

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56''), DP 75 bar	Pagina 1 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

REGIONE PUGLIA

METANODOTTO:

**INTERCONNESSIONE TAP
DN 1400 (56''), DP 75 bar**

**ATTRAVERSAMENTO
CANALE INFOCACIUCCI**

STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO

0	Emissione per permessi	L.Tomasucci	M. Begini	F. Ferrini H.Aiudi	20/06/16
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 2 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

INDICE

1.	INTRODUZIONE	4
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
3.	LINEAMENTI GEOLOGICI, IDROLOGICI E MORFOLOGICI	5
3.1	Lineamenti geologici, idrografici e geomorfologici generali delle aree attraversate	5
3.2	Descrizione morfologica ed idraulica del bacino	6
3.3	Caratteri idrologici e morfologici dell'area di attraversamento	8
4.	METODOLOGIA DELL'ATTRAVERSAMENTO E RIPRISTINI POST-OPERAM	9
5.	STUDIO IDROLOGICO	10
5.1	Premessa	10
5.2	Analisi Pluviometrica	10
5.3	Stima delle portate di piena	13
5.4	Idrogramma adimensionale di Mockus	18
6.	STUDIO IDRAULICO	20
6.1	Premessa	20
6.2	Descrizione del modello idraulico	20
	<i>6.2.1 Descrizione del modello matematico</i>	22
6.3	Modellazione idraulica del canale Infocaciucci	26
7.	PERIMETRAZIONE DELLE AREE ALLAGABILI	36
7.1	Premessa	36
7.2	Risultati del calcolo	36
8.	EROSIONE	42
8.1	Premessa	42
8.2	Metodo di Schoklitsch	42
8.3	Profondità di erosione del fondo dell'alveo	43
9.	CONCLUSIONI	45

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 3 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

10.	ALLEGATI	46
11.	BIBLIOGRAFIA	46

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56''), DP 75 bar	Pagina 4 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

1. INTRODUZIONE

Il presente studio idrologico-idraulico è stato redatto per rispondere alle richieste dell'Autorità di Bacino della Regione Puglia (rif. m_amte.DVA.REGISTRO UFFICIALE.I.0002096.28-01-2016) e dimostrare la compatibilità idrologico idraulica del metanodotto "Interconnessione TAP DN 1400 (56'') DP 75 bar" rispetto alle norme tecniche indicate nel P.A.I.

Lo studio idrologico-idraulico è stato condotto con lo scopo di:

- stimare le grandezze idrologiche (piogge e portate) del Canale Infocaciucci e le caratteristiche topografiche e di uso del suolo del suo bacino idrografico, chiuso in corrispondenza della zona dell'attraversamento;
- simulare il deflusso della portata di piena con tempo di ritorno 200 anni e verificare se le sezioni del canale nel tratto interessato dall'attraversamento del metanodotto siano in grado di contenerla con un certo franco di sicurezza;
- stabilire, in caso di incapacità del corso d'acqua di contenere la portata duecentennale, la geometria di una sezione riprofilata, (allargata ed approfondita), all'interno della quale tale portata sarebbe contenuta.

Operando in questo modo è stato possibile progettare l'attraversamento del metanodotto fissando una quota di copertura rispetto al fondo alveo tale da non interferire con eventuali futuri interventi di riprofilatura delle sezioni del canale.

Si segnala, comunque, che l'opera in oggetto è un metanodotto interrato che, in quanto tale, in fase di esercizio non interferirà con i corsi d'acqua incontrati lungo il suo tracciato.

Sono state inoltre verificate le condizioni di erosione del fondo alveo, in modo da garantire una profondità di posa del metanodotto tale da assicurare la stabilità e la copertura della condotta per tutta la vita utile dell'opera.

2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il progetto denominato "Interconnessione TAP" prevede la realizzazione di una condotta DN 1400 (56'') che collegherà Melendugno (LE) a Brindisi con una lunghezza pari a circa 55 km.

Il nuovo metanodotto in progetto ricade interamente nella regione Puglia, interessando le province di Lecce e Brindisi. Il tracciato si sviluppa con andamento in senso gas Sud/Est - Nord/Ovest, parallelo alla costa adriatica, ad una distanza contenuta tra 3 e 10 km da essa.

