

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

### U.O. INFRASTRUTTURE SUD

### PROGETTO DEFINITIVO

### LINEA POTENZA - FOGGIA - AMMODERNAMENTO

### SOTTOPROGETTO 2: ELETTRIFICAZIONE, RETTIFICHE DI TRACCIATO, SOPPRESSIONE P.L. E CONSOLIDAMENTO SEDE.

### LOTTO 1.1 – ELETTRIFICAZIONE P.M. CERVARO – ROCCHETTA – S.NICOLA DI MELFI

### CANALE DI MELFI

Relazione idrologico-idraulica

SCALA:

-

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

I A 4 J 1 1 E 7 8 R I I D 0 4 0 2 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	A.Di Fabio	Luglio 2018	A.Tortora D.D.Domenicantonio	Luglio 2018	G. Lestingi	Luglio 2018	Dario Tiberti
B	REVISIONE	G. De Cianni	Settembre 2019	DiDomenicantonio	Settembre 2019	G. Lestingi	Settembre 2019	

ITALFERR S.p.A.  
Gruppo Ferrovie dello Stato  
Direzione Tecnica  
UO Infrastrutture Sud  
Dott. Ing. Dario Tiberti  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10876

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO NORMATIVO</b>	<b>9</b>
2.1	Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia	9
<b>3</b>	<b>IL RILIEVO DELLA ZONA E L'IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA</b>	<b>12</b>
3.1	Attraversamento idraulico oggetto di intervento	13
<b>4</b>	<b>MODELLI PROBABILISTICI PER L'ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE E DELLE PORTATE</b>	<b>16</b>
4.1	Il modello probabilistico TCEV	16
4.2	Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri	17
4.3	Curve regionali di crescita delle precipitazioni	19
<b>5</b>	<b>ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI CON IL METODO VAPI</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>DEFINIZIONE DELLE PORTATE</b>	<b>24</b>
6.1	Il metodo cinematico	24
6.2	Portate in corrispondenza degli attraversamenti idraulici oggetto di intervento.	28
<b>7</b>	<b>VERIFICHE IDRAULICHE</b>	<b>30</b>
7.1	Metodologia	30
7.1.1	<i>Verifica idraulica in moto permanente</i>	<i>30</i>
7.2	Risultati	32
<b>8</b>	<b>COMPATIBILITA' IDRAULICA</b>	<b>40</b>
<b>9</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DELLA DEVIAZIONE PROVVISORIA DEL CANALE IN FASE DI CANTIERE</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>56</b>
<b>11</b>	<b>APPENDICE - IL MODELLO MATEMATICO HEC-RAS</b>	<b>57</b>

Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
		IA4J	11 E 78	RI	ID0402	001	B

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Stralcio planimetrico: posizione della SSE di S.Nicola di Melfi, in azzurro è evidenziato il corso d'acqua interferente con la linea alla pk 12+302.....	7
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. ....	11
Figura 3 – DEM della Nasa .....	12
Figura 4 - DTM della Regione Puglia. ....	13
Figura 5 – Bacini idrografici afferenti alle pk 11+800 e 12+302.....	14
Figura 6 – Zone omogenee rispetto al valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere. ....	22
Figura 7 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione. ....	25
Figura 8 – Output del modello .....	34
Figura 9 – Profilo idrico per la portata con Tr=200anni.....	35
Figura 10 – Sezioni trasversali in corrispondenza della sistemazione di monte: livello idrico con Tr=200anni .....	36
Figura 11 – Sezioni trasversali per il tombino ferroviario: livello idrico con Tr=200anni .....	37
Figura 12 – Sezioni trasversali in corrispondenza della sistemazione di valle: livello idrico con Tr=200anni .....	38
Figura 13 – Sezioni trasversali per il tratto a sezione chiusa: livello idrico con Tr=200anni <b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>	II
Figura 14 – Sistemazione finale in materassi: livello idrico con Tr=200anni .....	38
Figura 15 – Output di dettaglio del modello per i tombini in progetto: Tombino FS (431 Culvert#1) e Tombino di valle (245 Culvert#1) .....	39
Figura 16 – Valori delle massime velocità ammissibili per i terreni coesivi [Officine Maccaferri]. ....	42
Figura 17 – Aree a pericolosità idraulica AdB Puglia: l'area di intervento è evidenziata dal cerchio rosso. ....	44
Figura 18 – Corso d'acqua alla pk 11+850, configurazione ante operam: profilo idrico per Tr=200anni ..	45
Figura 19 – Corso d'acqua alla pk 11+850, configurazione ante operam: Sezione trasversale in corrispondenza della immissione delle acque convogliate dalle opere in progetto. ....	46
Figura 20 – Corso d'acqua alla pk 11+850, configurazione ante operam: Sezione trasversale in corrispondenza della immissione delle acque convogliate dalle opere in progetto. ....	46
Figura 21 – Corso d'acqua alla pk 11+850, configurazione post operam: Sezione trasversale in corrispondenza della immissione delle acque convogliate dalle opere in progetto. ....	47
Figura 22 – Corso d'acqua alla pk 11+850, configurazione post operam: profilo idrico per Tr=200anni ..	48
Figura 23 – Corso d'acqua alla pk 11+850, configurazione post operam: Sezione trasversale in corrispondenza della immissione delle acque convogliate dalle opere in progetto. ....	49


	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	<b>PROGETTO</b> IA4J	<b>LOTTO</b> 11 E 78	<b>CODIFICA</b> RI	<b>OPERA/DISCIPLINA</b> ID0402	<b>PROGR.</b> 001	<b>REV.</b> B	<b>Pag.</b> 4 di 65

Figura 24 – Corso d’acqua alla pk 11+850, configurazione post operam: sezioni trasversali a valle delle opere di recapito dell’intervento in progetto per l’attraversamento alla pk 12+296..... 51

<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
	IA4J	11 E 78	RI	ID0402	001	B	5 di 65

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici oggetto dello studio idrologico-idraulico .....	15
Tabella 2 - 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. ....	20
Tabella 3 – Valori del fattore di crescita per la zona in esame ricavata dall' Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia. ....	21
Tabella 4 - 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.....	23
Tabella 5 – Individuazione della zona pluviografica.....	23
Tabella 6 - Parametro N della formula di Kerby per il calcolo del tempo di corrivazione.....	27
Tabella 7 - Elenco dei tempi di corrivazione.....	28
Tabella 8 - Elenco delle precipitazioni relative a differenti tempi di ritorno. ....	28
Tabella 9 - Elenco delle portate calcolate per Tr 2.5, 10, 50, 100, 200 e 300. ....	29
Tabella 10 – Portata di progetto per il manufatto in progetto.....	30
Tabella 11 - Valori dei coefficienti di scabrezza di Manning, n, relativi ad alvei naturali (Open-Channel Hydraulics, CHOW, 1959) .....	33
Tabella 12 – Sintesi dei risultati delle verifiche idrauliche per i tombini in progetto. ....	39
Tabella 13 – Dati per la verifica della deviazione provvisoria .....	54
Tabella 14 – Scala di deflusso della deviazione provvisoria .....	55

<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
	IA4J	11 E 78	RI	ID0402	001	B	6 di 65

## 1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto di Ammodernamento della linea Foggia-Potenza - Sottoprogetto 2 - Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione P.L. e consolidamento sede - Lotto 1.1 - Elettificazione della linea Foggia – Rocchetta - S. Nicola di Melfi è prevista la realizzazione della sottostazione elettrica (SSE) di S. Nicola di Melfi al km 12+329 della tratta Rocchetta S. Antonio - S. Nicola di Melfi.

Su richiesta dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia, data la presenza di un corso d'acqua che interseca detta linea ferroviaria alla pk 12+302, è stato effettuato un apposito studio idraulico, nel rispetto degli artt. 4, 6, 10 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI Puglia, al fine di garantire la sicurezza idraulica della SSE in progetto; l'esito di tale studio ha condotto al progetto di rifacimento di un tombino di adeguate dimensioni alla pk 12+296 e di dismissione del tombino esistente alla pk 12+302; è inoltre prevista la sistemazione del corso d'acqua a monte e valle del nuovo attraversamento idraulico fino al recapito costituito dal corso d'acqua che interseca la linea ferroviaria alla pk 11+850 circa.

Il progetto del canale è stato sviluppato prevedendo una sezione a cielo aperto, salvo nei tratti di necessario attraversamento, come indicato dalla stessa Autorità di Bacino della Regione Puglia e conseguendo un franco idraulico di 1.0 m nel tratto a sezione chiusa.

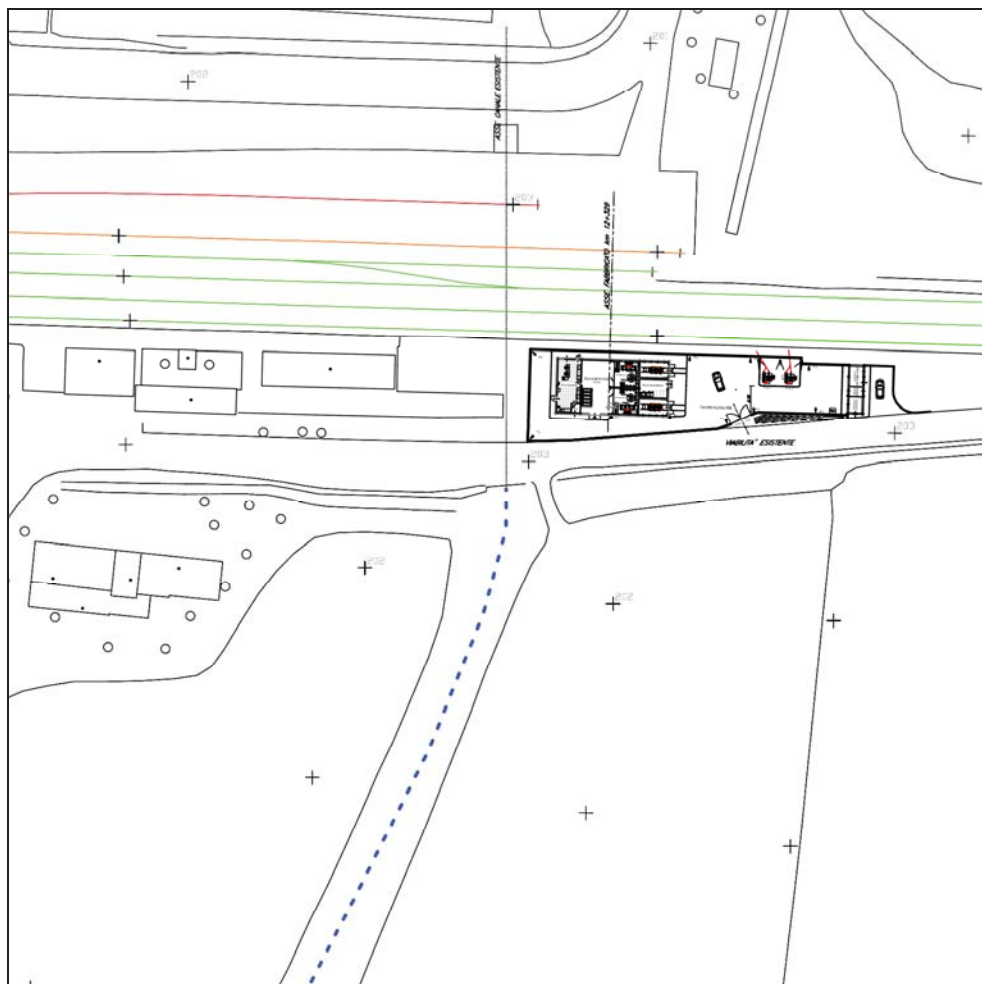


Figura 1 – Stralcio planimetrico: posizione della SSE di S.Nicola di Melfi, in azzurro è evidenziato il corso d'acqua interferente con la linea alla pk 12+302.

La presente relazione riporta i risultati dello studio idrologico condotto al fine di valutare le portate afferenti ai citati attraversamenti e la metodologia di calcolo per il dimensionamento dell'attraversamento idraulico in progetto.


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

- analisi del modello digitale del suolo per la determinazione dei bacini scolanti afferenti ai due attraversamenti;
- sviluppo della metodologia VAPI per l'individuazione delle portate di verifica e progetto degli attraversamenti idraulici.

<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
	IA4J	11 E 78	RI	ID0402	001	B	8 di 65

A supporto della progettazione si fa riferimento al Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia (approvato con delibera del Comitato Istituzionale n.39 del 30 novembre 2005 e successivi aggiornamenti).



	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	<b>PROGETTO</b> IA4J	<b>LOTTO</b> 11 E 78	<b>CODIFICA</b> RI	<b>OPERA/DISCIPLINA</b> ID0402	<b>PROGR.</b> 001	<b>REV.</b> B	<b>Pag.</b> 9 di 65

## 2 INQUADRAMENTO NORMATIVO

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

In materia di pianificazione idraulica del territorio, l’autorità competente nell’area di intervento oggetto della presente relazione è la Regione Puglia; per questo motivo il presente studio ha preso a riferimento il Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico, P.A.I., dell’Autorità di Bacino della Puglia come strumento di pianificazione territoriale in vigore (adozione dicembre 2004, approvazione novembre 2005).

Nella Relazione di Piano sono definite 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;

	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	<b>PROGETTO</b> IA4J	<b>LOTTO</b> 11 E 78	<b>CODIFICA</b> RI	<b>OPERA/DISCIPLINA</b> ID0402	<b>PROGR.</b> 001	<b>REV.</b> B	<b>Pag.</b> 10 di 65

- 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.

