimi annuali delle portate istantanee, o delle piogge di fissata durata, presentano una variabilità spaziale che nell'ambito di vaste aree non è superiore alla variabilità campionaria. In altri termini, presentano variabilità campionaria molto elevata, ma bassa variabilità spaziale.

Ciò consente di ipotizzare l'esistenza di regioni nelle quali si può ammettere che i valori teorici di tali momenti siano costanti. Per le relazioni di cui si è detto in precedenza si ha come conseguenza la costanza dei parametri del modello TCEV direttamente legati ai suddetti momenti campionari.

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

livelli:

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 Λ^* e Θ^* del modello TCEV nella medesima zona.

Inoltre in una regione omogenea rispetto a Λ^* e Θ^* , risulta unica la funzione di probabilità cumulata della variabile standardizzata Y , in quanto essa dipende soltanto dai due suddetti parametri del modello. In assenza di dati sufficienti a mettere in discussione localmente la validità di questa assunzione, si pone che ovunque Λ^* e Θ^* assumano i valori calcolati nell'ambito della zona unica.

II° Livello di regionalizzazione

Al secondo livello di regionalizzazione si assume che la regione omogenea rispetto a Λ , e Θ , possa suddividersi in 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 Λ_1 , nella sottozona omogenea, oltre che di Λ , e Θ . Il valore di Λ_1 relativo alla sottozona va stimato utilizzando tutti i dati disponibili nella zona.

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a Λ_1 la variabile $K_{i,T_T} = X_{i,T_T} / \mu(X_i)$ 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 $\mu(X_i)$ (valore indice) alle caratteristiche fisiche di interesse.

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

	CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento						
Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO IA0X	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 001	REV. A	Pag. 18 di 55

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento						
	Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO IAOX	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 001	REV. A

6 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 2° Livello di regionalizzazione

Nell'*Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia* condotta sulle piogge giornaliere, è stata accolta l'ipotesi secondo la quale le stazioni appartengano ad una zona unica, al primo livello nella zona settentrionale, entro la quale si possano ritenere costanti i valori teorici dei parametri Λ_1 e Θ_1 .

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

Piogge	$\Theta_1=2.352$	$\Lambda_1=0.772$	$\Lambda_1=45$
--------	------------------	-------------------	----------------

Tabella 3 - Parametri del VAPI per il 1° e 2° livello di regionalizzazione per la zona in esame ricavata dall'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia.

L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione ha

consentito dunque, conoscendo Λ_1 , Λ_* e Θ_* , la determinazione delle curve regionali di crescita della precipitazione.

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

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

In cui:

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

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

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 4 – 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.

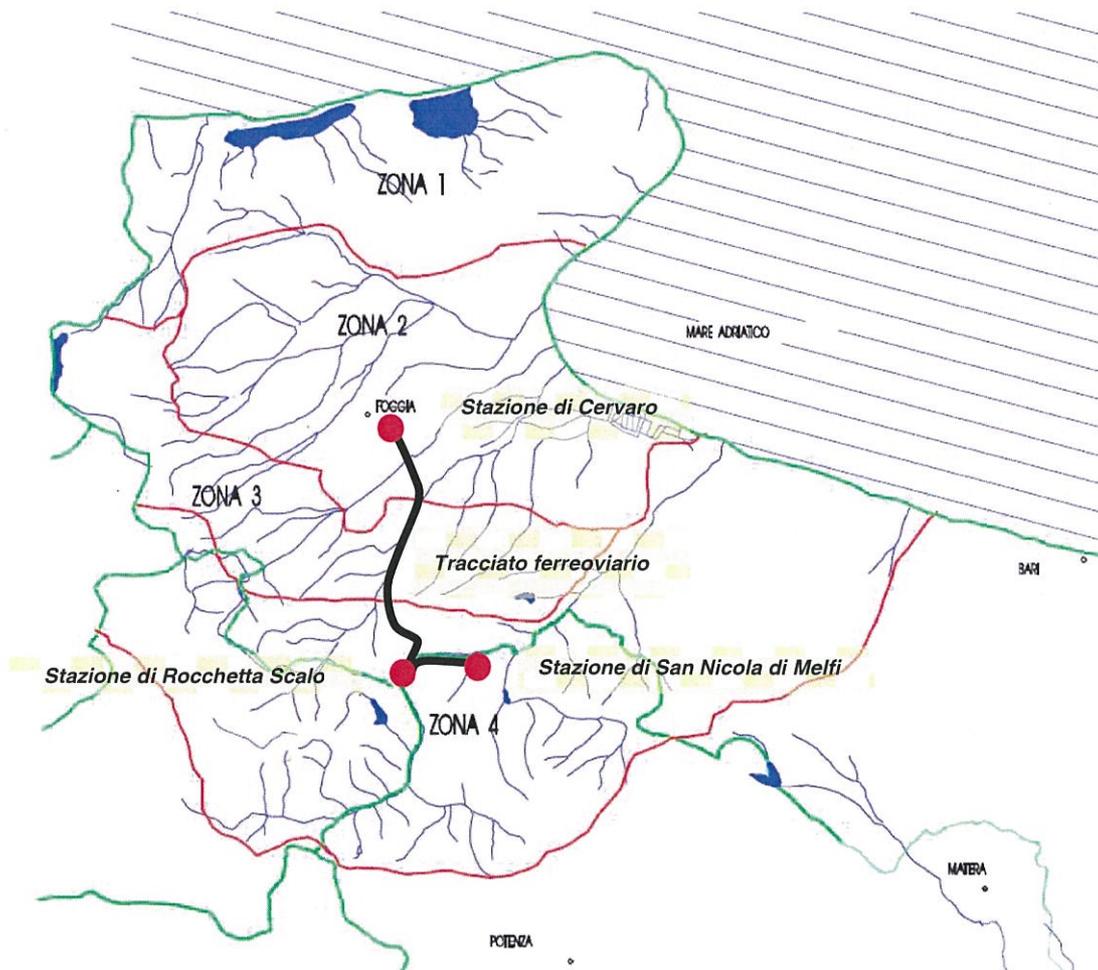


Figura 6 – Zone omogenee rispetto al valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere.

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:

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

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

I valori dei parametri sono riportati nella Tabella 59.

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

Tabella 5 - 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'altitudine media rappresentativa dell'area scolante stessa.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento</p>						
<p>Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica</p>	<p>PROGETTO IAOX</p>	<p>LOTTO 01 D 11</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>OPERA/DISCIPLINA ID0002</p>	<p>PROGR. 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>Pag. 23 di 55</p>

7 DEFINIZIONE DELLE PORTATE

7.1 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 a tale 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 6 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.

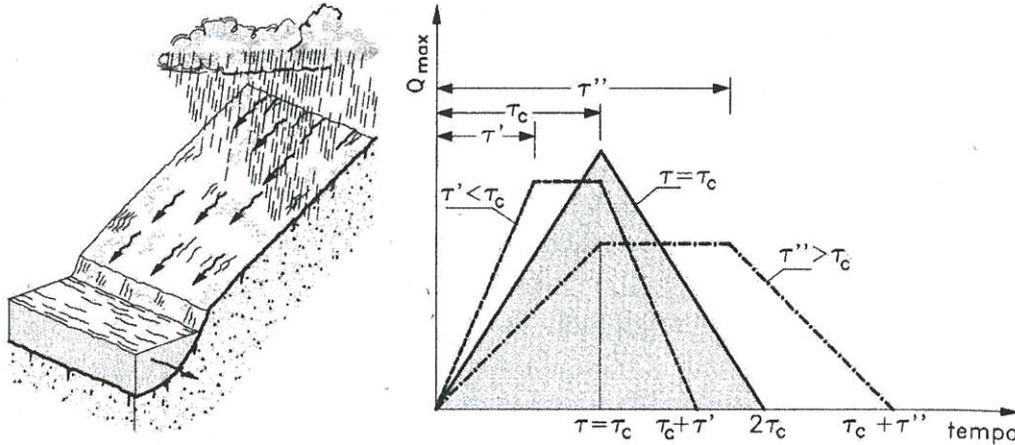


Figura 7 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.

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

- ϕ = coefficiente adimensionale di deflusso (o di riduzione);
- A = superficie del bacino [km²];
- $h(\tau, T)$ = altezza di pioggia netta di durata e tempo di ritorno prefissati [mm];
- τ = 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 km²:

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

con:

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

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

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

H_0 = quota della sezione di chiusura [m s.m.m.].

La formula di Giandotti ha il pregio, rispetto ad altre relazioni, di comprendere nei parametri utilizzati per il calcolo del tempo di corrivazione diverse caratteristiche dei bacini analizzati. Questo garantisce una ricostruzione dei tempi di corrivazione basata sui principali parametri dei bacini.

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^2 :

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

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 6). 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 6 - 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 km²:

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

	CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento						
	Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
	IAOX	01 D 11	RI	ID0002	001	A	27 di 55

7.2 Portate in corrispondenza degli attraversamenti idraulici oggetto di intervento.

Per l'attraversamento idraulico alla progressiva km 0+915 è stato possibile stimare le caratteristiche geomorfologiche utili per il calcolo del tempo di corrivazione e, quindi, delle portate di progetto. In Tabella 7 si riportano le caratteristiche del bacino afferente all'attraversamento alla progressiva km 0+915.

Per l'attraversamento alla progressiva km 1+031, invece, non è stato possibile stimare le suddette caratteristiche geomorfologiche utili per il calcolo del tempo di corrivazione del bacino afferente; esso è stato quindi considerato come compluvio minore ovvero come parte sommitale di un bacino idrografico che si chiuderebbe a valle della linea ferroviaria. La portata di progetto dell'attraversamento idraulico a cui corrisponde un compluvio minore è stata determinata attraverso la stima di una relazione tra la portata al colmo Q e la superficie scolante S per bacini geomorfologicamente, geologicamente e pluviometricamente simili.

Tabella 7 - Caratteristiche geomorfologiche del bacino idrografico afferente all'attraversamento al km 0+915.

Progr.	Area [km ²]	ZONA PLUVIO	L [km]	H _{top} [m s.m.m.]	H ₀ [m s.m.m.]	H _{medio} [m s.m.m.]	i _m
0+915 (50+219)	0.04	Zona 4	0.19	269.0	226.0	247.5	0.152

Tutti gli attraversamenti oggetto di intervento presentano bacini caratterizzati da una estensione inferiore a 10km²; pertanto, per il calcolo del tempo di corrivazione sono state sfruttate 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 (200 o 300 anni a seconda dell'estensione del bacino analizzato).

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 km²;
- $\phi = 0.45$ per bacini di estensione compresa tra 2 km² e 10 km²;
- $\phi = 0.50$ per bacini molto piccoli (superficie inferiore ai 2 km²) e pendenza superiore all'1%.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento						
	Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO IA0X	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 001	REV. A

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.

Si sono assunti per bacini con determinate caratteristiche (ad esempio per i bacini molto piccoli con pendenza superiore all'1%) dei coefficienti di deflusso piuttosto alti.

I risultati del calcolo del tempo di corrivazione e della precipitazione corrispondente, ricavata con la metodologia VAPI, sono riportati nella Tabella 8.