I comuni attraversati sono:

- Melendugno
- Vernole
- Castrì di Lecce

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 5 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

- Lizzanello
- Lecce
- Surbo
- Torchiarolo
- San Pietro Vernotico
- Brindisi

L'opera comprende anche la realizzazione dell'impianto di misura e area trappole nel comune di Melendugno, punto di interconnessione con il gasdotto TAP.

La linea in progetto si conetterà alla rete nazionale gasdotti in corrispondenza dell'impianto esistente di Brindisi situato in località Masseria Matagiola, per il quale è previsto l'ampliamento.

3. LINEAMENTI GEOLOGICI, IDROLOGICI E MORFOLOGICI

3.1 Lineamenti geologici, idrografici e geomorfologici generali delle aree attraversate

Il canale Infocaciucci è collocato nell'ambito morfologico della Pianura Brindisino-Leccese, questo si presenta in forma di un vasto e uniforme bassopiano, compreso tra la porzione meridionale dell'altopiano murgiano a Nord-Ovest e le Serre Salentine a Sud-Est.

Si caratterizza, oltre che per la quasi totale assenza di pendenze significative e di forme morfologiche degne di rilievo, per la rilevante presenza di bacini endoreici ove si rinvergono notevoli accumuli di terra rossa, per l'intensa antropizzazione agricola del territorio e per la presenza delle zone umide costiere.

Il terreno, prevalentemente di natura calcarea, calcarenitica e sabbiosa, ove affiorante, si caratterizza per la frequente presenza di forme carsiche quali doline e inghiottitoi (chiamate anche "vore"), spesso organizzate in veri e propri sistemi di assorbimento in corrispondenza delle aree depresse, che convogliano i deflussi idrici nel sottosuolo alimentando gli acquiferi sotterranei.

Brevi corsi d'acqua, a carattere temporaneo e più o meno modificati da opere di regimazione idraulica, si delineano in vari bacini esoreici ed endoreici; questi ultimi recapitano come detto le acque in doline e inghiottitoi carsici modificati, in genere, dall'intervento dell'uomo.

Nel Brindisino la locale rete idrografica è caratterizzata da un regime essenzialmente "torrentizio", ovvero interessato da portate significative solo in occasione di precipitazioni pluviali intense e prolungate. In questa zona l'incidenza e la diffusione delle manifestazioni carsiche diminuisce. Le litologie interessate dal tracciato risultano essere sabbie poco cementate argillose che passano a marne-siltose di colore grigio-azzurro con all'interno numerosi foraminiferi planctonici appartenenti alla Formazione denominata "Formazione di Gallipoli".

Il canale Infocaciucci, in particolare, è un corso d'acqua naturale facente parte del reticolo esoreico localizzato a sud di Brindisi; un reticolo idrografico allo stadio giovanile, costituito da canali poco profondi e scarsamente gerarchizzati.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 6 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