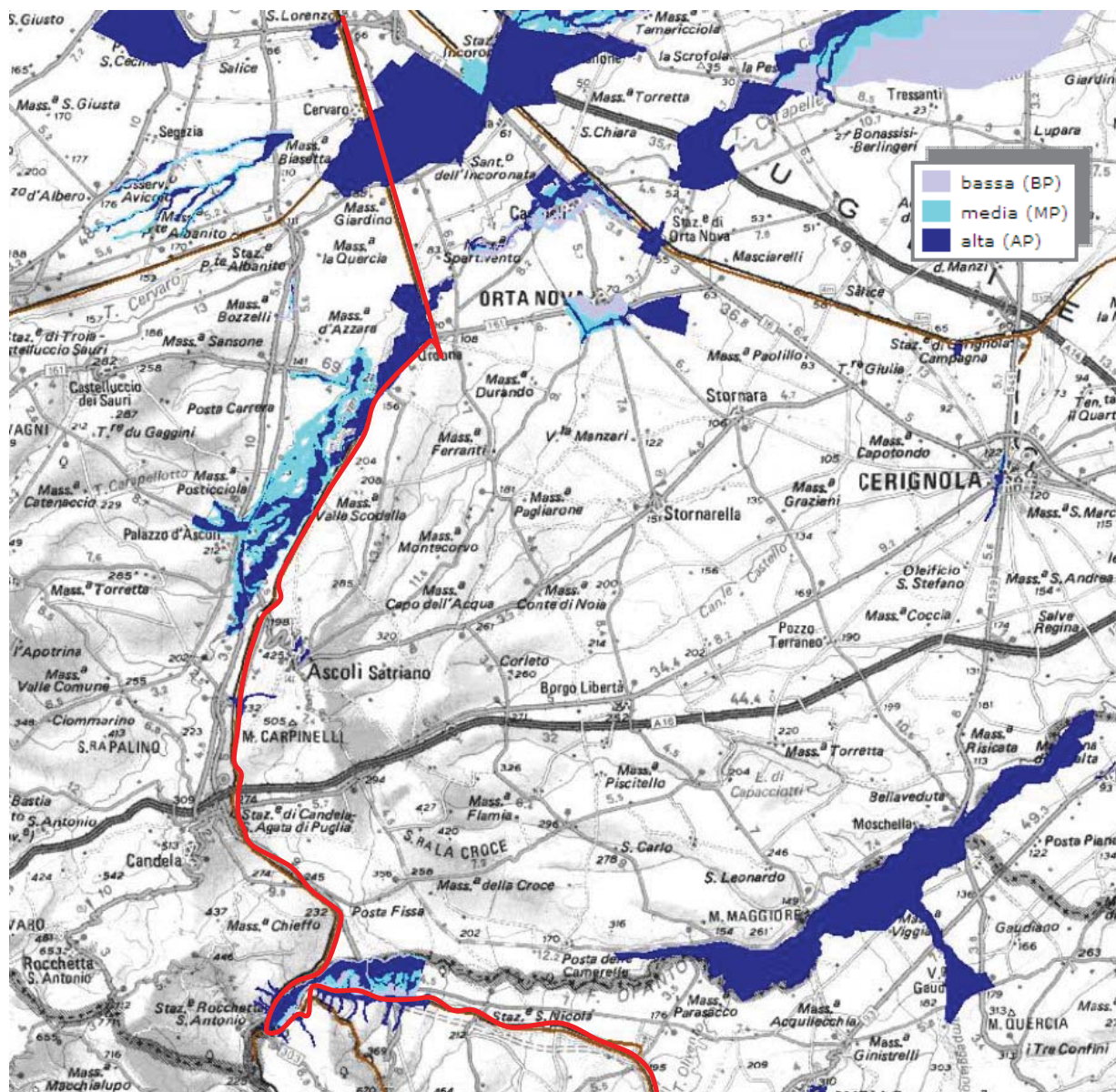


Figura 2 – Aree di rischio e aree di esondazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Puglia, in rosso la tratta ferroviaria Cervaro-Rocchetta-S.Nicola di Melfi.

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

Per ottenere una rappresentazione quotata della zona di analisi 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 3 – 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.



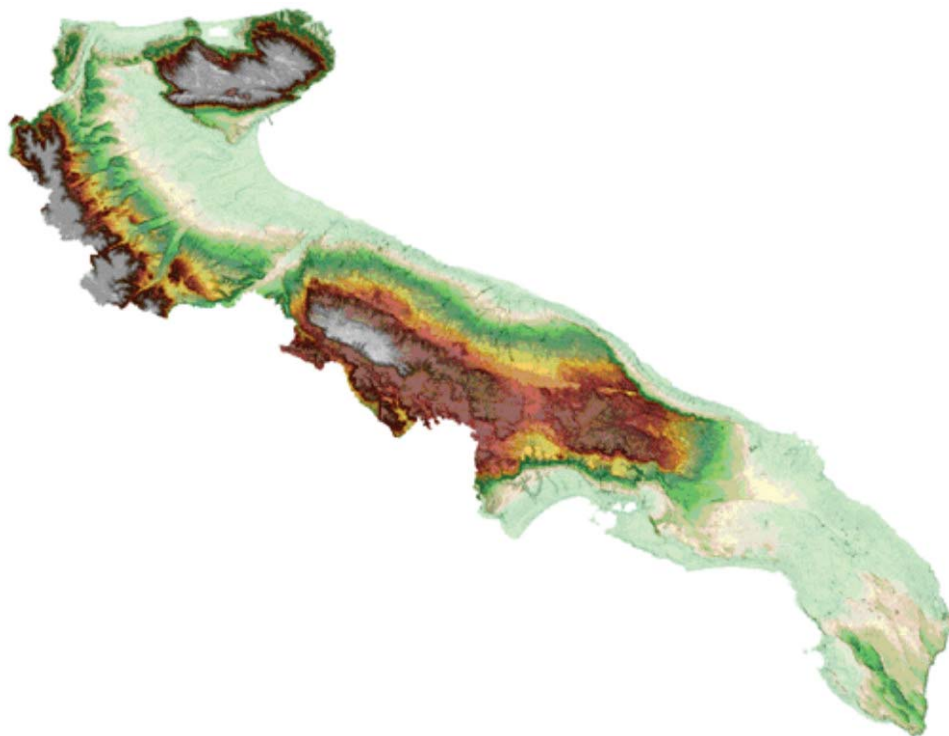


Figura 4 - DTM della Regione Puglia.

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 degli 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.

### 3.1 Attraversamento idraulico oggetto di intervento

L'attraversamento idraulico esistente è posto alla pk 12+302 della linea ferroviaria Rocchetta S. Antonio-S. Nicola di Melfi. Il nuovo attraversamento è posto alla pk 12+296. Il recapito è costituito dal corso d'acqua che interseca la linea ferroviaria alla pk 11+850 circa della linea Rocchetta Scalo - S. Nicola di

Melfi. Per le considerazioni in merito alla compatibilità idraulica degli interventi in progetto si rimanda allo specifico capitolo della presente relazione.

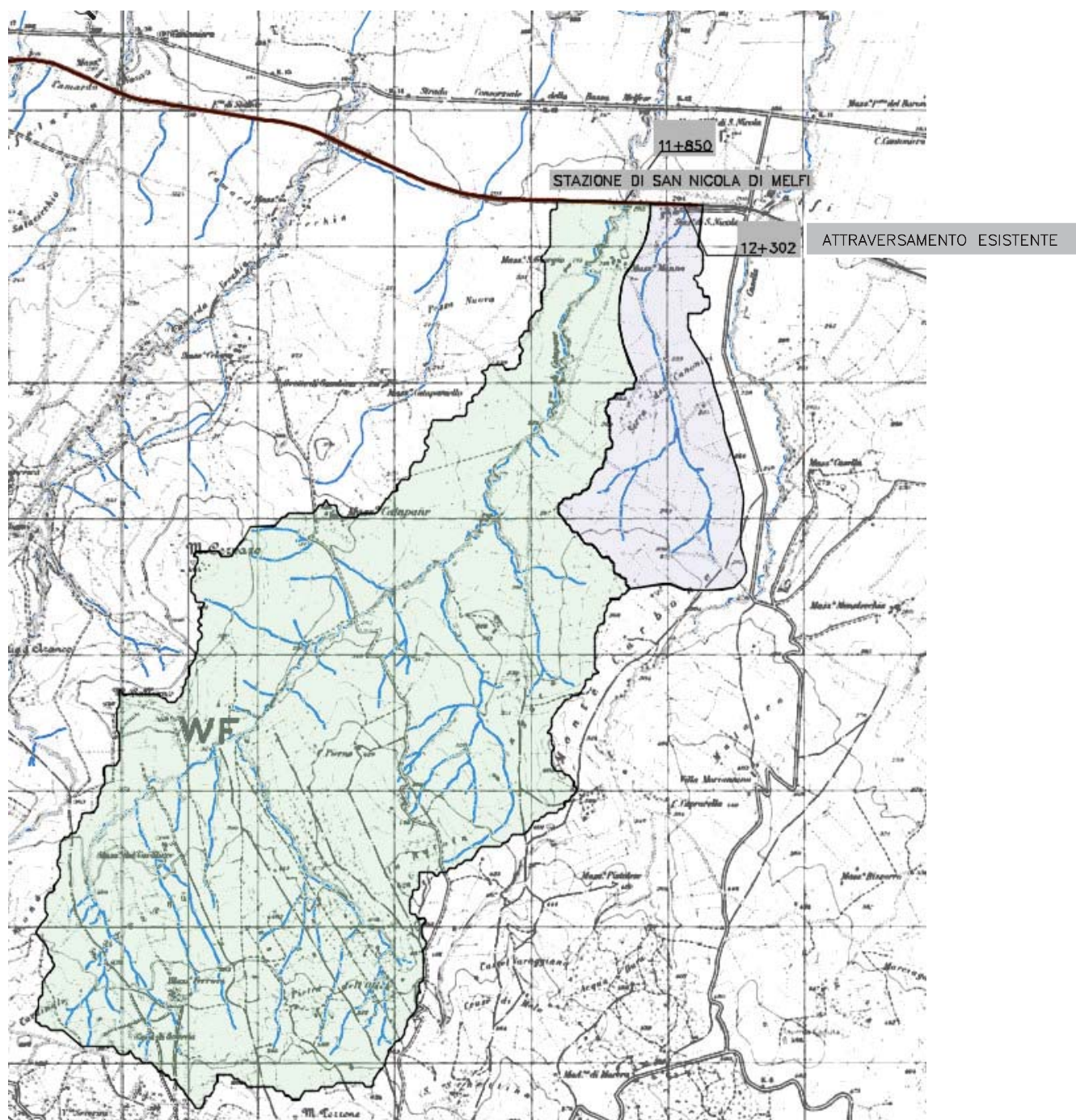


Figura 5 – Bacini idrografici afferenti alle pk 11+800 e 12+302.

	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
	<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO IA4J	LOTTO 11 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0402	PROGR. 001	REV. B

Nella Tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici afferenti alle due opere oggetto di studio idraulico.

*Tabella 1 - Caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici oggetto dello studio idrologico-idraulico*

Progr.	Area [km <sup>2</sup> ]	L [km]	H <sub>top</sub> [m s.m.m.]	H <sub>0</sub> [m s.m.m.]	H <sub>medio</sub> [m s.m.m.]	i <sub>m</sub>
11+850	14.26	9.77	649.0	199.0	424.0	0.046
12+302	2.19	2.96	350.0	200.0	275.00	0.041

<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
	IA4J	11 E 78	RI	ID0402	001	B	16 di 65

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

### 4.1 Il modello probabilistico TCEV

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

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

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

La funzione ha quattro parametri,  $\Lambda_1$ ,  $\Theta_1$ ,  $\Lambda_2$  e  $\Theta_2$ . I parametri contraddistinti dal pedice 1 sono relativi agli eventi più frequenti (componente base) mentre quelli con pedice 2 si riferiscono ad eventi più gravosi e rari (componente straordinaria). Ognuna delle due componenti è, a tutti gli effetti, una legge di Gumbel.

I parametri  $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  esprimono, rispettivamente per le due componenti, il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori ad una soglia. I parametri  $\Theta_1$  e  $\Theta_2$  esprimono invece la media di tali eventi.

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

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

caratterizzata dalla funzione di probabilità cumulata:

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

nella quale risulta:



<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
	IA4J	11 E 78	RI	ID0402	001	B	17 di 65

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

L'espressione completa della funzione di probabilità cumulata della TCEV può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale  $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_t)$  dove con  $\mu(X_t)$  si è indicato il *valore indice* (la media della variabile). La funzione di probabilità cumulata di questa nuova variabile  $K_{t,Tr}$  è la cosiddetta *curva di crescita* la quale dipende dai parametri  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$ ,  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

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

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

#### 4.2 Approccio gerarchico alla stima regionale dei parametri

Sulle relazioni che intercorrono tra momenti teorici e parametri della distribuzione TCEV si basa la strutturazione regionale della stima dei parametri del modello TCEV, in particolare con riferimento ai momenti del secondo e del terzo ordine.

Va innanzitutto detto che mediante l'espressione dei momenti teorici del modello TCEV, si dimostra che il coefficiente di variazione teorico dipende da  $\Lambda_*$ ,  $\Theta_*$  e  $\Lambda_1$  ed è quindi indipendente da  $\Theta_1$ , mentre il coefficiente di asimmetria teorico dipende da  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$  ed è quindi indipendente da  $\Lambda_1$  e  $\Theta_1$ .

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

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

stimati dalle serie storiche dei massimi annuali delle portate istantanee, o delle piogge di fissata durata, presentano una variabilità spaziale che nell'ambito di vaste aree non è superiore alla variabilità

	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO IA4J	LOTTO 11 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0402	PROGR. 001	REV. B	Pag. 18 di 65

campionaria. In altri termini, presentano variabilità campionaria molto elevata, ma bassa variabilità spaziale.

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

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

I° Livello di regionalizzazione:

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

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

II° Livello di regionalizzazione

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

Per il modello TCEV questo si traduce nella costanza del parametro  $\Lambda_1$ , nella sottozona omogenea, oltre che di  $\Lambda_*$  e  $\Theta_*$ . Il valore di  $\Lambda_1$  relativo alla sottozona va stimato utilizzando tutti i dati disponibili nella zona.

Se si individua una sottozona omogenea rispetto a  $\Lambda_1$  la variabile  $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_t)$  risulta identicamente distribuita, si ha cioè una curva di crescita unica per l'intera sottozona.

Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
	IA4J	11 E 78	RI	ID0402	001	B	19 di 65

III° Livello di regionalizzazione

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

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


**4.3 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  $\bar{\mu}_t$  relative ad una generica durata  $t$ , e la successiva amplificazione delle stesse attraverso il fattore di crescita (della media con il periodo di ritorno)  $K_T$

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

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
	<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO IA4J	LOTTO 11 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0402	PROGR. 001	REV. B

## 5 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI CON IL METODO VAPI

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

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

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


### 1° e II° Livello di regionalizzazione

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

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

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

Tabella 2 - 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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
	<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO IA4J	LOTTO 11 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0402	PROGR. 001	REV. B

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

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

<b>T</b>	<b>2.5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>
<b>K<sub>T</sub></b>	0.95	1.52	1.81	1.98	2.19	2.48	2.76	2.93

Tabella 3 – 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.