Tabella 8 - Elenco dei tempi di corrivazione relativi al bacino afferente all'attraversamento idraulico alla progressiva km 0+915.

Progressiva	Area [km ²]	tc Giandotti [ore]	tc Pasini [ore]	tc Pezzoli [ore]	tc Ventura [ore]	tc Kerby [ore]	tc Puglisi [ore]	tc medio [ore]	C
0+915 (50+219)	0.04	-	0.05	0.03	0.07	0.25	-	0.10	0.50

A partire dal tempo di corrivazione sono state individuate anche le portate attraverso il modello cinematico. In Tabella 9 si riportano le altezze di pioggia relative a differenti tempi di ritorno.

Tabella 9 - Elenco delle precipitazioni relative a differenti tempi di ritorno per il bacino afferente all'attraversamento idraulico alla progressiva km 0+915.

Progressiva	Area [km ²]	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
0+915 (50+219)	0.04	20.7	24.7	27.0	29.9	33.8	37.6	40.0

In Tabella 10 sono elencate le portate di riferimento per il bacino afferente all'attraversamento idraulico alla progressiva km 0+915.

Tabella 10 - Elenco delle portate calcolate per Tr 10, 50, 100, 200 e 300 anni relative all'attraversamento idraulico alla progressiva km 0+915.

Progressiva	Area [km ²]	Q [m ³ /s] Tr=10	Q [m ³ /s] Tr=50	Q [m ³ /s] Tr=100	Q [m ³ /s] Tr=200	Q [m ³ /s] Tr=300
0+915	0.04	1.17	1.69	1.91	2.13	2.26

La portata di progetto relativa all'attraversamento idraulico alla progressiva km 1+031, a cui corrisponde un compluvio minore, è stata determinata mediante la 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 nel compluvio minore 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; i bacini di riferimento sono tutti quelli che afferiscono alla tratta Cervaro – Rocchetta e Rocchetta San Nicola di Melfi (solo parte di questi è oggetto di intervento nell'ambito di appalti distinti). 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 . Il compluvio minore relativo all'attraversamento idraulico alla progressiva km1+031 ricade 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.

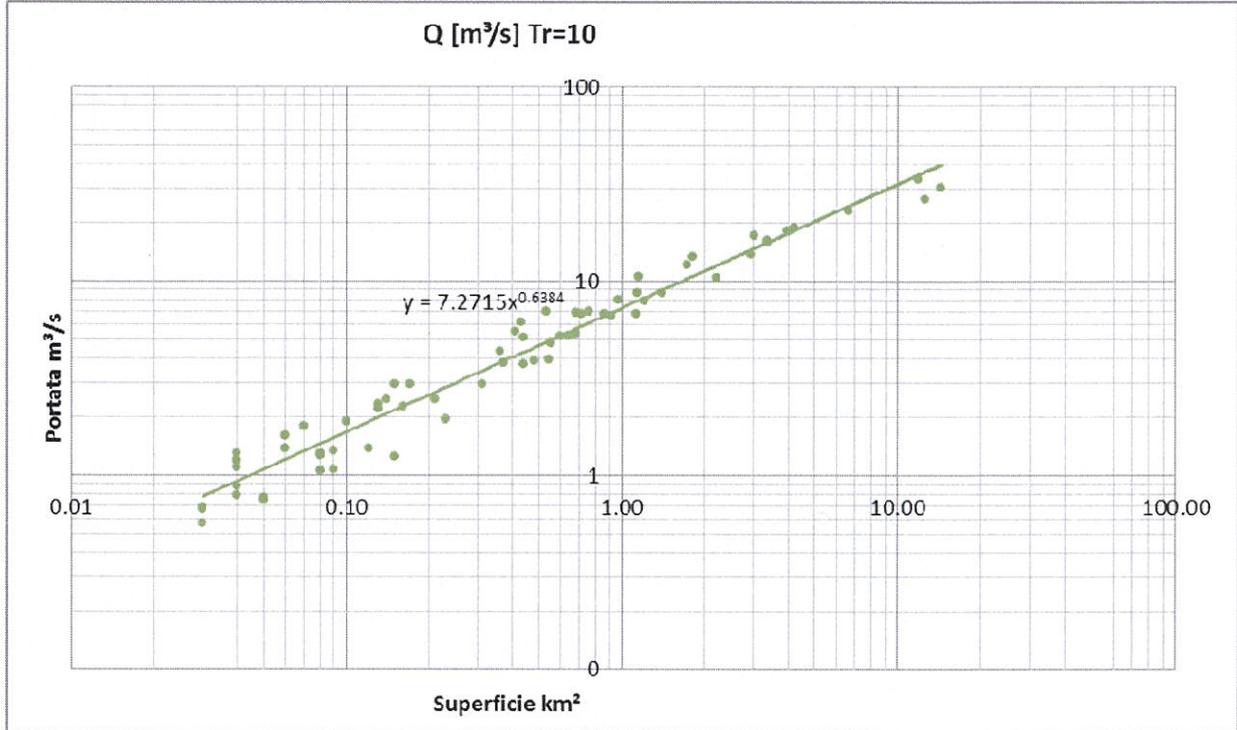


Figura 8 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 10$ anni.

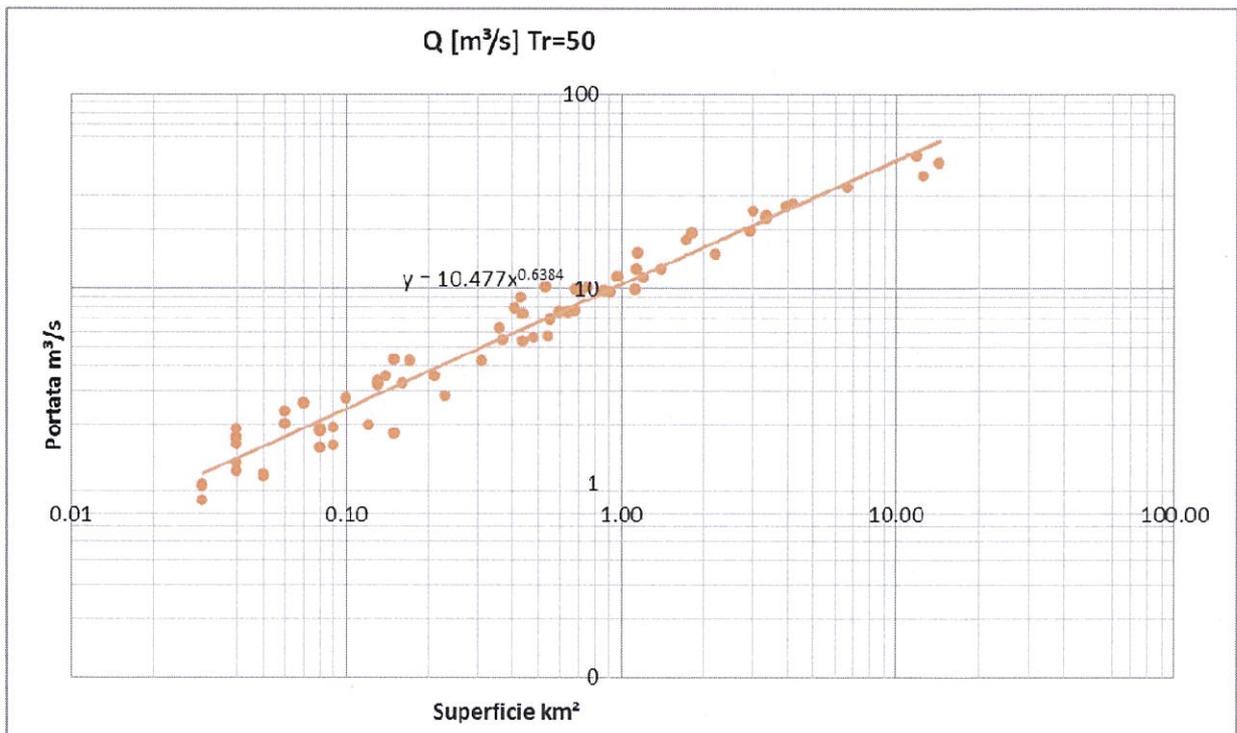


Figura 9 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 50$ anni.

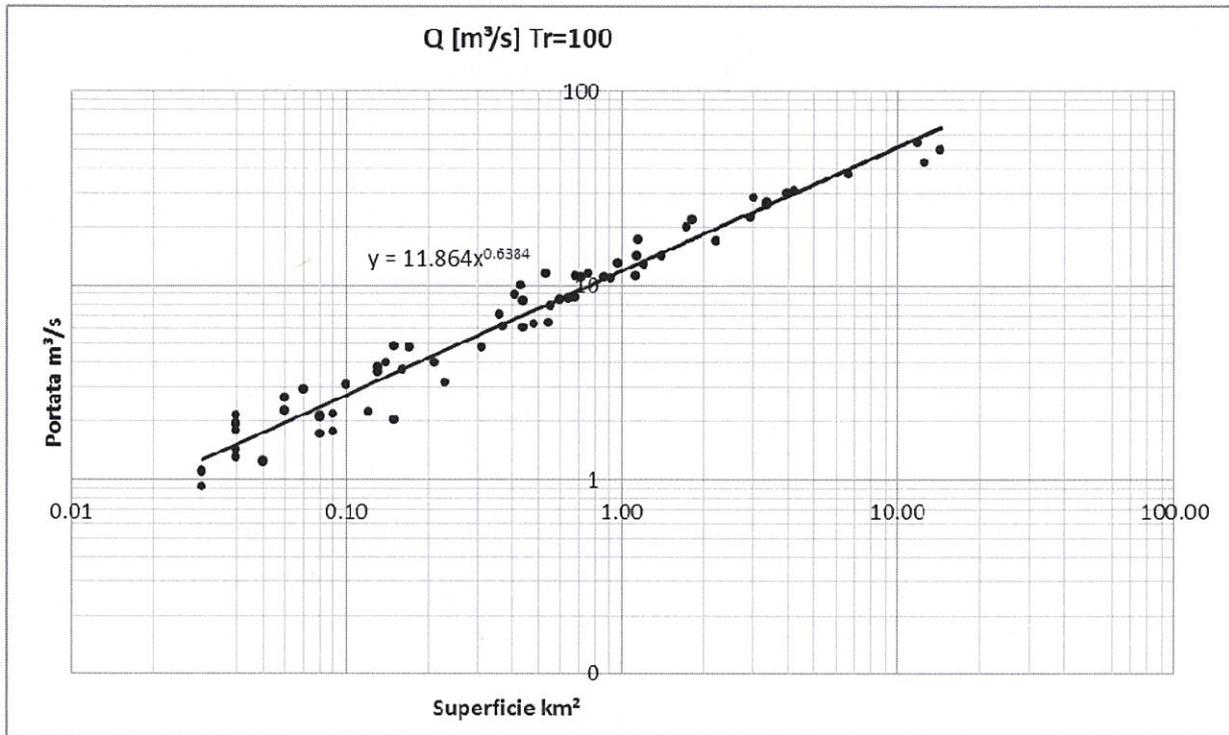


Figura 10 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 100$ anni.

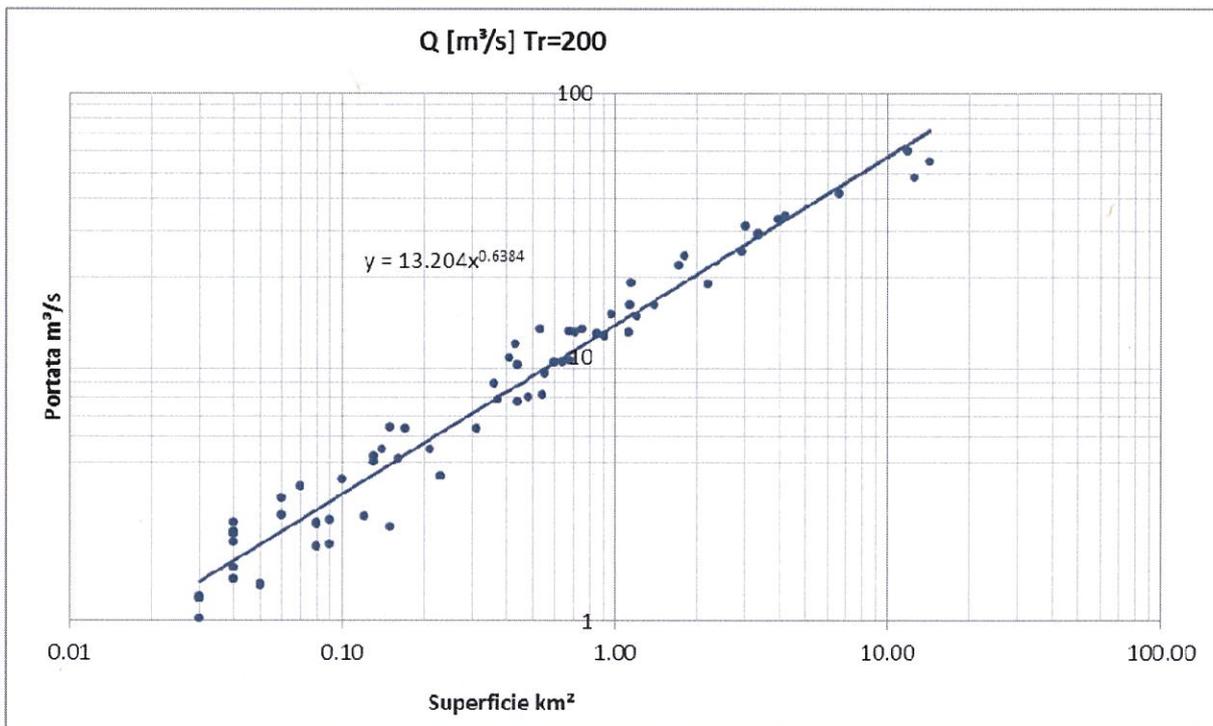


Figura 11 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 200$ anni.

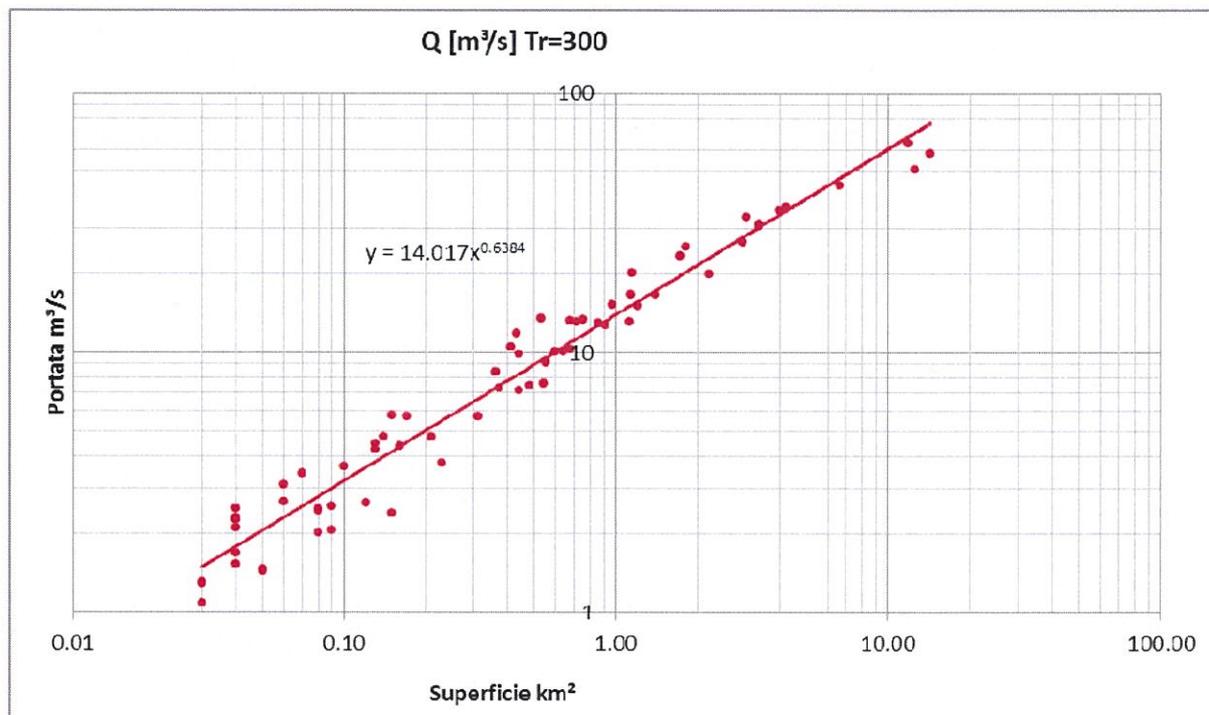


Figura 12 – Grafico $Q=cS^n$ per i risultati del modello cinematico per $Tr = 300$ anni.

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.

Nelle tabella seguente si riportano i risultati per il compluvio minore afferente all'attraversamento idraulico alla progressiva km 1+031 oggetto di intervento.

**Variante Rocchetta - Opere minori di nuova
 realizzazione - Relazione idrologico-idraulica**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	01 D 11	RI	ID0002	001	A	33 di 55

Tabella 11 – Compluvio minore afferente all'attraversamento idraulico alla progressiva km 1+031: portate desunte dalla formulazione $Q=cS^n$ per gli attraversamenti della tratta Cervaro - Rocchetta Scalo. La progressiva tra parentesi si riferisce alla linea Rocchetta – Potenza.

Progressiva	Area [km ²]	Q [m ³ /s] Tr=10	Q [m ³ /s] Tr=50	Q [m ³ /s] Tr=100	Q [m ³ /s] Tr=200	Q [m ³ /s] Tr=300
1+031 (50+335)	0.15	2.17	3.12	3.53	3.93	4.18

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento						
	Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO IA0X	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 001	REV. A

8 VERIFICHE IDRAULICHE

8.1 Metodologia

In accordo con il manuale di progettazione ferroviaria, i manufatti di attraversamento oggetto della presente relazione sono dimensionati in modo da garantire lo smaltimento di portate associate a eventi di pioggia con **tempi di ritorno (Tr) pari a 200 anni**. I bacini scolanti afferenti agli attraversamenti secondari oggetto della presente relazione hanno tutti estensione inferiore a 10 km². Per l'identificazione dei bacini idrografici afferenti a ciascun attraversamento e per il calcolo delle relative portate di riferimento della tratta Cervaro – Rocchetta Scalo – San Nicola di Melfi si rimanda agli specifici elaborati allegati alla presente relazione (Allegato 1). Le portate associate ad eventi di pioggia con periodo di ritorno 200 anni per ciascuno degli attraversamenti oggetto della presente relazione sono riportate nelle Tabella 12.

Nel dimensionare le opere si è imposto di non restringere le sezioni del corso d'acqua esistente verificando inoltre che i massimi livelli idrici per l'evento di progetto non determinino gradi di riempimento dei manufatti di attraversamento idraulico superiori al 70% dell'altezza libera dell'opera durante il normale funzionamento, né velocità superiori a 3.5m/s.

Il dimensionamento degli attraversamenti idraulici oggetto della presente relazione si inserisce nell'ambito dei progetti di elettrificazione, ammodernamento e velocizzazione della linea Foggia-Potenza i quali non prevedono modifiche dell'attuale livelletta se non nei tratti da realizzare in variante all'attuale tracciato ferroviario. Pertanto, al fine di garantire soluzioni di progetto compatibili con l'attuale livelletta della linea storica è talvolta necessario abbassare la quota di posa del manufatto rispetto alla quota attuale e riprofilare l'alveo a monte e/o valle dell'attraversamento. Nei casi in cui tale abbassamento e riprofilatura non risulta possibile, vengono utilizzati manufatti di dimensioni minori di $\varnothing 1500$ e 2.0x2.0m (dimensioni minime previste dal Manuale di Progettazione Ferroviaria).

Le verifiche degli attraversamenti idraulici sono state effettuate attraverso un modello monodimensionale (Hec-Ras) in regime di moto permanente.

Tabella 12 – Manufatti di attraversamento lungo i tratti in variante all'attuale tracciato ferroviario.

Progressive	Q (Tr=100) [m ³ /s]	Q (Tr=200) [m ³ /s]
0+915	1.91	2.13
1+031	3.53	3.93

8.1.1 Verifica idraulica in moto permanente

Lo studio idraulico degli attraversamenti idraulici oggetto di intervento è stato effettuato mediante l'implementazione e l'applicazione di un modello idraulico (HEC-RAS) monodimensionale.

La geometria dell'alveo è stata ricavata da un rilievo aerofotogrammetrico (scala 1:2000) di un'area a ridosso della linea ferroviaria, da un rilievo celerimetrico di dettaglio delle opere di attraversamento esistenti e dell'alveo a monte e valle di queste.

Il modello di simulazione monodimensionale permette di indagare le altezze d'acqua per diversi valori della portata di riferimento, nelle diverse sezioni in cui è stato discretizzato il corso d'acqua, tenendo conto anche degli effetti localizzati delle opere idrauliche presenti.

Il modello idraulico HEC-RAS prodotto dall'Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers è un modello utilizzato diffusamente nelle applicazioni idrauliche di vario genere data la sua versatilità e la relativa facilità di gestione e organizzazione delle informazioni oltre che la sua affidabilità.

Il software HEC-RAS consente, sulla base delle informazioni geometriche del corso d'acqua (sezioni trasversali e opere che insistono sullo stesso), di effettuare delle simulazioni sia a moto permanente che a moto vario. Le impostazioni del modello consentono di definire le caratteristiche principali della sezione: oltre alla geometria della stessa, descritta mediante coppie di valori progressiva-quota, è possibile indicare la posizione degli eventuali argini presenti, le zone di non-deflusso, le eventuali ostruzioni al flusso, i valori della scabrezza dell'alveo in diverse zone della sezione.

Per eseguire una simulazione è necessario specificare le condizioni al contorno: tipicamente valori delle portate a monte e nelle sezioni in corrispondenza all'ingresso di affluenti, valore dei livelli a valle.