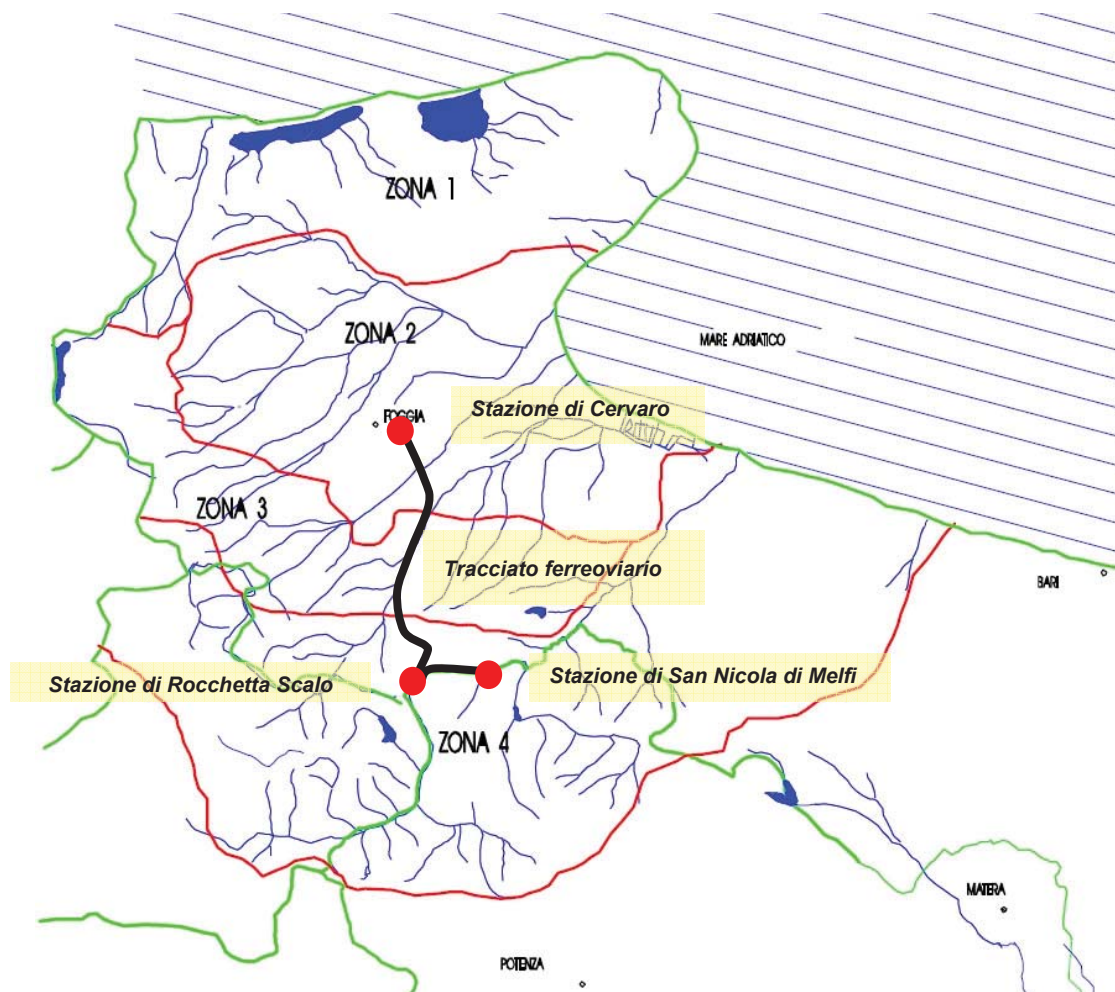



Figura 6 – Zone omogenee rispetto al valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
	<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO IA4J	LOTTO 11 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0402	PROGR. 001	REV. B

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

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

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

I valori dei parametri sono riportati nella Tabella 4.

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


Tabella 4 - 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.

Entrambi gli attraversamenti oggetto di studio ricadono nella zona 4.

Tabella 5 – Individuazione della zona pluviografica

Progr.	ZONA PLUVIO
11+850	Zona 4
12+302	Zona 4

	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	<b>PROGETTO</b> IA4J	<b>LOTTO</b> 11 E 78	<b>CODIFICA</b> RI	<b>OPERA/DISCIPLINA</b> ID0402	<b>PROGR.</b> 001	<b>REV.</b> B	<b>Pag.</b> 24 di 65

## 6 DEFINIZIONE DELLE PORTATE

### 6.1 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 tali intersezioni utilizzando il metodo razionale o del ritardo di corrivazione.

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

Il metodo si basa sulle seguenti ipotesi:

- 1) la formazione della piena si basa unicamente su un fenomeno di trasferimento di massa liquida;
- 2) ogni singola goccia di pioggia si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui è caduta;
- 3) la velocità di ogni singola goccia non è influenzata dalla presenza delle altre gocce, cioè ognuna di esse è indipendente dalle altre;
- 4) la portata defluente si ottiene sommando tra loro le portate elementari provenienti dalle singole aree del bacino che si presentano allo stesso istante nella sezione di chiusura;
- 5) la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento.

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

Nella Figura 7 è riportato uno schema del funzionamento del modello cinematico con tre precipitazioni di diversa durata (minore, uguale e maggiore rispetto al tempo di corrivazione).

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



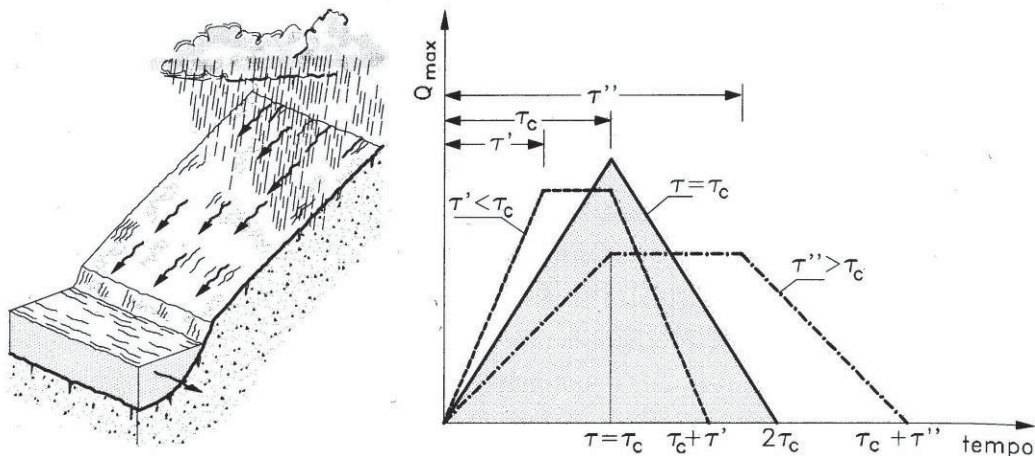


Figura 7 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.

La definizione della portata di piena avviene tramite la formula:


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

dove

- $\phi$  = coefficiente adimensionale di deflusso (o di riduzione);
- A = superficie del bacino [km<sup>2</sup>];
- $h(\tau, T)$  = altezza di pioggia netta di durata e tempo di ritorno prefissati [mm];
- $\tau$  = tempo di corrivazione del bacino [ore].

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

Il tempo di corrivazione, parametro chiave quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO IA4J	LOTTO 11 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0402	PROGR. 001	REV. B	Pag. 26 di 65

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

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

con:

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

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

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

$H_o$  = quota della sezione di chiusura [m s.m.m.].

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

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


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

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

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

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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
	<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO IA4J	LOTTO 11 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0402	PROGR. 001	REV. B

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

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:

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

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 km<sup>2</sup>:

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

## 6.2 Portate in corrispondenza degli attraversamenti idraulici oggetto di intervento.

Per i corsi d'acqua alle progressive 11+850 e 12+302 è stato possibile stimare il tempo di corrivazione sulla base delle caratteristiche geomorfologiche riportate in Tabella 1. I risultati del calcolo del tempo di corrivazione sono riportati nella Tabella 7.

Tabella 7 - Elenco dei tempi di corrivazione.

Progressiva	Area [km <sup>2</sup> ]	tc Giandotti [ore]	tc Pasini [ore]	tc Pezzoli [ore]	tc Ventura [ore]	tc Kerby [ore]	tc Puglisi [ore]	tc medio [ore]	C
11+850	14.26	2.48	2.61	2.51	2.24	2.05	3.58	2.46	0.4
12+302	2.19	-	0.99	0.80	0.93	1.21	-	0.98	0.45

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 esposte. 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).

In Tabella 8 si riportano le altezze di pioggia relative a differenti tempi di ritorno.

Tabella 8 - Elenco delle precipitazioni relative a differenti tempi di ritorno.

Progressiva	Area [km <sup>2</sup> ]	h [mm] Tr=2.5	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
11+850	14.26	-	47.3	56.3	61.6	68.1	77.1	85.8	91.1
12+302	2.19	23.0	37.4	44.5	48.7	53.9	61.0	67.9	72.1


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

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

In Tabella 9 sono elencate le portate di riferimento per il bacino afferente all'attraversamento idraulico alla progressiva km 12+302 (e quindi al nuovo attraversamento) e del bacino afferente all'attraversamento idraulico alla progressiva km 11+850.

Tabella 9 - Elenco delle portate calcolate per Tr 2.5, 10, 30, 50, 100, 200 e 300.

Progressiva	Area [km <sup>2</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=2.5	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=10	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=30	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=50	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=100	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=200	Q [m <sup>3</sup> /s] Tr=300
11+850	14.26	-	30.46	39.68	43.88	49.70	55.31	58.71
12+302	2.19	6.5	10.40	13.52	14.99	16.97	18.89	20.05

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
	<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO IA4J	LOTTO 11 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0402	PROGR. 001	REV. B

## 7 VERIFICHE IDRAULICHE

### 7.1 Metodologia

Il dimensionamento del manufatto idraulico in sostituzione di quello esistente alla pk 12+302 si inserisce nell'ambito dei progetti di elettrificazione, ammodernamento e velocizzazione della linea Foggia-Potenza i quali non prevedono modifiche dell'attuale livelleta, se non nei tratti da realizzare in variante all'attuale tracciato ferroviario. La verifica del nuovo attraversamento idraulico alla pk 12+296 è stata effettuata attraverso un modello monodimensionale (Hec-Ras) in regime di moto permanente. Per il corso d'acqua, che costituisce il recapito delle acque convogliate dall'intervento in progetto, è stato implementato un modello in moto permanente ai fini della verifica delle condizioni di sicurezza idraulica ante e post operam: i risultati di tale modello sono illustrati nello specifico capitolo di compatibilità idraulica.

In accordo con il manuale di progettazione ferroviaria, il manufatto di attraversamento oggetto della presente relazione è dimensionato in modo da garantire lo smaltimento di portate associate a eventi di pioggia con tempi di ritorno ( $T_r$ ) pari a 200 anni (estensione del bacino inferiore a  $10\text{km}^2$ ).

Nel dimensionare lo scatolare si è imposto di non restringere la sezione del corso d'acqua esistente verificando inoltre che i massimi livelli idrici per l'evento di progetto non determinino un grado di riempimento superiore al 70% dell'altezza libera dell'opera durante il normale funzionamento come prescritto dal Manuale di progettazione Ferroviaria, né velocità superiori a 4.0 m/s.

Tabella 10 – Portata di progetto per il manufatto in progetto.

Progressive	Q ( $T_r=200$ ) [m <sup>3</sup> /s]
12+296	18.89

#### 7.1.1 Verifica idraulica in moto permanente

Lo studio idraulico 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 celerimetrico dell'area di intervento.

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.

Come coefficienti di contrazione ed espansione, in corrispondenza degli attraversamenti è stato utilizzato il medesimo valore, posto pari a 0.5. Si è optato per l'introduzione, come condizioni al contorno della pendenza media dell'alveo/piano campagna a monte e il livello idrico del corso d'acqua di recapito che si determina per la piena con tempo di ritorno 30 anni, a valle.

	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
	<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	<b>PROGETTO</b> IA4J	<b>LOTTO</b> 11 E 78	<b>CODIFICA</b> RI	<b>OPERA/DISCIPLINA</b> ID0402	<b>PROGR.</b> 001	<b>REV.</b> B

## 7.2 Risultati

Nel seguito sono descritte le verifiche idrauliche a supporto del dimensionamento dell'intervento in progetto. La configurazione di progetto prevede una sistemazione del corso d'acqua per 133.35 m a monte della linea ferroviaria costituita da:

- Canale di sezione rettangolare in gabbioni con base pari a 5.0 m, altezza pari a 2.0 m, pendenza pari a 0.02 m/m, L=111.14;
- Canale sezione rettangolare in gabbioni con base pari a 5.0 m, altezza pari a 2.50 m, pendenza pari a 0.02 m/m, L=14.21;
- Un tratto di transizione realizzato con muri ad "U" della lunghezza di 8 m, pendenza pari a 0.002 m/m, altezza 3.2 m.

Il nuovo tombino al di sotto della viabilità e del fascio di binari della stazione di S. Nicola di Melfi ha lunghezza 59.35 m, dimensioni pari a 5.0x2.9 m e pendenza pari a 0.002 m/m.

Il canale di recapito immediatamente a valle del tombino ferroviario scorre parallelamente al fascio di binari della stazione di S. Nicola di Melfi e recapita le acque nel corso d'acqua che interferisce con la linea ferroviaria alla pk 11+850: tale canale ha sezione rettangolare di dimensioni pari a 5.0x5.0m e pendenza pari a 0.002m/m. La lunghezza totale dell'opera di recapito è pari a 399.60 m.

L'intervento convoglia le acque fino all'area golenale del corso d'acqua interferente la linea ferroviaria alla pk 11+850. Il tratto di raccordo tra il canale rettangolare ed il fosso esistente è caratterizzato da:

- Canale trapezio di base 5.00m, altezza 0.70m (B=7.10 m) realizzato con gabbioni metallici di spessore 50cm – Lunghezza intervento 25.00m, pendenza 9.06%;
- Ammorsamento realizzato in gabbioni 1.50x0.50m in corrispondenza della sezione iniziale;
- Ammorsamento realizzato in gabbioni 1.00x0.50m in corrispondenza della sezione finale del tratto rivestito in gabbioni.
- Tratto di raccordo realizzato con sezione trapezia rivestita con uno strato superiore di 50 cm in massi intasati con calcestruzzo e uno strato inferiore di 30 cm di materassi tipo reno, con base 5.00 m, altezza variabile, sponde inclinate 3/2 – Lunghezza 15.00;
- Tratto di raccordo realizzato con una riprofilatura in terra con base 5.00 m, altezza variabile, sponde inclinate 3/2 – Lunghezza 22.00.

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, il valore dei coefficienti di Manning utilizzati nel dimensionamento delle opere in progetto è pari a 0.028 per il tratto in materassi, 0.015 per i tratti in calcestruzzo, 0.030 per il tratto in gabbioni, pari a 0.025 per il tratto con massi intasati di calcestruzzo e 0.033 per il tratto in terra.