Il programma, al termine della simulazione, fornisce come risultato il valore delle diverse grandezze idrauliche (altezza d'acqua, altezza della linea dell'energia, velocità media, ecc..) in ogni sezione. I risultati possono essere visualizzati sotto forma di profilo longitudinale o in forma tabellare ed essere quindi facilmente esportati ed utilizzati in altri applicativi per successive analisi.

Per una descrizione più dettagliata del modello HEC-RAS si rimanda all'Appendice A.

Le verifiche idrauliche sono state sviluppate con riferimento ad uno scenario che ipotizza un perfetto stato manutentivo, sia dell'attraversamento sia delle inalveazioni di monte e di valle, supponendo l'assenza di qualsiasi elemento che possa ostacolare il deflusso idrico come ad esempio restringimenti dell'alveo o manufatti posti a valle dell'attraversamento ferroviario.

Le perdite di carico per attrito del fondo sono regolate dai coefficienti di Manning, mentre le perdite per restringimento e allargamento causate dalla presenza dell'opera di attraversamento sono stimate usando coefficienti di contrazione ed espansione del moto della corrente.

	CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento						
Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO IA0X	LOTTO 01 D 11	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0002	PROGR. 001	REV. A	Pag. 36 di 55

Come coefficienti di contrazione ed espansione, in corrispondenza degli attraversamenti è stato utilizzato il medesimo valore, posto pari a 0.5.

Non essendo noti dei valori di pelo libero per definite portate, utili per una taratura del modello, si è optato per l'introduzione, come condizione al contorno di monte e valle, della pendenza media dell'alveo/piano campagna a monte e valle del tratto in esame.

8.2 Risultati

Nel seguito sono descritte le principali caratteristiche di ciascun attraversamento di progetto. In particolare sono riportate:

- il periodo di ritorno;
- la portata di progetto;
- numero e dimensioni dei manufatti;
- pendenza;
- tirante idrico;
- grado di riempimento;
- velocità della corrente transitante.

Per ciascun attraversamento è da prevedersi la risagomatura dell'alveo all'imbocco e allo sbocco del manufatto di attraversamento come di seguito riportato.

Per la stima dei coefficienti di scabrezza secondo Manning, da attribuire ad ogni sezione fluviale, si è fatto riferimento ai parametri riportati in letteratura [e.g. Chow V.T., Open Channel Hydraulics, McGraw Hill, New York, 1959]. In particolare i valori dei coefficienti di Manning utilizzati nel dimensionamento dei fossi di guardia sono:

- 0.02 fossi di guardia in cls;
- 0.022 fossi di guardia rivestiti in materassi reno;
- 0.033 fossi di guardia in terra non rivestiti.

A. CORSI D'ACQUA NATURALI			
<i>Corsi d'acqua minori (tirante inferiore a 3,5m)</i>			
1. Corsi d'acqua di pianura			
a.	Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati	0.025	0.030 0.033
b.	Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati, con sassi e sterpaglia	0.030	0.035 0.040
c.	Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi	0.033	0.040 0.045
d.	Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e pietre	0.035	0.045 0.050
e.	Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, in magra	0.040	0.048 0.055
f.	Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e più pietrame	0.045	0.050 0.060
g.	Tratti lenti, sterpaglia e buche profonde	0.050	0.070 0.080
h.	Tratti molto erbosi, buche profonde e grossi arbusti e cespugli	0.070	0.100 0.150
2. Aree golenali			
a.	A pascolo senza vegetazione arbustiva	0.025	0.030 0.050
b.	Aree coltivate	0.020	0.035 0.050
c.	Con vegetazione arbustiva spontanea	0.035	0.070 0.160
d.	Con vegetazione arborea coltivata	0.030	0.060 0.120
3. Corsi d'acqua montani, senza vegetazione in alveo, sponde ripide alberi e cespugli lungo le sponde sommergibili durante le piene			
a.	Fondo: ghiaia, ciottoli e massi sparsi	0.030	0.040 0.050
b.	Fondo: ciottoli e massi grossi	0.040	0.050 0.070
B. CANALI ARTIFICIALI			
1. Canali in terra lisciata ed uniforme			
a.	Puliti, scavata di recente	0.016	0.018 0.020
b.	Puliti, dopo prolungata esposizione	0.018	0.022 0.025
c.	Ghiaia, sezione uniforme, pulita	0.022	0.025 0.030
d.	Erba corta, pochi cespugli	0.022	0.027 0.033
2. Canali in terra con ondulazioni o irregolari			
a.	Senza vegetazione	0.023	0.025 0.030
b.	Con erba e pochi cespugli	0.025	0.030 0.033
c.	Cespugli o piante acquatiche in canali profondi	0.030	0.035 0.040
d.	Fondo in terra e sponde in pietrisco	0.028	0.030 0.035
e.	Fondo in pietrame e sponde in cespugli	0.025	0.035 0.040
f.	Fondo in ciottoli e sponde pulite	0.030	0.040 0.050
3. Canali scavati o dragati			
a.	Senza vegetazione	0.025	0.028 0.033
b.	Cespugli sparsi sulle sponde	0.035	0.050 0.060
4. Canali in roccia			
a.	Lisci ed uniformi	0.025	0.035 0.040
b.	Frastagliati ed irregolari	0.035	0.040 0.050
5. Canali senza manutenzione, sterpaglia e cespugli			
a.	Sterpaglia densa, alta quanto il tirante idrico	0.040	0.050 0.080
b.	Fondo pulito cespugli sulle sponde	0.045	0.070 0.110
c.	Fondo pulito, cespugli sulle sponde, in piena	0.050	0.080 0.120
d.	Cespugli densi ed acque profonde	0.080	0.100 0.140

Tabella 13 - Valori dei coefficienti di scabrezza di Manning, n , relativi ad alvei naturali (Open-Channel Hydraulics, CHOW, 1959)

8.2.1 Attraversamento idraulico Km 0+915 linea Rocchetta - S. Nicola di Melfi (Km 50+219 linea Rocchetta-Potenza)

L'attraversamento in progetto è situato in corrispondenza del bivio per le direzioni S. Nicola di Melfi e Potenza; la simulazione è stata effettuata modellando un unico manufatto collocato sotto le due linee. Nel modello è stato inserito anche l'attraversamento idraulico relativo alla viabilità immediatamente a valle della ferrovia. Il piano di scorrimento della corrente è stato abbassato fino alla quota 223.34m. A monte dell'attraversamento la soluzione di progetto prevede una sezione rettangolare di larghezza $B=2.0m$ per circa 10.50m e l'introduzione di due salti di 1.5m rispettivamente a 3.5m e 6.5m dall'imbocco dell'attraversamento idraulico. A valle dell'attraversamento la soluzione di progetto prevede la riprofilatura

dell'alveo con sezione trapezia 0.5x1.0m (B=2.5m) in cls e pendenza del 6% per circa 20m. Al termine della riprofilatura è da prevedersi una protezione in materassi di tipo 'Reno' per una lunghezza di 10m.

Tabella 14 – Principali caratteristiche dell'attraversamento idraulico alla progressiva km 0+915

Progressiva	Tr	Q(Tr)	N° tombini	Dimensioni	Pendenza	Tirante idrico [m]	Grado di riempimento	Velocità [m/s]
0+915	200	2.13	1	Scotolare 2.0x2.0m	0.2%	0.72	36%	1.48

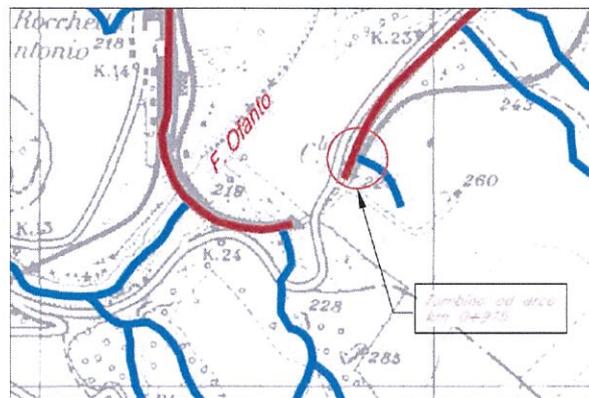


Figura 13 – km 0+915: Inquadramento planimetrico dell'attraversamento

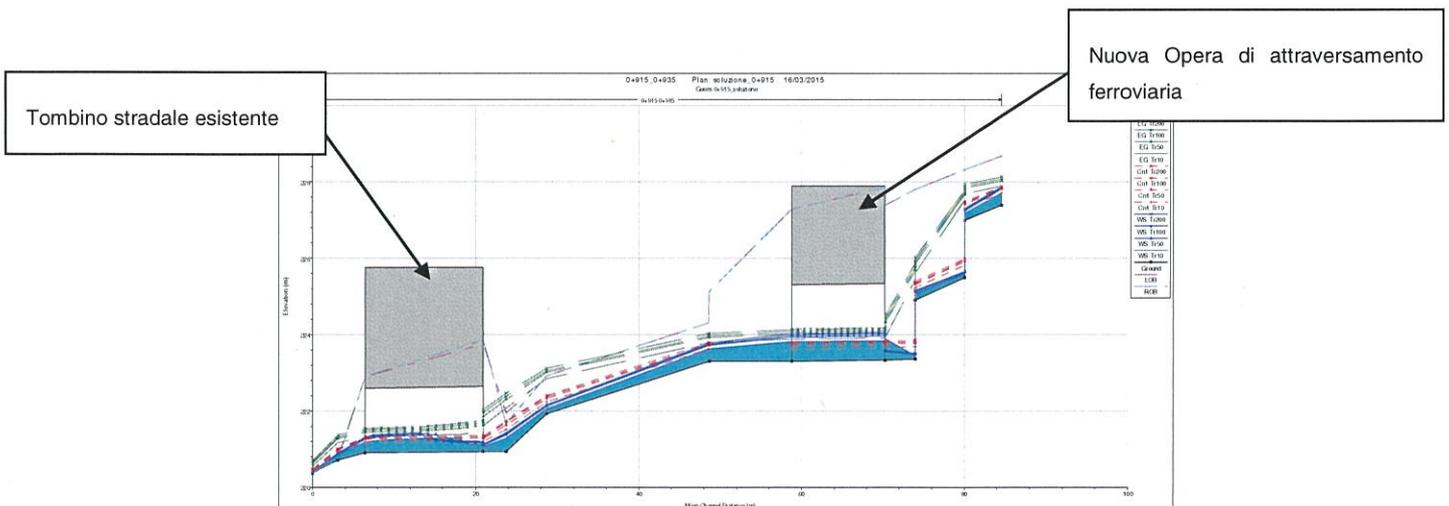


Figura 14 - Profilo livelli idrici per diversi Tr pari a 10, 50, 100 e 200 anni.

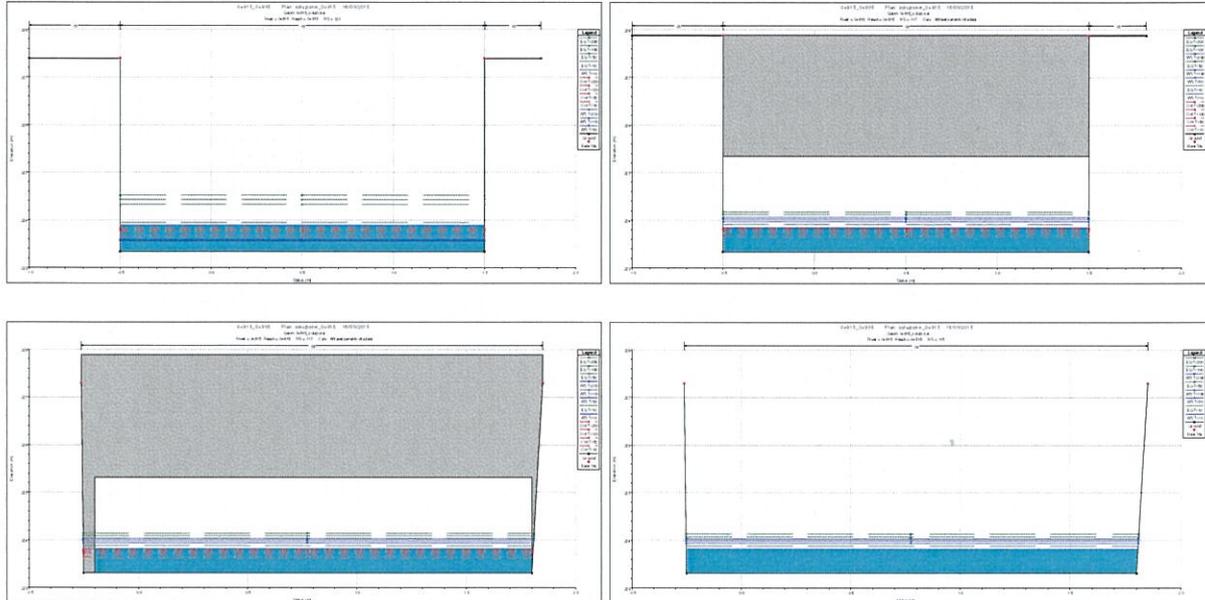


Figura 15 - Sezioni immediatamente a monte, in corrispondenza di e immediatamente a valle dell'attraversamento 0+915: indicazione dei livelli idrici per diversi Tr pari a 10, 50, 100 e 200 anni.

Profile Output Table - Culvert Only									
HEC-RAS Plan: soluzione 0+915 River: 0+915 Reach: 0+915									
Reach	River Sta	Profile	Q Culv (m ³ /s)	E.G. US. (m)	E.G. DS (m)	W.S. US. (m)	Culv Vel US (m/s)	Culv Vel DS (m/s)	
0+915	35	Culvert #1	Tr10	1.17	221.62	221.32	221.07	2.59	1.67
0+915	35	Culvert #1	Tr50	1.69	221.86	221.43	221.10	3.04	1.89
0+915	35	Culvert #1	Tr100	1.91	221.95	221.48	221.11	3.19	1.97
0+915	35	Culvert #1	Tr200	2.13	222.03	221.52	221.12	3.33	2.04
0+915	117	Culvert #1	Tr10	1.17	223.95	223.88	223.89	1.16	1.15
0+915	117	Culvert #1	Tr50	1.69	224.32	224.03	223.56	1.35	1.35
0+915	117	Culvert #1	Tr100	1.91	224.43	224.08	223.57	1.41	1.42
0+915	117	Culvert #1	Tr200	2.13	224.52	224.14	223.59	1.48	1.48

Tabella 15 – Risultati modello HEC-RAS: Portata associata al tempo di ritorno $Tr(Q\text{ culv})$, livello energetico a monte dell'attraversamento (E.G. US), livello energetico a valle dell'attraversamento (E.G. DS), livello idrico a monte dell'attraversamento (W.S. US.), velocità in corrispondenza dell'attraversamento, sezione di monte (Culv Vel US), velocità in corrispondenza dell'attraversamento, sezione di valle (Culv Vel DS)

8.2.2 Attraversamento idraulico Km 1+031 linea Rocchetta - S. Nicola di Melfi (Km 50+335 linea Rocchetta-Potenza)

L'attraversamento è situato immediatamente a valle del bivio per le direzioni S. Nicola di Melfi e Potenza. Nel modello è stato inserito anche l'attraversamento idraulico relativo alla viabilità immediatamente a valle della ferrovia. Tra i due attraversamenti ferroviari la soluzione di progetto prevede un canale rettangolare in c.a. di altezza variabile e salti idraulici (uno di 1.5m e due di 2m) posti rispettivamente a 3m, 5.5m e 8m dallo sbocco dell'attraversamento ferroviario sotto la linea Rocchetta- Potenza. A valle

dell'attraversamento sotto la linea Rocchetta-S.Nicola di Melfi la soluzione di progetto prevede la riprofilatura dell'alveo con una sezione rettangolare 3.0mx0.8m in c.a. e una pendenza del 5% fino a ricongiungersi alla quota dell'imbocco dell'attraversamento idraulico stradale a valle. Nelle aree immediatamente a monte dell'attraversamento stradale la portata di progetto non risulta contenuta all'interno dell'incisione. Le cause sono da attribuire alla insufficienza idraulica del tombino stradale esistente che provoca un rigurgito a monte di esso. Il rifacimento del tombino stradale e la sistemazione idraulica dell'incisione a monte e a valle di esso permetteranno la risoluzione di tale criticità.

Tabella 16 – Principali caratteristiche dell'attraversamento idraulico alla progressiva km 1+031

Progressiva	Tr	Q(Tr)	N° tombini	Dimensioni	Pendenza	Tirante idrico [m]	Grado di riempimento	Velocità [m/s]
1+031 linea Rocchetta- S.Nicola di Melfi	200	3.93	1	Scatolare 2.1mx2.7m	0.2%	1.18	44%	2.64
1+031 linea Rocchetta- Potenza	200	3.93	1	Scatolare 2.1mx2.7m	0.2%	1.07	40%	2.64

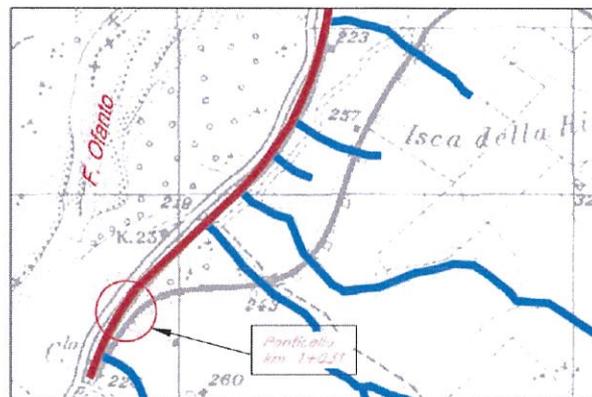


Figura 16 – km 1+031: Inquadramento planimetrico dell'attraversamento

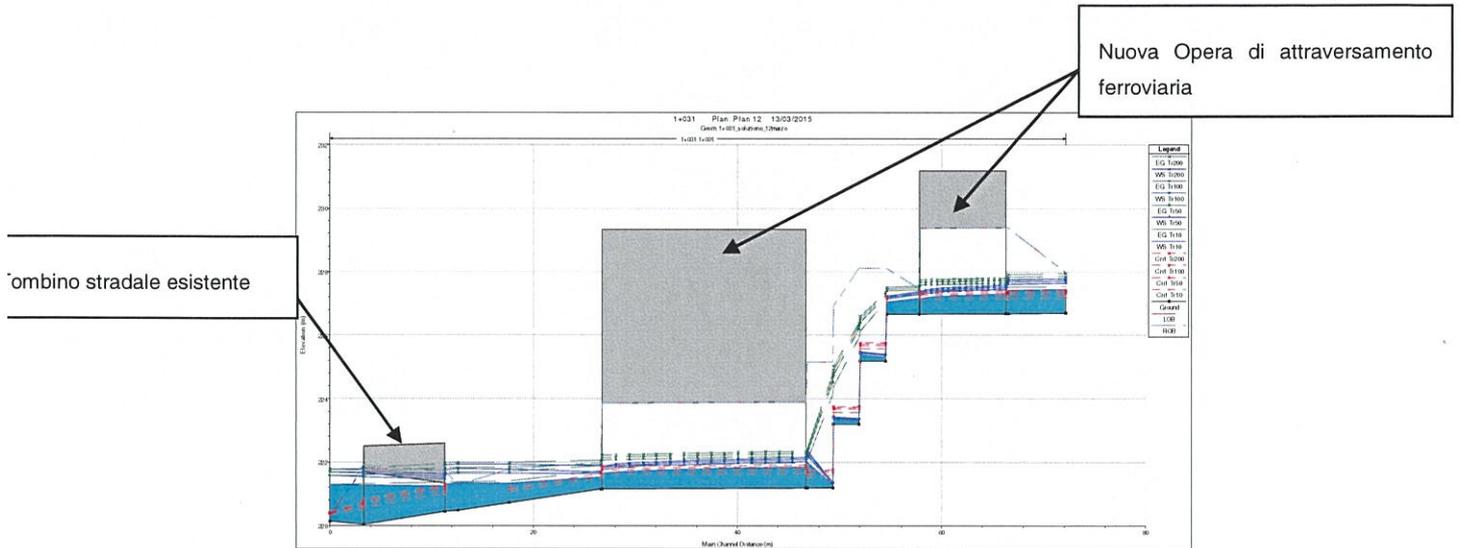


Figura 17 - Profilo livelli idrici per diversi T_r pari a 10, 50, 100 e 200 anni.

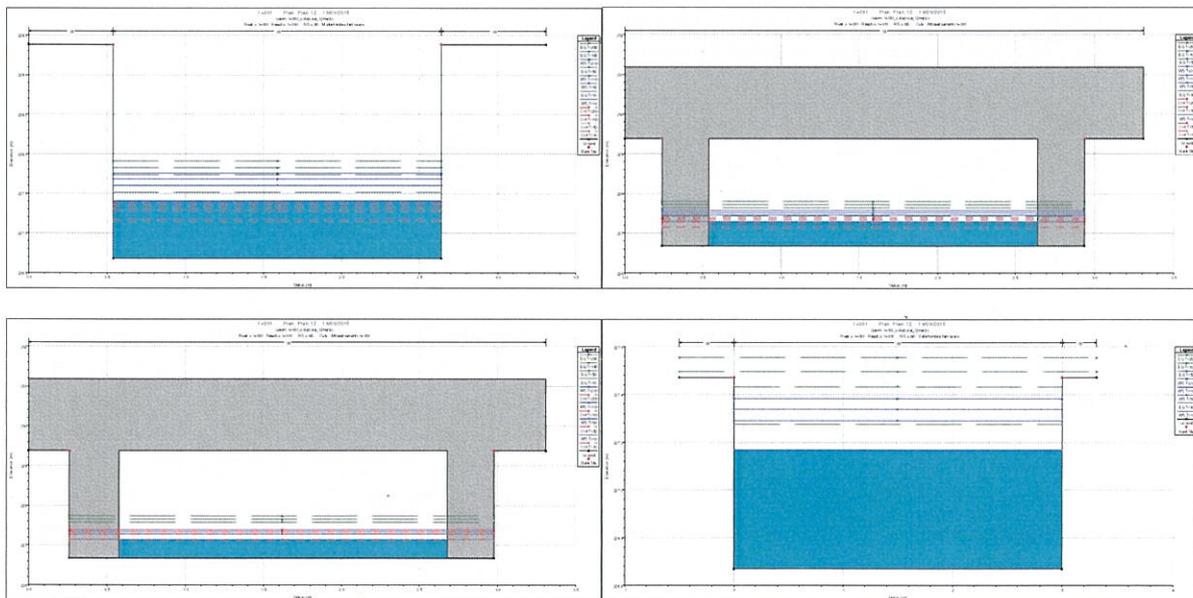


Figura 18 - Sezioni immediatamente a monte, in corrispondenza di e immediatamente a valle dell'attraversamento sotto la linea Rocchetta-Potenza: indicazione dei livelli idrici per tempi di ritorno (T_r) pari a 10, 50, 100 e 200 anni.