CANALI				
Rivestiti in		Min	Norm	Max
Calcestruzzo liscio	n	0.011	0.013	0.015
Calcestruzzo grezzo	n	0.014	0.017	0.020
pietrame con giunti stilati	n	0.018	0.025	0.030
scogliera	n	0.023	0.032	0.035

Tabella 11 - Valori dei coefficienti di scabrezza di Manning,  $n$ , relativi ad alvei naturali (Open-Channel Hydraulics, CHOW, 1959)



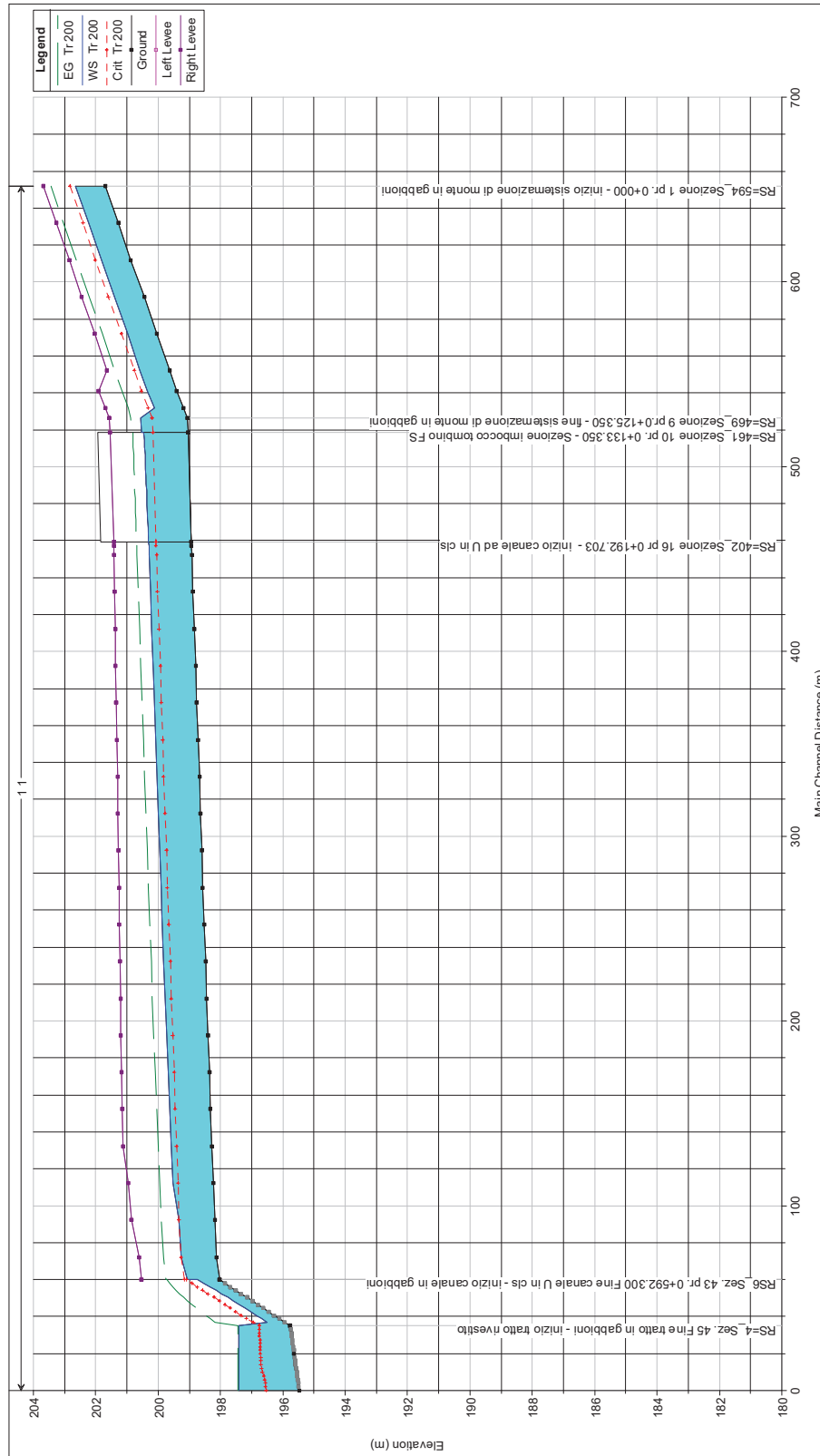


Figura 9 – Profilo idrico per la portata con  $Tr=200$ anni

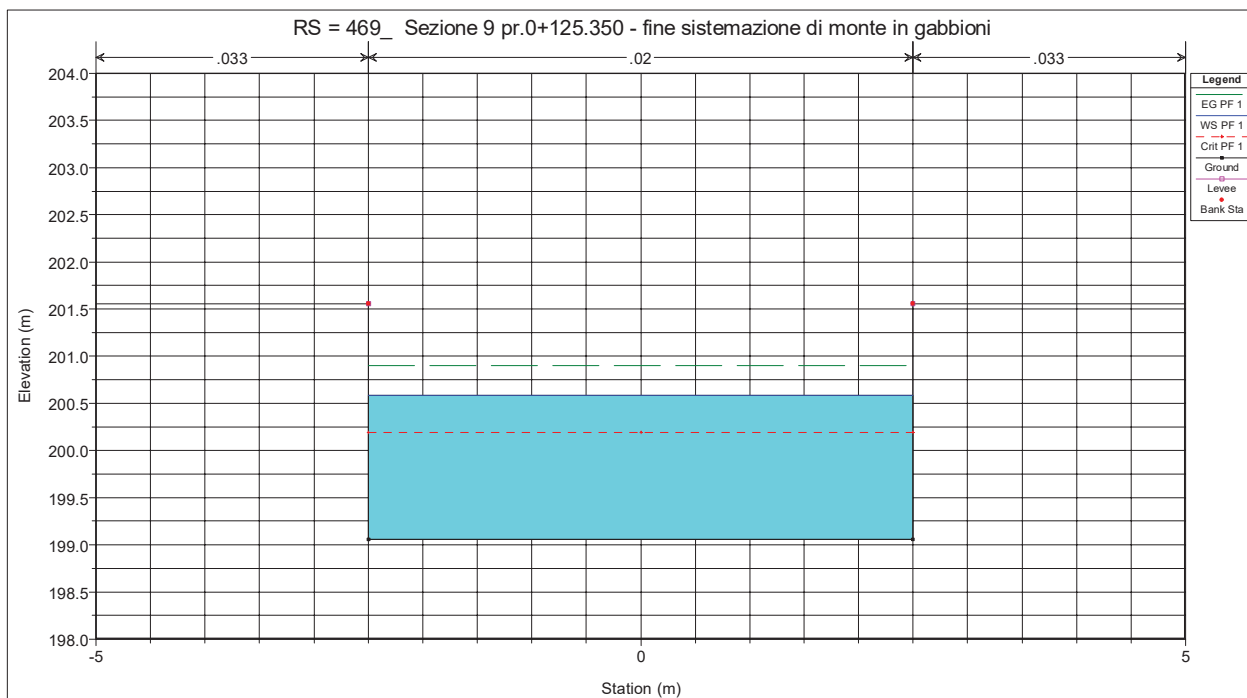
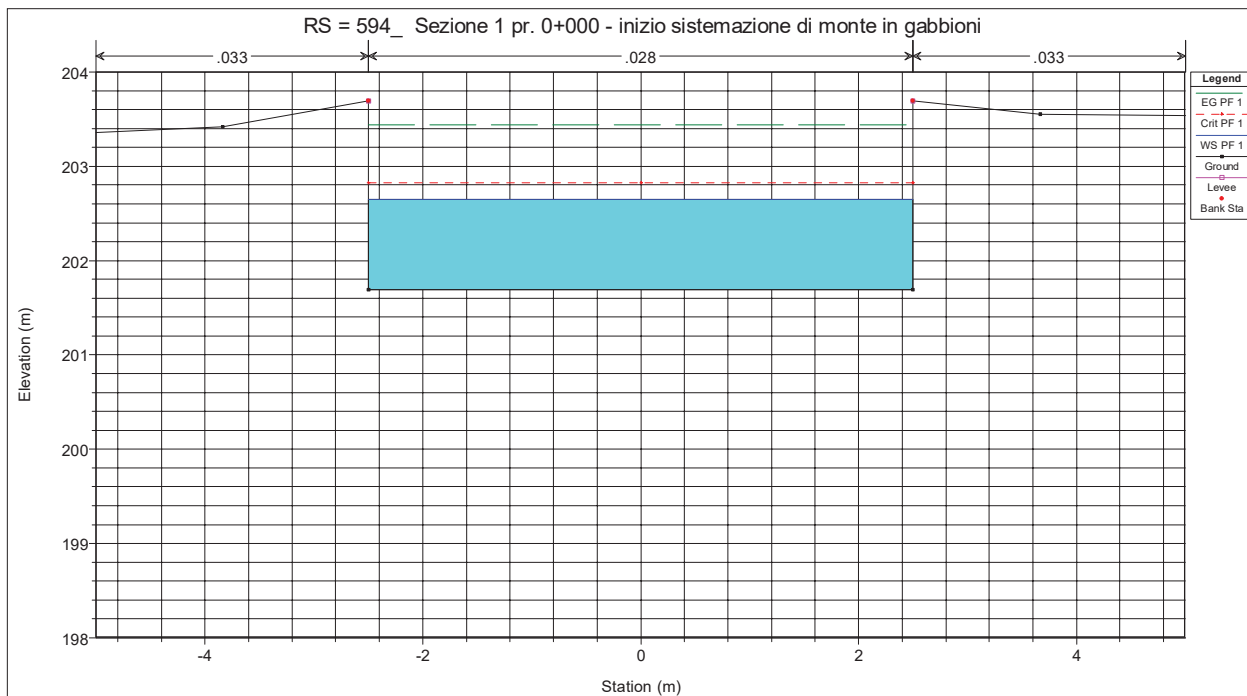


Figura 10 – Sezioni trasversali in corrispondenza della sistemazione di monte: livello idrico con  $Tr=200$ anni

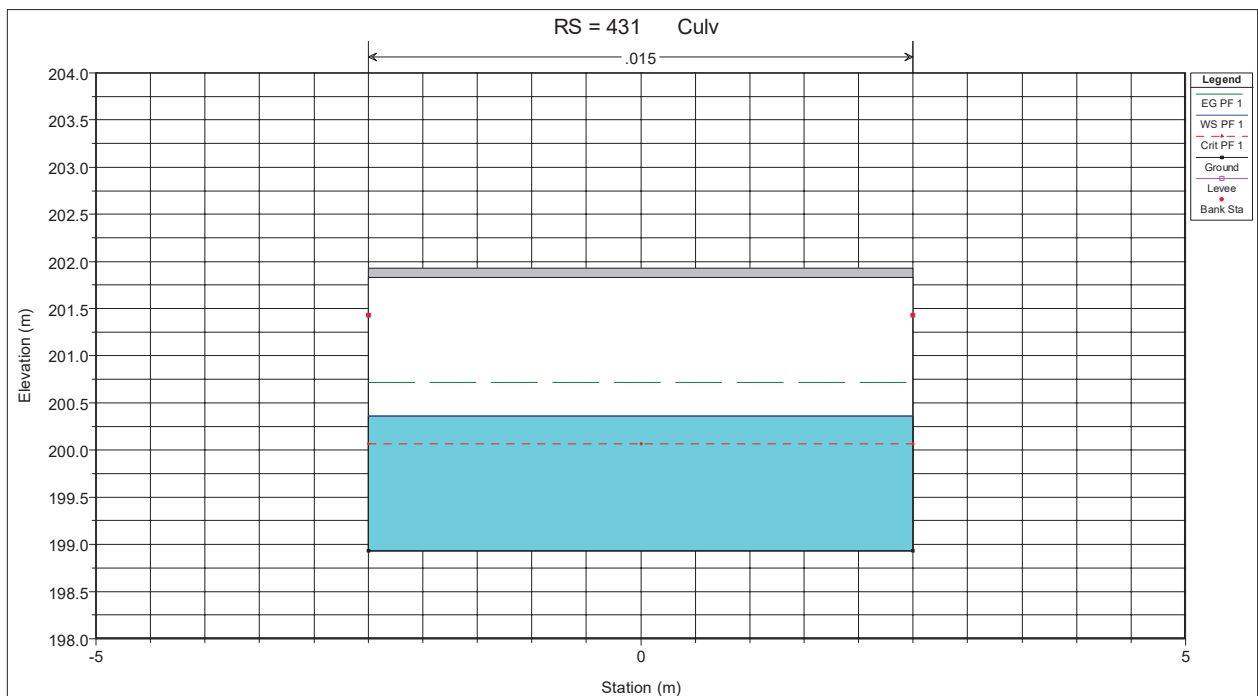
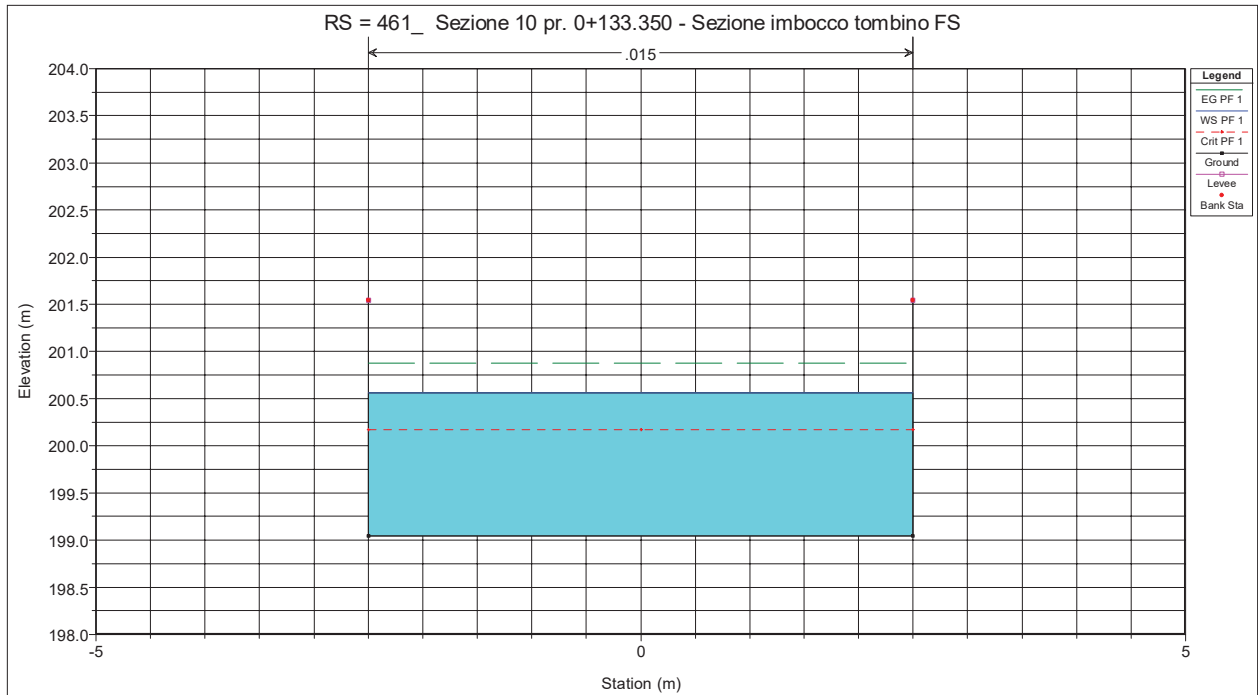


Figura 11 – Sezioni trasversali per il tombino ferroviario: livello idrico con  $T_r=200$ anni

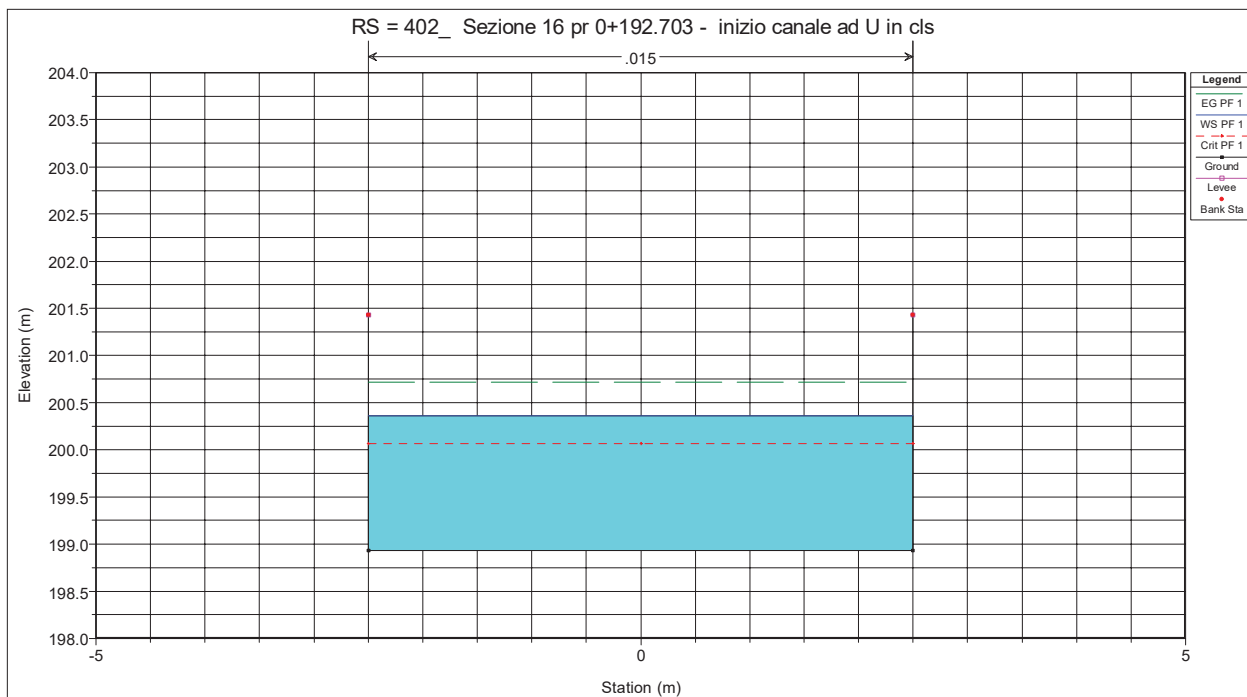


Figura 12 – Sezioni trasversali in corrispondenza della sistemazione di valle: livello idrico con  $Tr=200$ anni

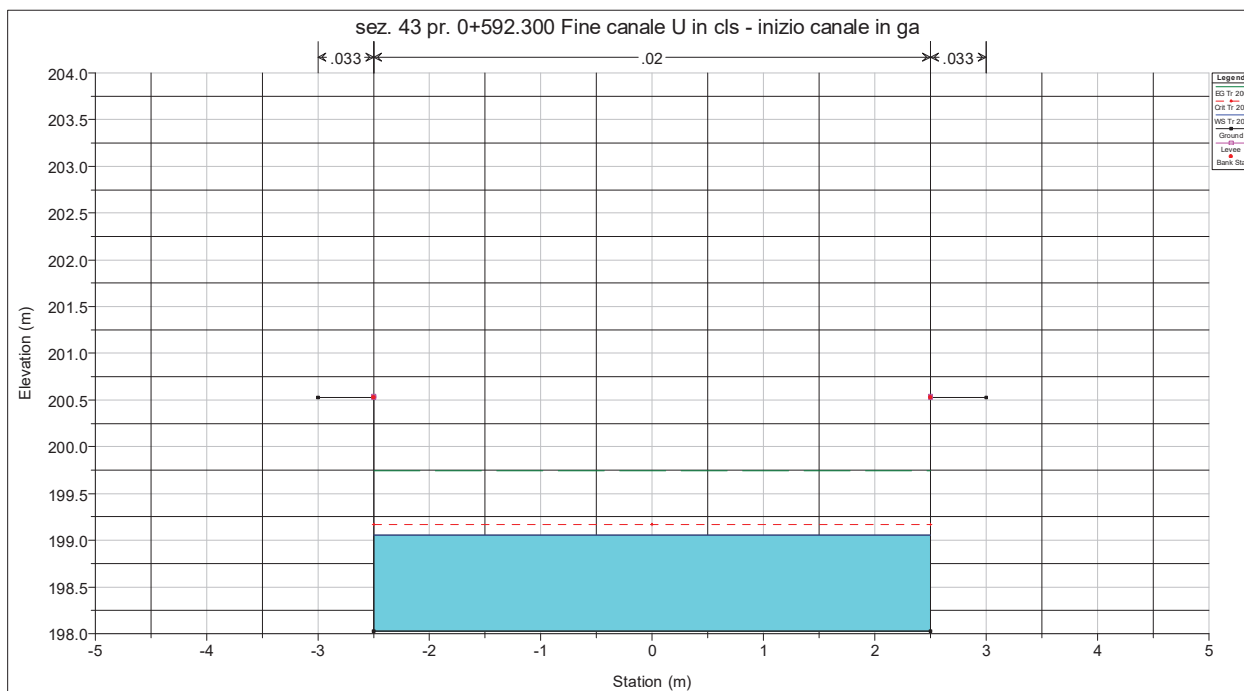

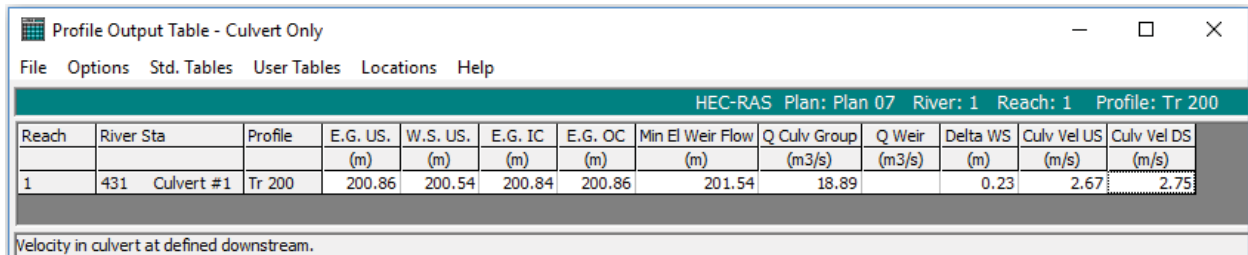


Figura 13 – Sistemazione finale in gabbioni: livello idrico con  $Tr=200$ anni

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
	<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO IA4J	LOTTO 11 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0402	PROGR. 001	REV. B



Reach	River Sta	Profile	E.G. US	W.S. US	E.G. IC	E.G. OC	Min El Weir Flow	Q Culv Group	Q Weir	Delta WS	Culv Vel US	Culv Vel DS
1	431 Culvert #1	Tr 200	(m) 200.86	(m) 200.54	(m) 200.84	(m) 200.86	(m) 201.54	(m3/s) 18.89	(m3/s)	(m) 0.23	(m/s) 2.67	(m/s) 2.75

Velocity in culvert at defined downstream.

Figura 14 – Output di dettaglio del modello per il tombino in progetto: Tombino FS (431 Culvert#1)

In sintesi, le simulazioni effettuate mostrano che la portata di progetto è contenuta con franchi idraulici di circa 1m nei tratti con sezione a cielo aperto; in merito al tombino in progetto, i risultati sono riassunti nella tabella seguente: in corrispondenza delle portate di progetto è garantito un franco idraulico di 1.0m all'interno del tombino.

Manufatto	Lunghezza [m]	Pendenza (%)	Tirante (Tr=200anni)	Riempimento (%)	Franco idraulico (Tr=200anni)	Velocità max (m/s)
Tombino FS	59.35	0.2	1.50	53	1.40	2.75

Tabella 12 – Sintesi dei risultati delle verifiche idrauliche per i tombini in progetto.

A completamento degli interventi, a monte della viabilità sono previsti due tratti di canale rivestito in cls per raccordare l'attuale sistema di drenaggio al nuovo tombino ferroviario; l'estensione degli interventi è pari complessivamente a circa 60.00 m. L'intervento è realizzato con canali di sezione trapezia in cls 0.50x0.50 B=1.50m.

## 8 VERIFICHE RIVESTIMENTI IN GABBIONI E MATERASSI RENO

Prove di laboratorio mostrano che i rivestimenti in materassi tipo “Reno” dello spessore di 30 cm e riempimento con pezzatura variabile tra i 70-120 mm presentano una velocità critica (primo movimento) di 4.2 m/s e una velocità limite (massima deformazione) pari a 5.5 m/s; se invece si adotta una pezzatura variabile tra 100-150 mm si possono raggiungere velocità critiche (primo movimento) di 5,0 m/s e velocità limite (massima deformazione) di 6,4 m/s.

I gabbioni, invece, dello spessore di 50 cm e riempimento con pezzatura variabile tra i 100-200 mm presentano una velocità critica (primo movimento) di 5.8 m/s e una velocità limite (massima deformazione) pari a 7.6 m/s; se si adotta una pezzatura variabile tra 120-250 mm si possono raggiungere velocità critiche (primo movimento) di 6,4 m/s e velocità limite (massima deformazione) di 8,0 m/s.

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

Nel tratto tra le pk 0+000 e 0+125.35 (pendenza longitudinale 2%), da realizzarsi in gabbioni e materassi di spessore 0.3m, con strato di geotessile, le velocità risultano comprese tra 3.95 e 4.08 m/s. I rivestimenti sono stabili con la pezzatura adottata di 80-120 mm, diametro medio 100 mm.

Nel tratto tra le pk 0+592.30 e 0+617.30 (pendenza longitudinale 9%), da realizzarsi in gabbioni di spessore 0.5m, con strato di geotessile, le velocità risultano comprese tra 4.37 e 5.73 m/s. I rivestimenti sono stabili con la pezzatura adottata di 120-250 mm, diametro medio 190 mm.



<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
	IA4J	11 E 78	RI	ID0402	001	B	41 di 65

Nelle protezioni in materassi metallici e gabbioni, come in quelle in pietrame sciolto, lo spessore del rivestimento e le dimensioni del pietrame devono essere tali da resistere al movimento causato dalla corrente e da evitare l'erosione del materiale di base. La velocità  $v_b$  dell'acqua al di sotto del rivestimento dipende principalmente dalla pendenza del corso d'acqua e dalla grandezza dei vuoti tra il pietrame, cioè dalle dimensioni del pietrame medesimo, nell'ipotesi che la direzione predominante del flusso sia parallela alla superficie del rivestimento in pietrame o in materassi metallici. Tale velocità rimane praticamente costante al variare delle condizioni idrauliche e dello spessore del rivestimento.

La velocità residua  $v_b$  può essere calcolata con la formula di Manning (valida per materiali posati sul fondo):

$$v_b = \frac{1}{n_f} \left( \frac{d_m}{2} \right)^{2/3} \sqrt{i_f}$$

in cui  $i_f$  e  $n_f$  sono rispettivamente la pendenza del fondo alveo e il coefficiente di scabrezza al fondo della formula di Manning. In particolare, i valori sono:

$n_f = 0.025$ , se sotto il rivestimento è presente un filtro in ghiaia;

$n_f = 0.020$ , se sotto il rivestimento è presente un filtro in geotessile o se non c'è filtro.

La velocità  $v_b$  dovrà essere confrontata con la velocità  $v_c$  ammissibile all'interfaccia con il materiale di base.

Nel caso di terreni coesivi, la velocità  $v_c$ , che il terreno può sopportare senza venire eroso (massima velocità ammissibile), può essere stimata utilizzando il grafico della Figura 15.

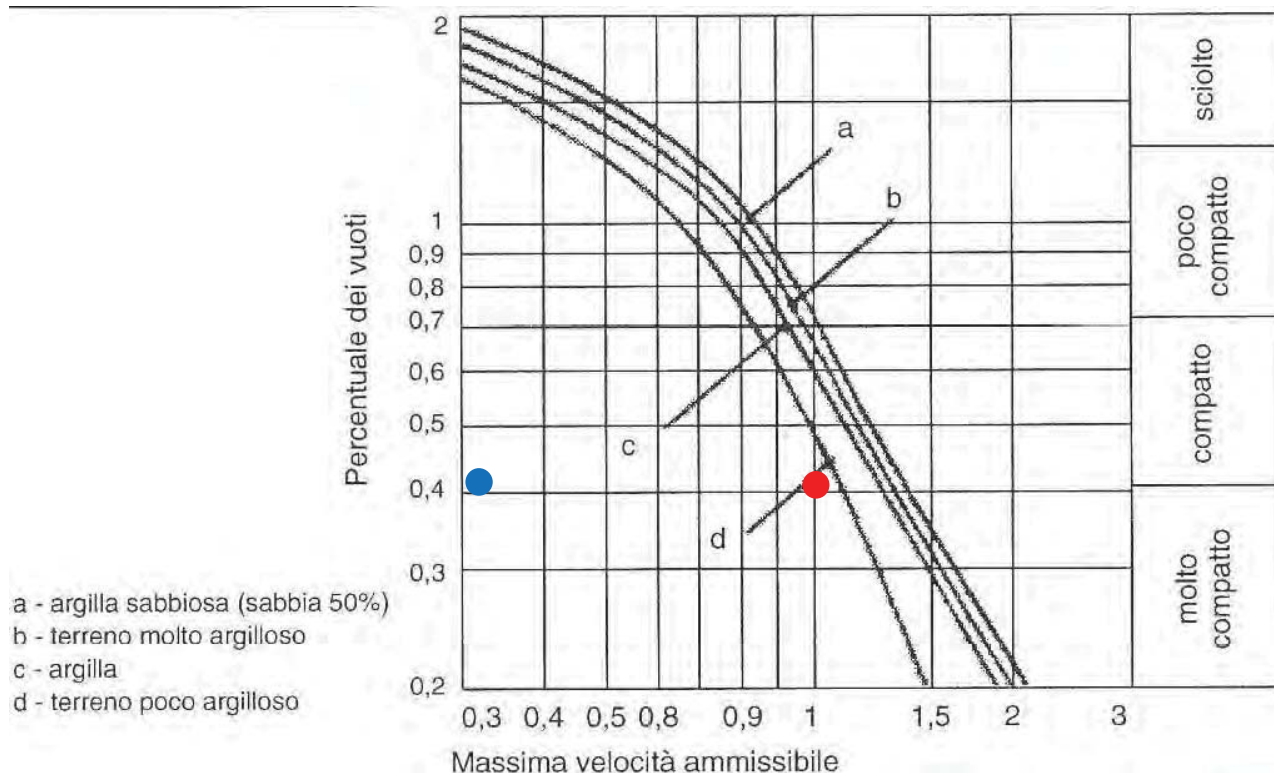


Figura 15 – Valori delle massime velocità ammissibili per i terreni coesivi [Officine Maccaferri].