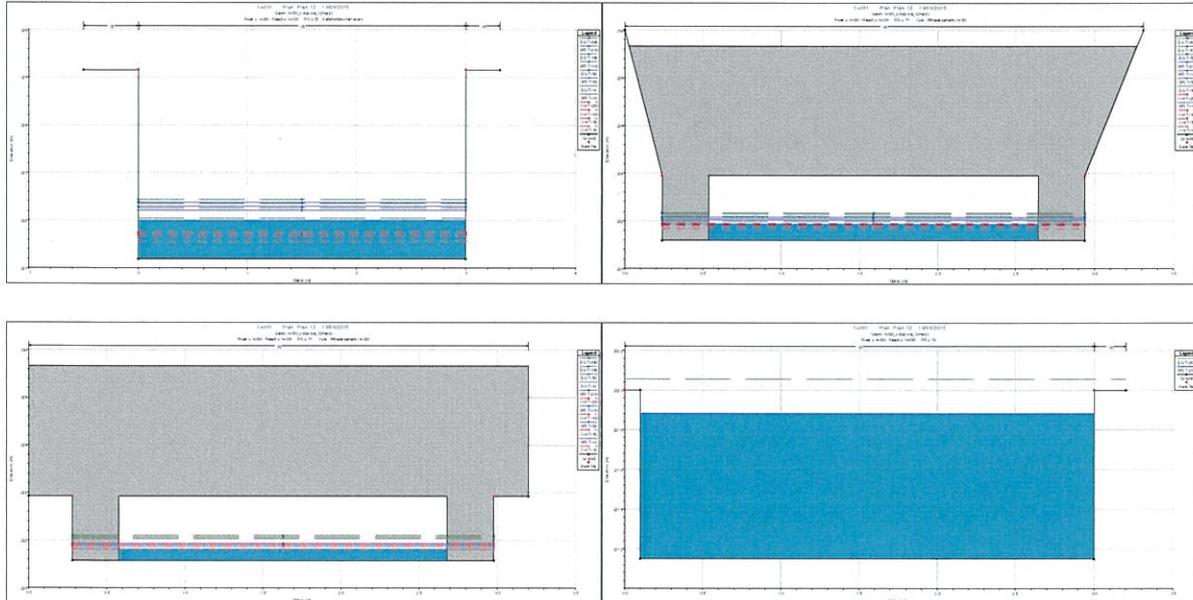


Figura 19 - Sezioni immediatamente a monte, in corrispondenza di e immediatamente a valle dell'attraversamento sotto la linea Rocchetta-San Nicola di Melfi: indicazione dei livelli idrici per tempi di ritorno (T_r) pari a 10, 50, 100 e 200 anni.

Profile Output Table - Culvert Only									
HEC-RAS Plan: Plan 10 River: 1+031 Reach: 1+031									
Reach	River Sta	Profile	Q Culv (m ³ /s)	E.G. US. (m)	E.G. DS (m)	W.S. US. (m)	Culv Vel US (m/s)	Culv Vel DS (m/s)	
1+031	71	Rocchet-SNdM	Tr10	2.17	222.04	221.73	222.00	1.55	2.16
1+031	71	Rocchet-SNdM	Tr50	3.12	222.27	221.89	222.21	1.79	2.44
1+031	71	Rocchet-SNdM	Tr100	3.53	222.35	221.95	222.30	1.88	2.55
1+031	71	Rocchet-SNdM	Tr200	3.93	222.44	222.06	222.37	1.96	2.64
1+031	85	Rocchetta-PZ	Tr10	2.17	227.51	227.27	227.41	1.66	2.16
1+031	85	Rocchetta-PZ	Tr50	3.12	227.74	227.43	227.60	1.92	2.44
1+031	85	Rocchetta-PZ	Tr100	3.53	227.82	227.50	227.68	2.01	2.55
1+031	85	Rocchetta-PZ	Tr200	3.93	227.91	227.55	227.75	2.10	2.64

Tabella 17 – Risultati modello HEC-RAS per i due attraversamenti sotto le linee Rocchetta-San Nicola di Melfi (71 Rocchet-SNdM) e Rocchetta-Potenza (85 Rocchetta-PZ): Portata associata al tempo di ritorno $T_r(Q_{culv})$, livello energetico a monte dell'attraversamento (E.G.US), livello energetico a valle dell'attraversamento (E.G.DS), livello idrico a monte dell'attraversamento (W.S. US.), velocità in corrispondenza dell'attraversamento, sezione di monte (Culv Vel US), velocità in corrispondenza dell'attraversamento, sezione di valle (Culv Vel DS)

9 COMPATIBILITA' IDRAULICA

Le verifiche idrauliche condotte sulle nuove opere in progetto mostrano che questi manufatti consentono un miglioramento delle condizioni di deflusso e una riduzione del rischio di allagamento per le aree a ridosso della linea ferroviaria.

Dalla sovrapposizione dei suddetti interventi e le aree a pericolosità e rischio idraulico individuate nel Piano di Bacino (vedi figure 20 e 21), è evidente che i tombini in progetto non ricadono in alcuna area a pericolosità/rischio idraulico.

Oltre alle due nuove opere di attraversamento idraulico, il progetto prevede la realizzazione di una variante almetrica di tracciato tra l'uscita lato San Nicola dei Melfi della galleria Santa Venere e la pk. 1+352 e la realizzazione di sottostazioni elettriche propedeutiche all'elettrificazione della linea con relative viabilità di accesso; tutti gli interventi in oggetto non ricadono in area a pericolosità/rischio idraulico dei Piani di Bacino delle Regioni Puglia e Basilicata.

Si può quindi concludere che tutte le opere previste sono idraulicamente compatibili con quanto riportato negli strumenti di pianificazione idraulica del territorio esaminati.



Figura 20 - km 0+915: Perimetrazione aree a Pericolosità e Rischio (Estratto dal WebGis dell'AdB Puglia)



Figura 21 - km 1+031: Perimetrazione aree a Pericolosità e Rischio (Estratto dal WebGis dell'AdB Puglia)

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.

Ermioni 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.

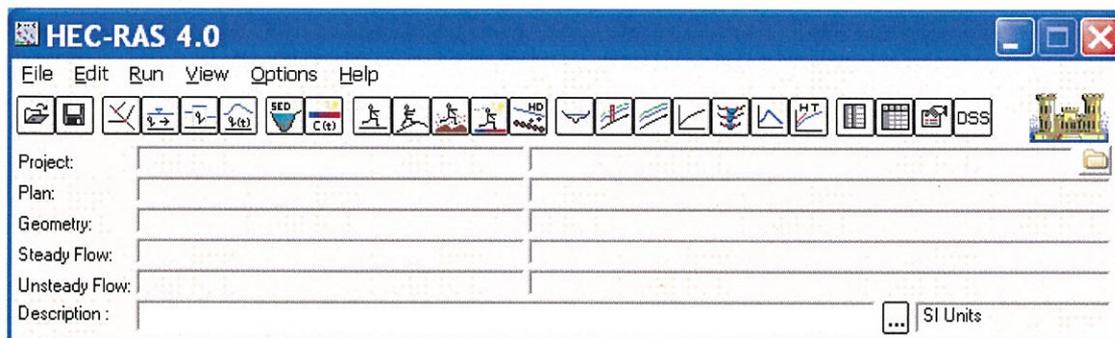
Ven Te Chow, "Open-channel hydraulics", McGraw-Hill. Tokyo, 1959.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO SOTTOPROGETTO 2 – Studio idrologico-idraulico e analisi del rischio delle opere di attraversamento</p>						
<p>Variante Rocchetta - Opere minori di nuova realizzazione - Relazione idrologico-idraulica</p>	<p>PROGETTO IAOX</p>	<p>LOTTO 01 D 11</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>OPERA/DISCIPLINA ID0002</p>	<p>PROGR. 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>Pag. 46 di 55</p>

11 APPENDICE - IL MODELLO MATEMATICO HEC-RAS

Il modello di simulazione HEC-RAS (River Analysis System) è stato inizialmente sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, di Davis (USA) per lo studio idrodinamico nelle reti di canali aperti, attraverso la ricostruzione dei profili idraulici di moto permanente in regime subcritico e supercritico, operando nell'ipotesi di monodimensionalità del flusso. Fino alla versione 2.x HEC-RAS rappresentava l'evoluzione del noto modello HEC-2 (HEC, 1991) con l'aggiunta di numerose funzioni e strumenti di analisi nonché di una sofisticata interfaccia grafica operante in ambiente Windows.

In seguito, a partire dalla versione 3.0 (HEC, 2001), HEC-RAS è stato integrato con gli algoritmi di calcolo del modello idraulico UNET One-Dimensional Unsteady Flow Through a Full Network of Open Channels (Robert L. Barkau, 1992 and HEC, 1997) che consentono di simulare il comportamento della corrente in moto vario per il solo regime subcritico.



L'integrazione dei due modelli è avvenuta previa realizzazione di una particolare versione del modello UNET capace di condividere i medesimi algoritmi di analisi delle strutture idrauliche presenti nella libreria di HEC-RAS. In questo modo è stato possibile unificare la struttura dei dati che provvede alla definizione geometrica del corso d'acqua rendendo condivisibile la stessa interfaccia grafica sia per l'inserimento dati che per la visualizzazione dei risultati.

Attualmente il modello costituisce un sistema integrato per l'analisi idraulica di reti di canali a maglie aperte e chiuse, operante in regime di moto permanente e vario, che sfrutta le medesime informazioni relative alla geometria dei corsi d'acqua e dei manufatti idraulici presenti. Nonostante ciò la simulazione dei due fenomeni, essendo notevolmente diversi tra loro, avviene sfruttando principi teorici e schemi di calcolo differenti e pertanto si farà loro riferimento come a due distinti modelli idraulici.