Nel caso di terreni incoerenti la  $v_c$  vale:

$$v_c = 16,1\sqrt{d}$$

dove  $v_c$  è espressa in m/s e  $d$  è la dimensione delle particelle del suolo che si vuole evitare vengano erose (espressa in m).

Nel caso di impiego di un filtro geotessile, la velocità dell'acqua passando da sopra a sotto il geotessile, all'interfaccia con il suolo si riduce e vale 1/2 – 1/4 del valore di  $v_b$  a seconda del tipo di geotessile.

Nel tratto tra le pk 0+000 e 0+125.35 (pendenza longitudinale 2%), da realizzarsi in gabbioni e materassi di spessore 0.3m, con strato di geotessile, la velocità residua  $v_b$ , considerato il diametro medio del pietrame di riempimento dei materassi pari a 0.1m, risulta essere uguale a 0.96 m/s; tenendo conto della presenza del geotessile tale velocità può essere ridotta di 1/3 e assume il valore di 0.32 m/s.

Con riferimento al Sondaggio S34 (profondità 2.2m), il materiale in situ è costituito da limo con argilla, caratterizzato da un  $d_{m50}=0.0064$ mm e da una porosità pari al 41%; la velocità residua risulta inferiore a quella ammissibile (Figura 15 – punto blu).

Nel tratto tra le pk 0+592.30 e 0+617.30 (pendenza longitudinale 9%), da realizzarsi in gabbioni di

spessore 0.5m, con strato di geotessile, la velocità residua  $v_b$ , considerato il diametro medio del pietrame di riempimento dei gabbioni pari a 0.19 m, risulta essere uguale a 3.12 m/s; tenendo conto della presenza del geotessile tale velocità può essere ridotta di 1/3 e assume il valore di 1.04 m/s.

Con riferimento al Sondaggio S34 (profondità 2.2m), il materiale in situ è costituito da limo con argilla, caratterizzato da un  $d_{m50}=0.0064\text{mm}$  e da una porosità pari al 41%; la velocità residua risulta inferiore a quella ammissibile (Figura 15 – punto rosso).



portata con  $T_r=200$  anni e le portate risultano sempre contenuto nelle aree golenali.

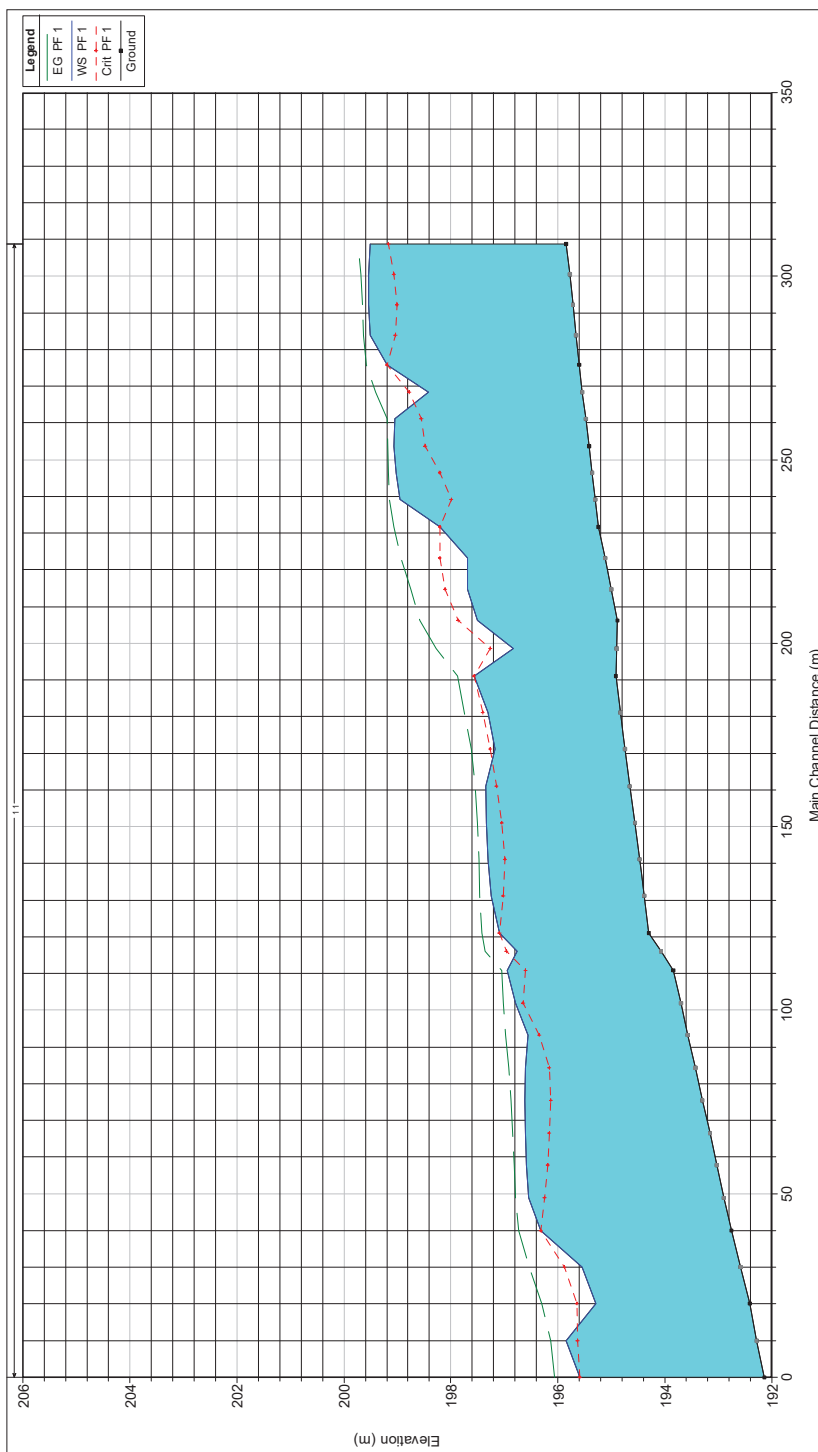


Figura 17 – Corso d’acqua alla pk 11+850, configurazione ante operam: profilo idrico per  $T_r=200$ anni



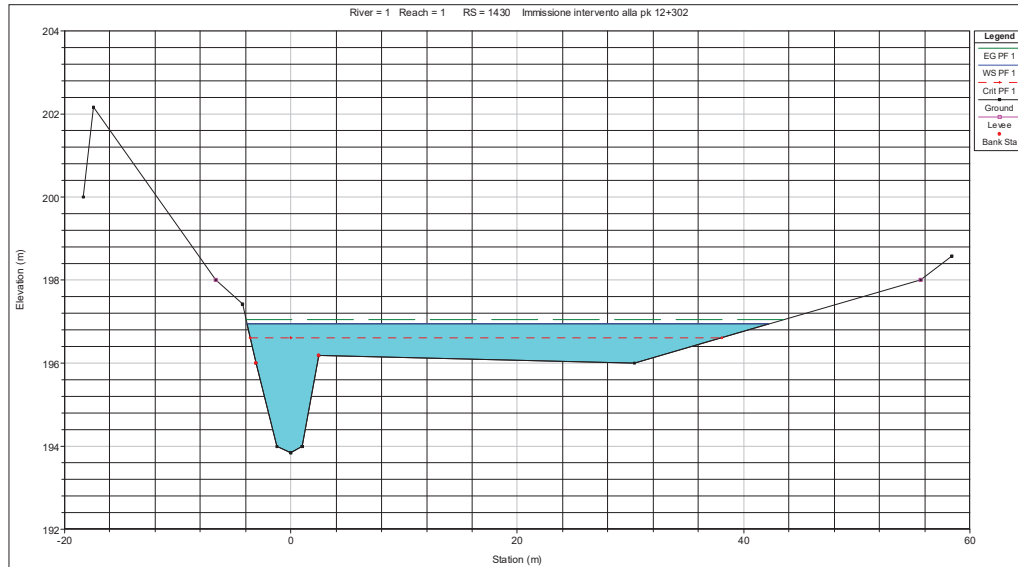


Figura 18 – Corso d’acqua alla pk 11+850, configurazione ante operam: Sezione trasversale in corrispondenza della immissione delle acque convogliate dalle opere in progetto.

Profile Output Table - Standard Table 1

HEC-RAS Plan: Plan.04 River: 1 Reach: 1 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	1500	PF 1	55.31	195.84	195.51	193.17	193.74	0.004992	2.16	25.66	30.18	0.75
1	1497.5*	PF 1	55.31	195.78	193.54	193.07	193.68	0.002790	1.69	32.75	36.77	0.57
1	1495.*	PF 1	55.31	195.72	193.53	193.00	193.66	0.002161	1.55	35.76	37.97	0.51
1	1492.5*	PF 1	55.31	195.66	193.50	193.03	193.64	0.002437	1.63	34.03	36.36	0.54
1	1490	PF 1	55.31	195.60	193.20	193.20	193.58	0.009619	2.72	20.32	26.79	1.00
1	1486.66*	PF 1	55.31	195.54	193.42	193.78	193.41	0.021868	4.42	12.50	14.27	1.51
1	1483.33*	PF 1	55.31	195.48	193.05	193.54	193.20	0.001882	1.74	34.07	38.41	0.49
1	1480	PF 1	55.31	195.42	193.06	193.48	193.18	0.001135	1.70	41.44	44.24	0.39
1	1476.66*	PF 1	55.31	195.36	193.02	193.20	193.17	0.001072	1.83	37.86	35.81	0.39
1	1473.33*	PF 1	55.31	195.30	193.94	193.99	193.15	0.001391	2.16	31.24	26.97	0.43
1	1470	PF 1	55.31	195.24	193.20	193.20	193.07	0.008056	4.13	13.78	10.14	0.90
1	1466.66*	PF 1	55.31	195.12	193.69	193.21	193.94	0.015311	4.94	11.20	7.76	1.28
1	1463.33*	PF 1	55.31	195.01	193.69	193.11	193.75	0.015568	4.64	12.87	17.49	1.30
1	1460	PF 1	55.31	194.89	193.51	193.87	193.58	0.025964	4.91	13.70	29.95	1.61
1	1455.*	PF 1	55.31	194.91	193.83	193.27	193.27	0.050349	5.32	10.40	17.93	2.23
1	1450	PF 1	55.31	194.92	193.57	193.57	193.88	0.009585	2.46	22.51	37.80	1.00
1	1448.57*	PF 1	55.31	194.83	193.31	193.41	193.75	0.013956	2.94	18.83	30.92	1.20
1	1447.14*	PF 1	55.31	194.74	193.17	193.26	193.62	0.012770	2.96	18.77	30.44	1.16
1	1445.71*	PF 1	55.31	194.65	193.35	193.15	193.54	0.003764	1.98	23.16	39.87	0.67
1	1444.28*	PF 1	55.31	194.57	193.33	193.04	193.51	0.002646	1.91	31.45	39.88	0.58
1	1442.85*	PF 1	55.31	194.48	193.30	193.98	193.48	0.002288	1.97	32.27	40.15	0.55
1	1441.42*	PF 1	55.31	194.39	193.25	193.02	193.46	0.002498	2.21	31.31	40.34	0.58
1	1440	PF 1	55.31	194.30	193.09	193.09	193.42	0.004893	3.01	25.38	37.53	0.77
1	1435.*	PF 1	55.31	194.07	193.77	193.96	193.36	0.007255	3.84	20.62	38.02	0.94
1	1430	PF 1	55.31	193.84	193.94	193.61	193.05	0.001315	1.85	42.71	46.13	0.39
1	1428.75*	PF 1	55.31	193.71	193.79	193.65	193.02	0.002171	2.41	31.65	38.85	0.53
1	1427.5*	PF 1	55.31	193.57	193.56	193.35	193.98	0.003795	2.93	21.71	28.11	0.70
1	1426.25*	PF 1	55.31	193.43	193.60	193.16	193.92	0.002935	2.54	23.71	23.27	0.62
1	1425.*	PF 1	55.31	193.30	193.61	193.14	193.88	0.002615	2.32	25.28	21.96	0.58
1	1423.75*	PF 1	55.31	193.16	193.61	193.16	193.85	0.002582	2.19	26.28	21.97	0.57
1	1422.5*	PF 1	55.31	193.03	193.59	193.19	193.82	0.002799	2.14	26.58	22.64	0.58
1	1421.25*	PF 1	55.31	192.90	193.55	193.25	193.80	0.003456	2.19	25.80	23.64	0.63
1	1420	PF 1	55.31	192.76	193.31	193.31	193.73	0.009606	2.86	19.45	24.10	0.99
1	1415.*	PF 1	55.31	192.59	193.54	193.88	193.53	0.023791	4.40	12.58	15.72	1.57
1	1410	PF 1	55.31	192.42	193.29	193.64	193.30	0.020883	4.46	12.41	13.69	1.49
1	1405.*	PF 1	55.31	192.28	193.85	193.63	193.14	0.004958	2.38	23.27	23.37	0.76
1	1400	PF 1	55.31	192.14	193.59	193.06	193.06	0.009093	3.04	18.21	19.23	1.00

Total flow in cross section.

Figura 19 – Corso d’acqua alla pk 11+850, configurazione ante operam: Output del modello Q Tr 200 anni.