Ipotesi di funzionamento e capacità di calcolo

Obiettivo principale del modello, utilizzato ipotizzando un regime di moto permanente, è quello di correlare l'entità della portata liquida in arrivo dal bacino di monte con le velocità e con l'altezza idrometrica raggiunta nell'alveo principale e nelle golene. Il suo utilizzo nell'ipotesi di moto vario aggiunge la capacità di analizzare i fenomeni di propagazione di un'onda di piena e valutare gli effetti di laminazione dovuti alla naturale conformazione del corso d'acqua o alla presenza di dispositivi artificiali.

La determinazione dei parametri fisici che descrivono il deflusso all'interno di una sezione d'alveo si basa sulle seguenti ipotesi semplificative:

moto gradualmente vario;

moto monodimensionale;

perdite di fondo mediamente costanti fra due sezioni trasversali adiacenti;

arginature e geometria del fondo fisse.

Nonostante la prima ipotesi è possibile valutare anche i fenomeni di moto fortemente variato a condizione di inserire opportune condizioni al contorno interne come descritto più avanti. L'errore dovuto all'imposizione di una perdita di fondo costante nel tratto compreso tra due sezioni adiacenti può essere limitata mediante l'introduzione di ulteriori sezioni ottenute per interpolazione.

Il modello simula il moto gradualmente vario monodimensionale in una rete di canali a pelo libero e può essere applicato per la soluzione di sistemi dalla geometria complessa che includono congiunzioni, biforcazioni, reti chiuse, ecc... Inoltre è consentita l'implementazione di numerose condizioni interne ed esterne che consentono la simulazione degli effetti dovuti alla presenza di paratoie, sistemi di pompaggio, ponti, salti di fondo, ecc..

Il modello è dotato di ulteriori algoritmi che permettono di indagare in dettaglio alcuni fenomeni di interesse nell'ingegneria idraulica. Possono essere studiati i fenomeni erosivi intorno alle pile e alle spalle dei ponti non plateati, valutati gli effetti della parziale ostruzione di una sezione di deflusso a causa dei depositi alluvionali (ipotizzati costanti durante una simulazione) e può essere considerata l'eventuale formazione di ghiaccio sulla superficie liquida valutando i suoi effetti sul profilo idraulico. Inoltre, pur operando nell'ipotesi di monodimensionalità, il modello consente la ricostruzione dell'andamento della velocità all'interno di una stessa sezione di deflusso, distinguendo tra zone spondali e canale centrale, in funzione della variazione di scabrezza e di tirante idraulico.

Si descrivono di seguito i principali fondamenti teorici su cui si basa il modello limitandoci al modulo dedicato alla soluzione del problema del moto permanente.

Definizione dei parametri fondamentali

Il modello utilizza, all'interno dei suoi algoritmi di calcolo, elementi dell'idraulica dei canali a pelo libero. Si ritiene opportuno, quindi, prima di procedere oltre, inserire alcuni elementi per meglio chiarire il funzionamento del modello stesso.

Moto permanente e vario

Il criterio di distinzione fra i due tipi di moto è il loro andamento nei confronti della variabile "tempo". Se profondità, velocità e portata rimangono costanti nel tempo in una determinata sezione di un corso d'acqua, il moto è permanente; se una di queste caratteristiche varia, il moto è vario. Il passaggio di un'onda di piena lungo un tronco d'alveo è un esempio di moto vario perché profondità, velocità e portata cambiano nel tempo.

La ragione per cui un modello di moto permanente può essere usato per il moto vario, come è da considerarsi a rigore un'onda di piena, sta nella lentezza con cui l'onda cresce e si esaurisce. Un ipotetico osservatore sulla sponda di un corso d'acqua non è infatti in grado di apprezzare la curvatura dell'onda e non apprezza le variazioni istantanee di livello che si verificano.

Eccetto quindi casi estremi, la variazione di portata avviene gradualmente e i risultati ottenuti usando metodi analitici per moto permanente sono ugualmente di buona qualità.

Moto uniforme e vario

Quando il moto è uniforme, profondità e velocità sono costanti lungo un tratto di canale. La forza di gravità provoca il movimento dell'acqua, in equilibrio con gli attriti. Il moto non è accelerato né decelerato. Per un canale naturale non si può parlare di moto uniforme in senso stretto, perché la geometria delle sezioni trasversali e l'area bagnata variano lungo il canale, causando accelerazioni e decelerazioni del moto. A rigore il moto uniforme è possibile solo in un canale prismatico con sezione e pendenza costanti. D'altra parte è considerato corretto assumere che il moto sia uniforme quanto il pelo libero è approssimativamente parallelo al fondo del canale; in tal caso si assume che anche la linea dell'energia sia parallela al fondo.

Nel caso di moto vario profondità e velocità cambiano con la distanza lungo il canale; si può distinguere tra moto "gradualmente vario" quando le variazioni nell'altezza del pelo libero avvengono in una distanza relativamente lunga e modo "rapidamente vario" se le variazioni sono brusche.

Quest'ultima distinzione è importante in quanto HEC-RAS calcola i profili solamente in situazioni di moto gradualmente vario.

Moto subcritico e supercritico

Il moto in un canale a pelo libero può essere classificato come subcritico, supercritico o critico. La determinazione del tipo di moto secondo questa classificazione è di fondamentale importanza nell'utilizzo del modello, perché cambia il verso in cui si procede nello studio del profilo idraulico partendo da una delle due estremità del tratto d'alveo in esame.

Le perturbazioni che interessano la superficie liquida, infatti, si propagano verso monte nel caso di moto subcritico ma non nel caso di moto supercritico, e ciò risulta fondamentale nella scelta del punto di partenza nel calcolo del profilo idraulico. Una delle prime operazioni da fare è quindi la determinazione del tipo di moto che si sviluppa nel tratto oggetto dell'indagine condotta con il modello.

Per definire il punto di separazione fra moto subcritico e supercritico viene utilizzato il numero adimensionale di Froude, rapporto fra le forze gravitazionali e le forze inerziali:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

Dove:

V = velocità media Q/A [m/s]

g = accelerazione di gravità [m/s²]

D = raggio idraulico [m]

Se il numero di Froude risulta minore di 1, il moto è subcritico, se invece è superiore, il moto è supercritico; se risulta uguale a 1, il moto è critico e la situazione è di particolare instabilità.

Questa definizione del numero di Froude ipotizza che ci sia una distribuzione uniforme di velocità nella sezione. Per un canale simmetrico, rettangolare, triangolare, trapezoidale, ecc., questo presupposto si realizza, ma nel caso di un canale naturale, con sezioni irregolari e aree golenali, l'espressione data non è più valida e non può essere rigorosamente utilizzata per determinare il tipo di moto; in questo caso sarebbe più corretto utilizzare dei numeri di Froude particolari, che tengano conto delle variazioni geometriche, di velocità e di portata.

La ricerca di questi particolari numeri di Froude va effettuata caso per caso, consultando eventualmente la letteratura esistente.

Il modello, comunque, effettua al suo interno le necessarie approssimazioni e ridefinizioni del valore di questo parametro.

Altezza critica

L'altezza critica è una caratteristica molto importante per il moto, dato che, come già accennato,

rappresenta un criterio per discriminare i vari regimi di moto. Il moto che si sviluppa con un'altezza pari, o vicina, all'altezza critica è chiamato moto critico; questa situazione è molto instabile poiché una piccola variazione di energia specifica causa grandi variazioni di livello. L'energia specifica H di una sezione trasversale è l'energia riferita al punto più basso del tratto in esame; è quindi la somma della profondità y e del termine $V^2/2g$:

$$H = y + \frac{V^2}{2g}$$

La determinazione dell'altezza critica viene complicata dalla distribuzione delle velocità che ci si trova ad avere in sezioni irregolari, associate a flusso nelle golene. Il contributo cinetico nell'equazione dell'energia specifica deve quindi essere corretto tramite un moltiplicatore α di Coriolis. Si ha quindi:

$$H = y + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

In HEC-RAS, l'altezza critica relativa ad una sezione viene determinata ricercando il minimo dell'energia specifica. La ricerca viene fatta con un procedimento iterativo partendo da un valore WS di primo tentativo al quale ne consegue un valore di energia specifica dato dalla precedente equazione, che verrà poi corretto fino alla determinazione del WS in grado di garantire il minimo valore di H .

HEC-RAS può calcolare l'andamento di profili subcritici e supercritici. Viene però richiesto all'utente di specificare il regime di moto all'atto del setup dell'applicazione. Se si verifica il caso di avere la presenza dei due regimi nel tronco oggetto di studio, diventa necessario suddividere il tronco in tratti in cui si abbia presenza di un solo regime di moto. Nel punto in cui avviene il passaggio tra un regime e l'altro, infatti, HEC-RAS non effettuerà il calcolo attraverso l'altezza critica, ma assumerà al limite un'altezza pari a quella critica.

Procedure di calcolo per simulazioni in moto permanente

Come già anticipato il regime di moto permanente ipotizza l'invariabilità nel tempo t della portata Q che attraversa una sezione d'alveo di area A . Di conseguenza tutti i parametri idraulici che definiscono le caratteristiche di una corrente risultano invariabili nel tempo. Il regime di moto resta comunque libero di modificarsi lungo la dimensione spaziale non escludendo la possibilità di assegnare portate diverse ai differenti tratti del corso d'acqua e di studiare gli effetti delle immissioni di portata laterali concentrate e distribuite.

La determinazione del profilo idraulico avviene risolvendo l'equazione del bilancio dell'energia espresso secondo la formulazione di Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2}$$

Sf = pendenza relativa alle perdite di carico distribuite;

R = raggio idraulico;

n = coefficiente di scabrezza di Manning.

L'equazione viene risolta per ogni tratto delimitato da due sezioni trasversali consecutive utilizzando lo "standard step method", tecnica numerica che, una volta nota l'energia in corrispondenza di una sezione, permette il calcolo della velocità e del tirante idraulico della sezione adiacente.

Determinazione della distribuzione del moto in una sezione trasversale

E' stato precedentemente introdotto il significato del coefficiente di Coriolis utilizzato per tener conto della non uniforme distribuzione spaziale della velocità all'interno di una stessa sezione trasversale d'alveo. Per la determinazione del suo valore nel caso di una sezione naturale, o comunque irregolare, è necessario conoscere come si suddivide la portata, ossia quanta fluisce nel canale propriamente detto e quanta nelle zone golenali. Viene a questo scopo utilizzata l'equazione di Manning:

$$V = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2}, \quad Q = VA = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2}$$

Ponendo quindi: K = trasporto = $\frac{1.486}{n} AR^{2/3}$ si ha che:

$$Q = KS_f^{1/2}$$

che viene scritta per ognuna delle i-esime sezioni considerate.

In HEC-RAS, il raggio idraulico R di una subarea è calcolato dividendo l'area per il perimetro bagnato. Il confine d'acqua immaginario tra due subaree viene trascurato

Tramite alcuni passaggi si trova che:

$$\alpha = \frac{(\sum A_i)^2 (\sum K_i^3 / A_i^2)}{(\sum K_i)^3}$$

Distribuzione delle pressioni in una sezione trasversale

Come già detto, una delle ipotesi di base nel calcolo del profilo da parte di HEC-RAS è la distribuzione idrostatica delle pressioni. Si può assumere che la pressione sia idrostatica in un fluido in movimento se

le linee di corrente sono essenzialmente dritte e parallele. La maggior parte dei canali naturali con moto gradualmente vario rispetta queste condizioni, non rispettate invece nel caso di moto rapidamente vario.