La verifica della configurazione post operam è stata effettuata sommando puntualmente alla portata con  $Tr=200$ anni per il corso alla pk 11+850 la portata con  $Tr=200$ anni convogliata dalle opere in progetto alla pk12+296. Tale configurazione risulta quindi fortemente cautelativa in quanto vede una sovrapposizione netta dei picchi delle portate di progetto calcolate per i due attraversamenti anziché valutare una portata con  $Tr=200$ anni associata alla somma dei bacini afferenti agli attraversamenti 11+850 e 12+302.

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: Plan 06 River: 1 Reach: 1 Profile: 200												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
1	1500	200	55.31	195.84	199.50	199.17	199.74	0.004993	2.16	25.65	30.18	0.75
1	1497.5*	200	55.31	195.78	199.54	199.07	199.68	0.002790	1.69	32.75	36.76	0.57
1	1495.*	200	55.31	195.72	199.53	199.01	199.66	0.002161	1.55	35.76	37.96	0.51
1	1492.5*	200	55.31	195.66	199.50	199.03	199.64	0.002437	1.63	34.03	36.36	0.54
1	1490	200	55.31	195.60	199.20	199.20	199.58	0.009557	2.72	20.37	26.84	1.00
1	1486.66*	200	55.31	195.54	198.42	198.78	199.41	0.021855	4.42	12.50	14.27	1.51
1	1483.33*	200	55.31	195.48	199.05	198.54	199.20	0.001880	1.74	34.09	38.42	0.49
1	1480	200	55.31	195.42	199.06	198.48	199.18	0.001133	1.70	41.46	44.25	0.39
1	1476.66*	200	55.31	195.36	199.02	198.20	199.17	0.001070	1.83	37.88	35.82	0.39
1	1473.33*	200	55.31	195.30	198.94	197.99	199.15	0.001390	2.16	31.25	26.98	0.43
1	1470	200	55.31	195.24	198.21	198.21	199.07	0.008022	4.13	13.80	10.17	0.90
1	1466.66*	200	55.31	195.12	197.69	198.20	198.94	0.015307	4.94	11.20	7.76	1.28
1	1463.33*	200	55.31	195.01	197.69	198.11	198.75	0.015572	4.64	12.87	17.49	1.31
1	1460	200	55.31	194.89	197.51	197.87	198.58	0.025966	4.91	13.70	29.95	1.62
1	1455.*	200	55.31	194.91	198.03	197.27	198.11	0.000864	1.28	47.12	52.88	0.34
1	1450	200	74.20	194.92	197.73	197.73	198.07	0.008589	2.56	29.50	47.27	0.97
1	1448.57*	200	74.20	194.83	197.47	197.58	197.95	0.012848	3.07	24.43	39.13	1.18
1	1447.14*	200	74.20	194.74	197.33	197.45	197.82	0.012195	3.12	24.27	37.36	1.16
1	1445.71*	200	74.20	194.65	197.52	197.32	197.75	0.003623	2.18	36.36	45.13	0.67
1	1444.28*	200	74.20	194.57	197.50	197.23	197.72	0.002791	2.15	38.49	44.99	0.61
1	1442.85*	200	74.20	194.48	197.46	197.18	197.69	0.002551	2.25	39.06	44.99	0.59
1	1441.42*	200	74.20	194.39	197.40	197.22	197.66	0.002863	2.53	37.75	45.08	0.63
1	1440	200	74.20	194.30	197.26	197.26	197.62	0.004970	3.25	32.23	43.14	0.79
1	1435.*	200	74.20	194.07	196.90	197.11	197.56	0.007919	4.22	25.86	41.00	1.00
1	1430	200	74.20	193.84	197.21	196.75	197.31	0.001153	1.87	55.45	49.71	0.37
1	1428.75*	200	74.20	193.71	197.09	196.82	197.29	0.001739	2.36	43.88	42.57	0.48
1	1427.5*	200	74.20	193.57	196.81	196.81	197.25	0.003635	3.13	29.79	34.60	0.70
1	1426.25*	200	74.20	193.43	196.79	196.56	197.21	0.003502	2.97	28.42	27.51	0.68
1	1425.*	200	74.20	193.30	196.80	196.44	197.16	0.003120	2.72	29.67	24.70	0.64
1	1423.75*	200	74.20	193.16	196.80	196.40	197.13	0.003023	2.57	30.66	23.91	0.63
1	1422.5*	200	74.20	193.03	196.79	196.42	197.09	0.003182	2.49	31.04	24.06	0.64
1	1421.25*	200	74.20	192.90	196.75	196.45	197.06	0.003724	2.50	30.48	24.71	0.67
1	1420	200	74.20	192.76	196.50	196.50	197.00	0.008810	3.13	24.01	24.89	0.99
1	1415.*	200	74.20	192.59	195.76	196.09	196.81	0.023204	4.53	16.37	19.57	1.58
1	1410	200	74.20	192.42	195.54	195.90	196.59	0.020300	4.53	16.39	17.72	1.50
1	1405.*	200	74.20	192.28	196.09	195.86	196.42	0.004633	2.53	29.36	26.02	0.76
1	1400	200	74.20	192.14	195.84	195.84	196.34	0.008689	3.12	23.76	23.70	1.00

Total flow in cross section.

Figura 20 Corso d'acqua alla pk 11+850, configurazione post operam: Output del modello Q Tr 200 anni

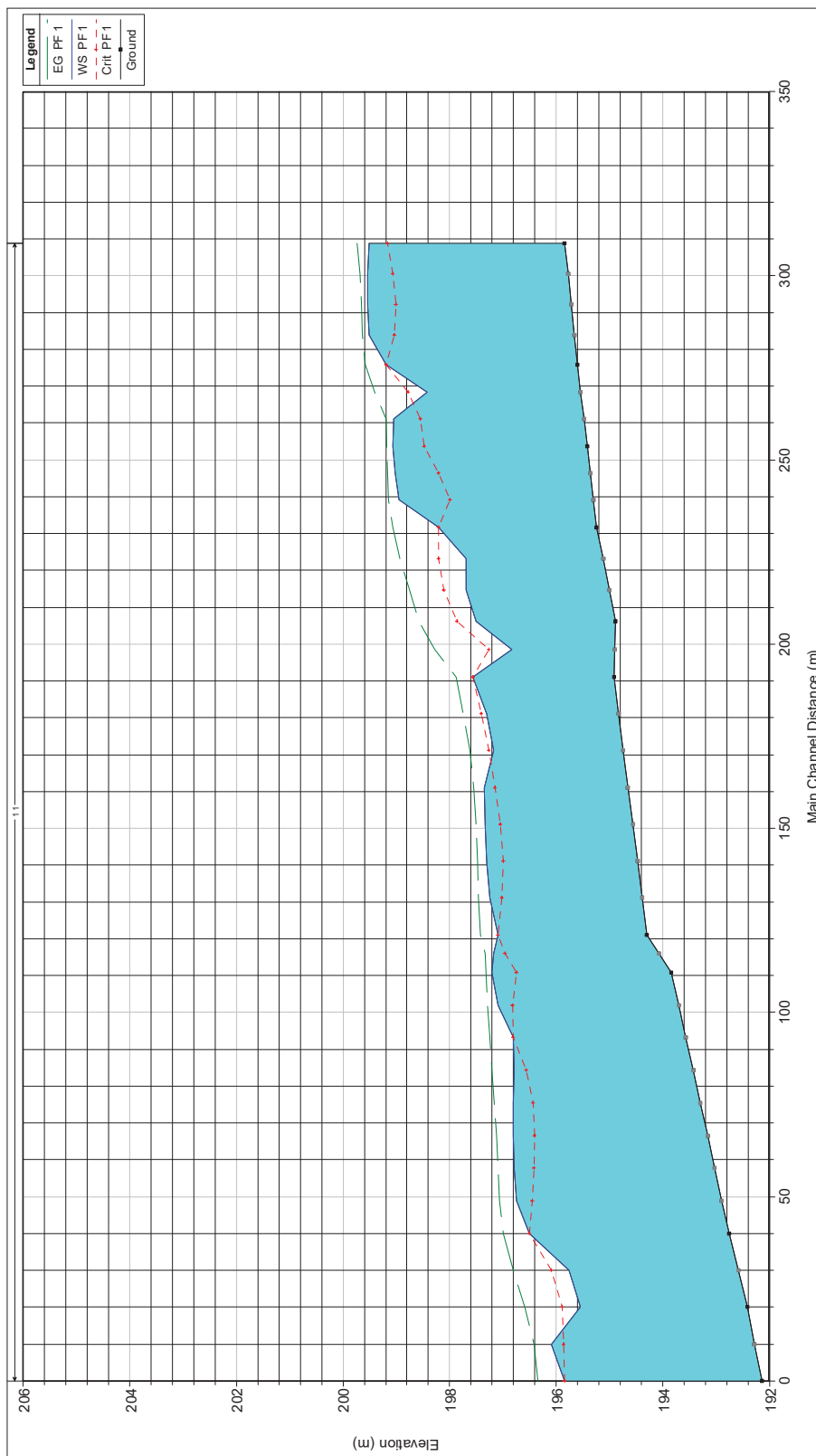


Figura 21 – Corso d'acqua alla pk 11+850, configurazione post operam: profilo idrico per  $Tr=200$ anni



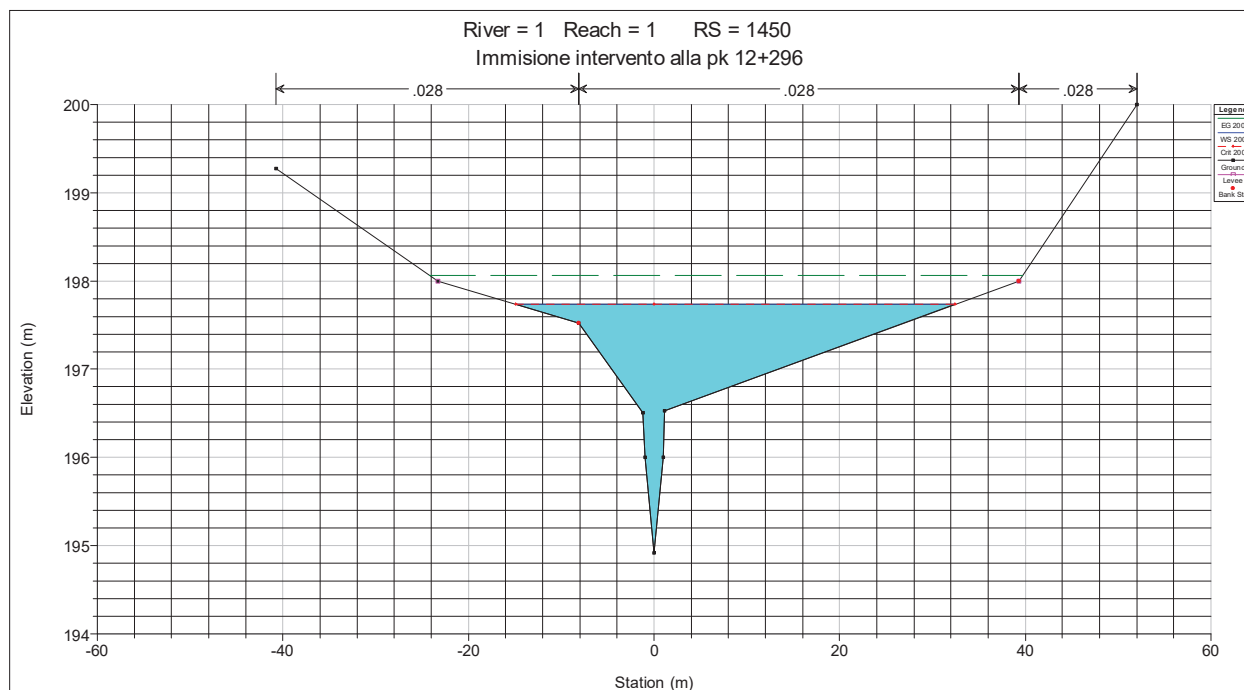


Figura 22 – Corso d’acqua alla pk 11+850, configurazione post operam: Sezione trasversale in corrispondenza della immissione delle acque convogliate dalle opere in progetto.

Le simulazioni effettuate mostrano che l’incremento dei livelli idrici a valle delle opere di recapito in progetto ha un valore medio di 27 cm. Il dato è evidente dal confronto dei livelli idrici presentati in forma tabellare nella Figura 19 e Figura 20.

Nel seguito sono mostrate alcune sezioni trasversali poste a valle del punto di recapito in progetto: da queste è evidente che le portate nella configurazione post operam continuano ad essere contenute nell’alveo del corso d’acqua; l’incremento medio dei livelli idrici (27 cm) a valle del punto di immissione quindi non induce esondazioni e non si configura un aumento di pericolosità idraulica per l’area oggetto di intervento.

Se ne deduce quindi la compatibilità idraulica dell’intervento in progetto in accordo con gli strumenti normativi vigenti.



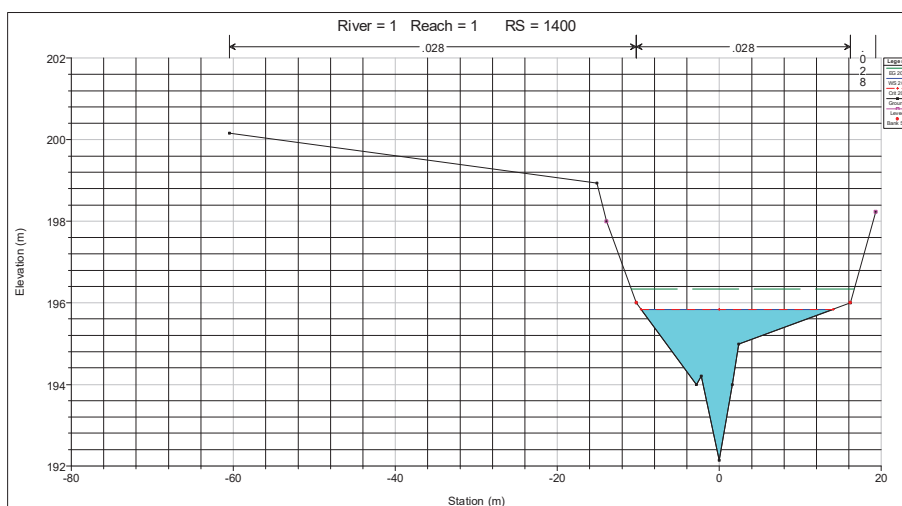
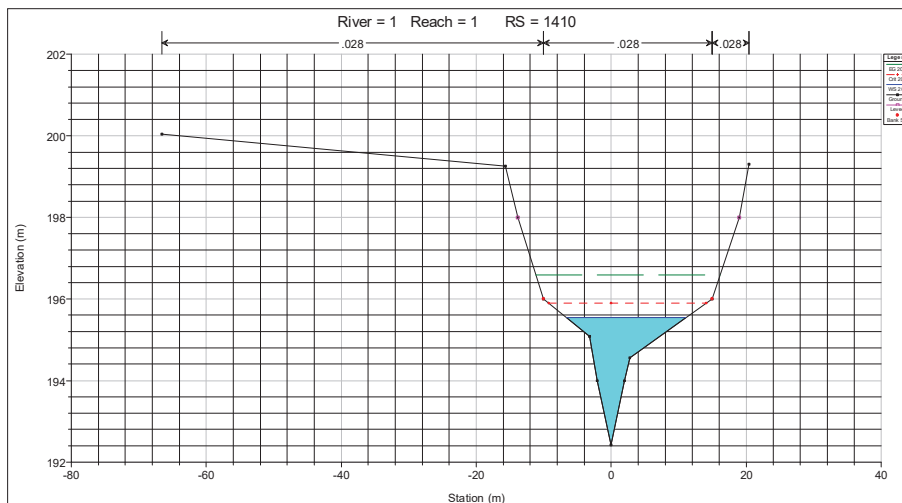


Figura 23 – Corso d'acqua alla pk 11+850, configurazione post operam: sezioni trasversali a valle delle opere di recapito dell'intervento in progetto per l'attraversamento alla pk 12+296.