Calcolo dei profili idraulici

Il calcolo dei profili idraulici avviene in due fasi tra loro intimamente collegate: bilancio dell'energia e conseguente calcolo del profilo.

Bilancio dell'energia

La perdita di energia fra due sezioni trasversali, prese perpendicolarmente al flusso, è la base per il calcolo del profilo idraulico. L'energia totale, in termini di altezza, è uguale alla somma dei contributi dovuti alla quota, alla pressione e al termine cinetico. Se q rappresenta la pendenza del fondo si ha che:

$$E = Z + d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

Il termine $\cos \alpha$ è comunemente assunto uguale a 1 per canali naturali. Si può comprendere come comunque si compia un errore molto basso imponendo questa semplificazione considerando che per una pendenza di fondo di 1:10, molto elevata, $\cos q$ è uguale a 0.99. L'errore compiuto in questo caso, definibile estremo, considerandolo uguale a 1 è del 1%, e quindi, nel complesso, trascurabile.

Con riferimento all'equazione dell'energia appena scritta, si può riscriverla nel caso sia applicata tra due sezioni:

$$Z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_e$$

o in altri termini: $E_1 = E_2 + h_e$

L'energia totale nella sezione di monte H1 è quindi uguale all'energia della sezione di valle H2 più il termine di perdita di energia h_e . Questa equazione è usata in successione da HEC-RAS spostandosi per passi da una sezione all'altra, calcolando il profilo idraulico.

Perdite di energia

In HEC-RAS la perdita totale di energia h_e è considerata composta da due componenti: una componente di attrito h_f , dovuta alla scabrezza delle superfici e calcolata secondo l'equazione di Manning, e una componente h_o , che rappresenta le altre perdite, soprattutto dovute a contrazioni ed espansioni.

Il programma determina se il flusso è in contrazione o espansione sottraendo il termine cinetico $V^2/2g$ alla sezione a valle dal termine cinetico alla sezione a monte. Se la differenza risulta un numero negativo,

il moto è di contrazione, se positivo è di espansione. Il programma, sulla base di questo controllo, applica un coefficiente appropriato.

Se consideriamo ora un tratto di canale, la pendenza S_f della linea dell'energia in corrispondenza a una determinata sezione può essere determinata con l'equazione di Manning, inserendo la quota del pelo libero, la portata, il coefficiente di rugosità n e la geometria della sezione. L'energia persa a causa dell'attrito tra le sezioni a monte e a valle è calcolata con il seguente integrale:

$$\int_{x_2}^{x_1} S_f dx = \bar{S}_f L$$

dove f è la perdita specifica per attrito e L è la lunghezza del tratto in esame.

Un'approssimazione delle perdite per attrito hf può essere ottenuta moltiplicando il termine f per la lunghezza L del tronco tra le due sezioni.

Ci sono quattro equazioni in HEC-RAS per l'approssimazione delle perdite tra due sezioni e sono le seguenti:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

trasporto medio

$$\bar{S}_f = \frac{\sqrt{S_{f_1} + S_{f_2}}}{2}$$

attrito specifico medio

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f_1} * S_{f_2}}$$

media geometrica attrito specifico

$$\bar{S}_f = \frac{2 S_{f_1} * S_{f_2}}{S_{f_1} + S_{f_2}}$$

media armonica attrito specifico

Se nessuna di queste viene espressamente scelta in fase di setup dell'applicazione, il modello utilizza la prima delle quattro.

Standar step method

Per illustrare il metodo "standard step method" utilizzato da HEC-RAS si possono descrivere i passi necessari per il calcolo del profilo relativo a condizioni di moto subcritico con l'equazione dell'energia.

Si suppongano quindi due sezioni di cui si conosca la quota della superficie della sezione di valle; il problema che si vuole risolvere è la conoscenza della quota corrispondente alla sezione di monte.

Si può quindi scrivere il bilancio dell'energia fra le sezioni U di monte e D di valle:

$$WS_u + \frac{a_u V_u^2}{2g} = WS_d + \frac{a_d V_d^2}{2g} + h_e$$

$$WS_u = Z_u + y_u$$

$$WS_d = Z_d + y_d$$

Assumendo che la geometria delle sezioni sia nota, i termini incogniti dell'equazione sono WS_u , V_u e h_e . V_u è desumibile direttamente dal valore di WS_u , per cui le incognite possono essere ridotte a due. Con due incognite è necessaria una seconda equazione, riguardante le perdite di energia ed espressa da $h_e = hf + h_o$, per poter ottenere una soluzione. L'irregolarità dei canali naturali richiede una ricerca della soluzione di tipo "trail and error", per successivi tentativi.

I passi attraverso cui avviene il calcolo sono i seguenti.

viene supposta una quota di pelo libero per la sezione di monte. Un primo tentativo può essere fatto imponendo la pendenza della linea dell'energia pari alla pendenza del tronco d'alveo; quindi, $DWS = (Q/K)^2 L$, dove DWS rappresenta la variazione nella quota del pelo libero, Q è la portata, K il termine di trasporto e L la distanza dalla sezione a monte;

sulla base della quota di pelo libero assunta e della geometria della sezione, vengono determinati i termini cinetico e il trasporto totale per la sezione a monte;

con i valori calcolati del termine cinetico e di trasporto del passo 2, viene calcolato il valore di h_e ;

con il valore calcolato di h_e , viene calcolata l'altezza di pelo libero della sezione a monte utilizzando l'equazione dell'energia;

viene fatto un confronto fra il valore calcolato al passo 4 e il valore impostato al passo 1. Se la differenza non è inferiore a una prefissata tolleranza, il ciclo riprende cambiando il valore al passo 1.

Questa tecnica richiede tempi di elaborazione brevissimi e non incontra problemi di convergenza nemmeno in presenza di discontinuità geometriche o idrauliche (passaggio tra regime di moto subcritico e supercritico).

**Variante Rocchetta - Opere minori di nuova
realizzazione - Relazione idrologico-idraulica**

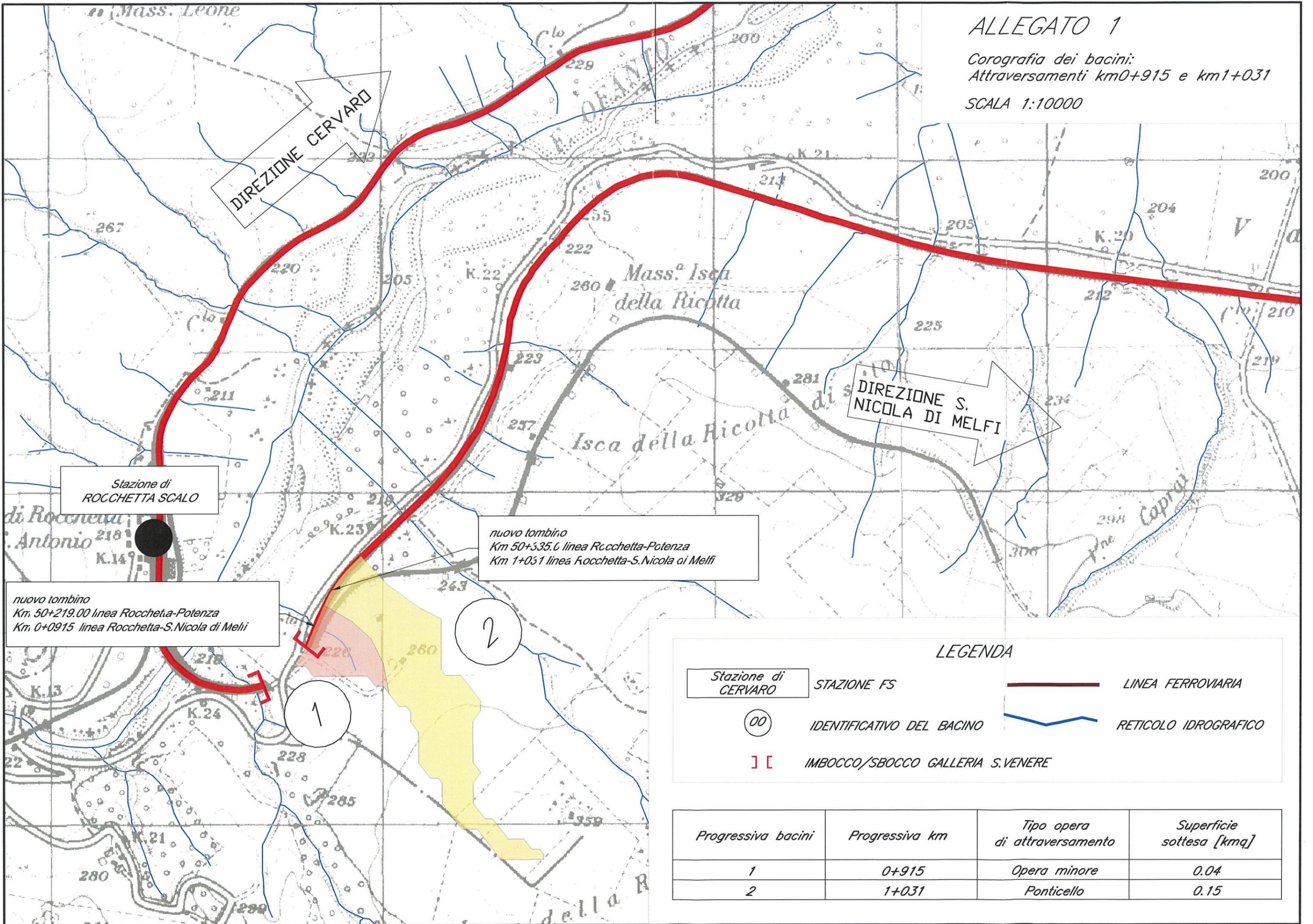
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
IA0X	01 D 11	RI	ID0002	001	A	55 di 55

**12 ALLEGATO 1 - COROGRAFIA DEI BACINI: ATTRAVERSAMENTI KM 0+915 E
KM 1+031**

ALLEGATO 1

Corografia dei bacini:
Attraversamenti km0+915 e km1+031

SCALA 1:10000



DIREZIONE CERVARD

DIREZIONE S. NICOLA DI MELFI

Stazione di
ROCCHETTA SCALO

nuovo tombino
Km 50+335.6 linea Rocchetta-Potenza
Km 1+031 linea Rocchetta-S.Nicola di Melfi

nuovo tombino
Km 50+219.00 linea Rocchetta-Potenza
Km 0+0915 linea Rocchetta-S.Nicola di Melfi

LEGENDA

- Stazione di CERVARD STAZIONE FS
- 00 IDENTIFICATIVO DEL BACINO
-] [IMBOCCO/SBOCCO GALLERIA S.VENERE
- LINEA FERROVIARIA
- RETICOLO IDROGRAFICO

Progressiva bacini	Progressiva km	Tipo opera di attraversamento	Superficie sottesa [kmq]
1	0+915	Opera minore	0.04
2	1+031	Ponticello	0.15