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables User Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: Ante operam River: 1 Reach: 1 Profile: Tr 30 Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1	1500	Tr 30	39.68	195.84	199.29	198.87	199.49	0.003834	1.98	20.02	21.29	0.65
1	1497.5*	Tr 30	39.68	195.78	199.31	198.66	199.44	0.002613	1.57	25.22	29.65	0.54
1	1495.*	Tr 30	39.68	195.72	199.31	198.70	199.41	0.002040	1.42	27.88	31.85	0.49
1	1492.5*	Tr 30	39.68	195.66	199.28	198.77	199.39	0.002313	1.49	26.57	30.73	0.51
1	1490	Tr 30	39.68	195.60	198.98	198.98	199.33	0.010103	2.62	15.12	21.40	1.00
1	1486.66*	Tr 30	39.68	195.54	198.13	198.48	199.15	0.027167	4.47	8.87	11.44	1.62
1	1483.33*	Tr 30	39.68	195.48	197.67	198.09	198.93	0.026644	4.97	7.98	8.80	1.67
1	1480	Tr 30	39.68	195.42	197.82	198.18	198.72	0.011902	4.20	9.45	6.82	1.14
1	1476.66*	Tr 30	39.68	195.36	198.31	197.84	198.58	0.002749	2.29	18.36	19.09	0.58
1	1473.33*	Tr 30	39.68	195.30	198.25	197.63	198.55	0.002689	2.44	16.93	14.38	0.57
1	1470	Tr 30	39.68	195.24	197.66	197.63	198.47	0.009682	3.98	9.96	5.86	0.98
1	1466.66*	Tr 30	39.68	195.12	197.72	197.60	198.34	0.007469	3.48	11.42	8.24	0.90
1	1463.33*	Tr 30	39.68	195.01	197.80	197.80	198.22	0.005809	2.96	15.11	22.53	0.81
1	1460	Tr 30	39.68	194.89	197.47	197.70	198.12	0.016020	3.79	12.52	27.78	1.26
1	1455.*	Tr 30	39.68	194.91	197.64	197.07	197.73	0.001430	1.33	29.95	33.41	0.42
1	1450	Tr 30	39.68	194.92	197.41	197.41	197.69	0.010106	2.31	17.17	31.44	1.00
1	1448.57*	Tr 30	39.68	194.83	197.14	197.24	197.55	0.015224	2.84	13.95	25.28	1.22
1	1447.14*	Tr 30	39.68	194.74	197.18	197.08	197.40	0.006458	2.11	18.90	30.63	0.83
1	1445.71*	Tr 30	39.68	194.65	197.17	196.94	197.33	0.003970	1.81	22.40	33.71	0.67
1	1444.28*	Tr 30	39.68	194.57	197.15	196.85	197.29	0.002594	1.68	24.85	34.38	0.56
1	1442.85*	Tr 30	39.68	194.48	197.13	196.78	197.27	0.002068	1.71	25.82	34.75	0.51
1	1441.42*	Tr 30	39.68	194.39	197.09	196.79	197.25	0.002186	1.91	25.08	35.05	0.53
1	1440	Tr 30	39.68	194.30	196.90	196.90	197.20	0.004980	2.78	18.96	31.38	0.76
1	1435.*	Tr 30	39.68	194.07	196.61	196.80	197.15	0.006723	3.47	15.09	31.56	0.89
1	1430	Tr 30	39.68	193.84	196.74	196.48	196.84	0.001257	1.71	33.89	43.48	0.37
1	1428.75*	Tr 30	39.68	193.71	196.30	196.04	196.78	0.005076	3.09	14.05	27.93	0.77
1	1427.5*	Tr 30	39.68	193.57	196.40	195.90	196.69	0.002872	2.40	17.76	21.12	0.60
1	1426.25*	Tr 30	39.68	193.43	196.43	195.86	196.65	0.002261	2.08	19.97	19.31	0.53
1	1425.*	Tr 30	39.68	193.30	196.43	195.87	196.62	0.002059	1.90	21.54	19.33	0.50
1	1423.75*	Tr 30	39.68	193.16	196.43	195.91	196.59	0.002098	1.81	22.41	20.11	0.50
1	1422.5*	Tr 30	39.68	193.03	196.41	195.98	196.57	0.002375	1.79	22.52	21.27	0.52
1	1421.25*	Tr 30	39.68	192.90	196.37	196.07	196.55	0.003126	1.86	21.54	22.61	0.59
1	1420	Tr 30	39.68	192.76	196.14	196.14	196.48	0.010536	2.58	15.40	23.38	1.00
1	1415.*	Tr 30	39.68	192.59	195.28	195.64	196.26	0.024140	4.39	9.03	10.97	1.55
1	1410	Tr 30	39.68	192.42	194.96	195.35	196.02	0.022102	4.57	8.67	9.17	1.50
1	1405.*	Tr 30	39.68	192.28	195.56	195.36	195.83	0.005378	2.30	17.22	18.94	0.77
1	1400	Tr 30	39.68	192.14	195.27	195.27	195.74	0.009656	3.04	13.04	13.82	1.00

Calculated water surface from energy equation.

Figura 24 – Corso d’acqua alla pk 11+850, configurazione ante operam: Output del modello Q Tr 30 anni

 <b>ITOLFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
	<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO IA4J	LOTTO 11 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0402	PROGR. 001	REV. B

## 10 DIMENSIONAMENTO DELLA DEVIAZIONE PROVVISORIA DEL CANALE IN FASE DI CANTIERE

Per la definizione della portata di dimensionamento della deviazione provvisoria, necessaria a garantire la continuità idraulica del fosso oggetto di intervento durante la realizzazione della sistemazione di monte, è stato assunto il criterio di adottare lo stesso rischio idraulico associato all'opera in progetto.

Il rischio idraulico,  $R_N$ , connesso al superamento della portata di progetto, è legato al tempo di ritorno  $T_R$  della portata di progetto e alla durata dell'opera  $N$  tramite la relazione:

$$R_N = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^N$$

Nel caso di studio il tempo di ritorno è pari a  $T_R = 200$  anni, mentre la durata dell'opera è pari a  $N=50$  anni.

Introducendo i valori nell'espressione precedente si ottiene un valore di rischio pari a  $R_N = 0.22$ .

Esplicitando la relazione precedente rispetto al tempo di ritorno, si ha:

$$T_R = \frac{1}{1 - (1 - R_N)^{\frac{1}{N}}}$$

Assumendo quindi una durata dell'opera pari a  $N=6$  mesi e un rischio di superamento pari a  $R_N = 0.22$ , ne deriva un tempo di ritorno pari a  $T_R=2.5$  anni.

Il valore della portata di progetto dell'opera provvisoria è pari a 7.2 mc/s (vedi Tabella 9).

La verifica idraulica del fosso è stata effettuata valutando la velocità e l'altezza idrica relative alla portata di progetto tramite l'espressione di Chezy:

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

e l'equazione di continuità

$$Q = A(h) V$$

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

<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
	IA4J	11 E 78	RI	ID0402	001	B	54 di 65

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

ottenendo:

$$Q = K_s \times R^{2/3} \times i^{1/2} \times A(h)$$

dove:

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

R, il raggio idraulico in metri;

A(h), la sezione idraulica [m<sup>2</sup>];

i, la pendenza [m/m];

K<sub>s</sub>, il coefficiente di scabrezza [m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup>]

Il fosso ha sezione trapezia con base minore pari a 1.0 m, altezza minima pari a 1.5 m e pendenza sponde 1/1(B=4); è realizzato in terra e si assume quindi un coefficiente di scabrezza C pari a 35.00 [m<sup>1/6</sup>s<sup>-1</sup>].

Il fosso ha uno sviluppo longitudinale di circa 195 m e una pendenza di circa 0.4%. Il grado di riempimento è pari al 98%.

Altezza[m]	1.5
Base [m]	1
Pendenza [m/m]	0.004
Coeff. Scabrezza -Strickler	35
Pendenza sponde [Degrees]	45.00
Q <sub>TR=2.5 anni</sub> [mc/s]	6.5

Tabella 13 – Dati per la verifica della deviazione provvisoria

Altezza idrica [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	Perimetro bagnato [m]	Raggio idraulico [m]	Coeff. Scabrezza - Strickler	Velocità [m/s]	Q [m <sup>3</sup> /s]	%Riempimento
0.08	0.08	1.21	0.07	22.28	0.37	0.03	5%
0.15	0.17	1.42	0.12	24.62	0.55	0.09	10%
0.23	0.28	1.64	0.17	26.01	0.68	0.19	15%
0.30	0.39	1.85	0.21	27.00	0.79	0.31	20%
0.38	0.52	2.06	0.25	27.78	0.89	0.46	25%
0.45	0.65	2.27	0.29	28.43	0.97	0.63	30%
0.53	0.80	2.48	0.32	28.98	1.05	0.84	35%
0.60	0.96	2.70	0.36	29.46	1.12	1.08	40%
0.68	1.13	2.91	0.39	29.90	1.19	1.35	45%
0.75	1.31	3.12	0.42	30.29	1.25	1.65	50%
0.83	1.51	3.33	0.45	30.66	1.32	1.98	55%
0.90	1.71	3.55	0.48	30.99	1.37	2.35	60%
0.98	1.93	3.76	0.51	31.31	1.43	2.76	65%
1.05	2.15	3.97	0.54	31.61	1.49	3.20	70%
1.13	2.39	4.18	0.57	31.89	1.54	3.68	75%
1.20	2.64	4.39	0.60	32.15	1.59	4.20	80%
1.28	2.90	4.61	0.63	32.40	1.64	4.76	85%
1.35	3.17	4.82	0.66	32.65	1.69	5.37	90%
1.43	3.46	5.03	0.69	32.88	1.74	6.01	95%
1.50	3.75	5.24	0.72	33.10	1.79	6.70	100%

Tabella 14 – Scala di deflusso della deviazione provvisoria

	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	<b>PROGETTO</b> IA4J	<b>LOTTO</b> 11 E 78	<b>CODIFICA</b> RI	<b>OPERA/DISCIPLINA</b> ID0402	<b>PROGR.</b> 001	<b>REV.</b> B	<b>Pag.</b> 56 di 65

## 11 BIBLIOGRAFIA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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


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

Prescrizioni generali per la progettazione di RFI (PTP).

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

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

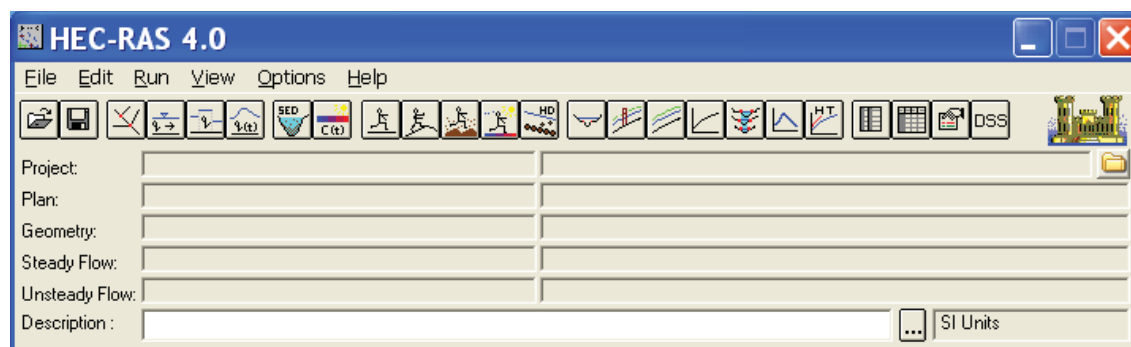


 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>CONTRATTO ISTITUZIONALE DI SVILUPPO PER LA REALIZZAZIONE DELLA DIRETTRICE FERROVIARIA NAPOLI-BARI-LECCE-TARANTO</b> <b>LINEA FOGGIA-POTENZA – AMMODERNAMENTO</b> <b>SOTTOPROGETTO 2 – Elettificazione, rettifiche di tracciato, soppressione p.l. e consolidamento sede</b>						
	<b>Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica</b>	PROGETTO IA4J	LOTTO 11 E 78	CODIFICA RI	OPERA/DISCIPLINA ID0402	PROGR. 001	REV. B

## 12 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

Obiiettivo 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 limitato 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/s<sup>2</sup>]

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.

Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
		IA4J	11 E 78	RI	ID0402	001	B

### 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  $\alpha$  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:

Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
		IA4J	11 E 78	RI	ID0402	001	B

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

S<sub>f</sub> = 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:

$$Q = K S_f^{1/2}$$

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

Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
		IA4J	11 E 78	RI	ID0402	001	B

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:

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

$$\bar{S}_f = \frac{\sqrt{S_{f_1} + S_{f_2}}}{2} \quad \text{attrito specifico medio}$$

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f_1} * S_{f_2}} \quad \text{media geometrica attrito specifico}$$

$$\bar{S}_f = \frac{2 S_{f_1} * S_{f_2}}{S_{f_1} + S_{f_2}} \quad \text{media armonica attrito specifico}$$

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.



Canale di Melfi –Relazione idrologico-idraulica	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	Pag.
		IA4J	11 E 78	RI	ID0402	001	B

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  $h_e = hf + h_0$ , per poter ottenere una soluzione. L'irregolarità dei canali naturali richiede una ricerca della soluzione di tipo "trial 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).