3.2 Descrizione morfologica ed idraulica del bacino

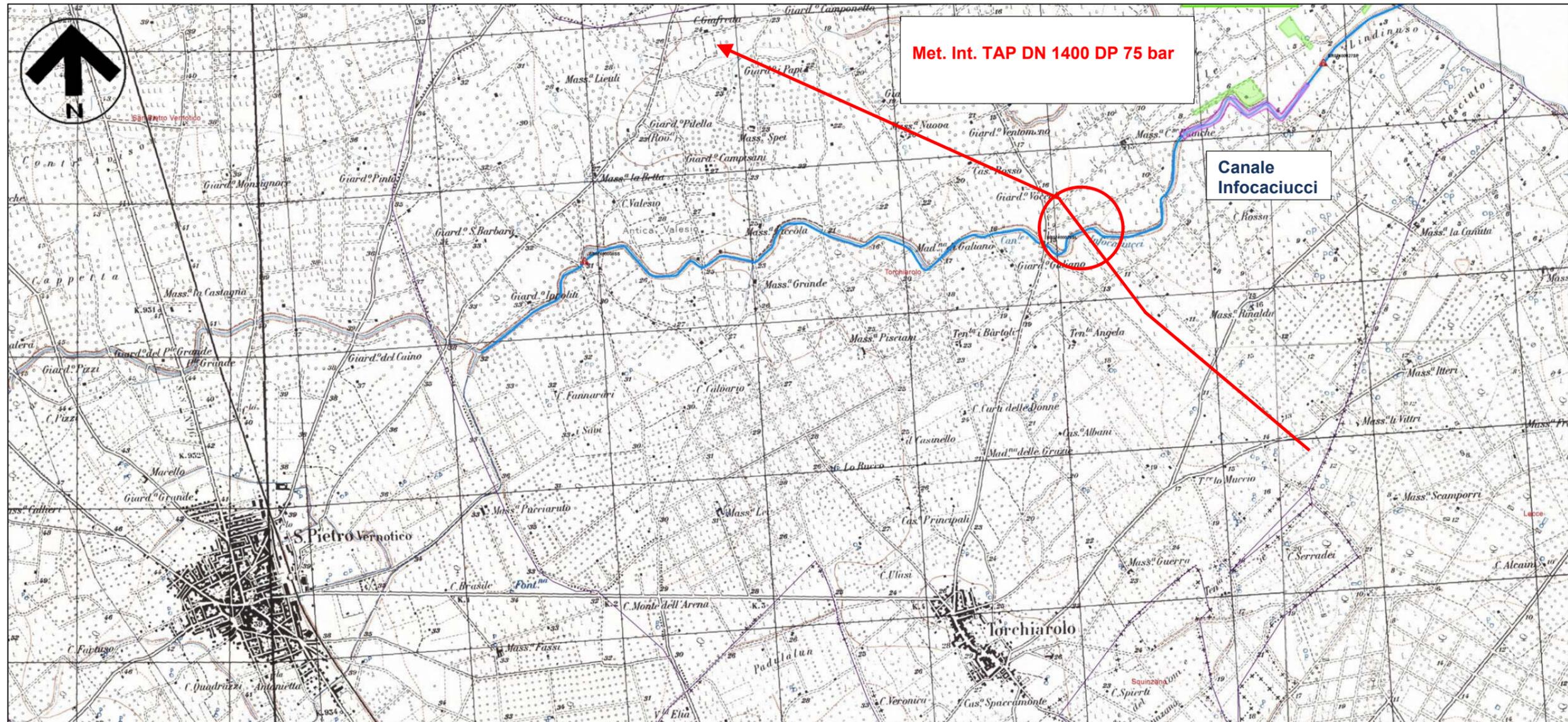
Il canale Infocaciucci ha un bacino di circa 40 km². Solca i territori comunali, da monte verso valle, di Cellino San Marco, San Pietro Vernotico e Torchiarolo. Sfocia nel mare Adriatico presso Lido Lendinuso. Il canale presenta sezioni larghe circa 10-15 m in sommità e profonde circa 2-3 m. La morfologia esterna al canale risulta essere meno definita nei tratti di monte, mentre diventa più pronunciata nel tratto finale. Per quasi l'intero sviluppo si tratta di un canale in terra mentre il tratto finale verso la foce è rivestito in calcestruzzo. Nella relazione tecnica dello "*Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di ottobre e novembre 2005 nelle provincie di Bari e Brindisi*" - AdB Puglia Ed. 2012, al canale Infocaciucci viene assegnato un coefficiente di scabrezza di Manning per l'alveo costante e pari a n=0.04.

Il territorio attraversato è caratterizzato da una predominanza di uliveti, cui si affiancano seminativi e vigneti, in prossimità della foce si ha anche tessuto residenziale discontinuo e una zona paludosa. La portata alla foce del bacino idrografico del canale Infocaciucci, assunta con tempo di ritorno di 200 anni, è pari a circa 70 m³/s.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 7 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

Fig. 3.2/A - Individuazione della zona di attraversamento del Canale Infocaciucci sulla Cartografia IGM 1:25.000



 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56''), DP 75 bar	Pagina 8 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

3.3 Caratteri idrologici e morfologici dell'area di attraversamento

L'area dell'attraversamento si trova in comune di Torchiarolo, nei pressi della Località Madonna di Galliano, in una zona agricola.

In questo tratto il canale risulta moderatamente meandrizato. La sezione dell'attraversamento presenta una profondità di circa 2 m con una larghezza di 11 m.

Sulle sponde è presente una fitta vegetazione ripariale costituita prevalentemente da arbusti ed anche il fondo risulta ricoperto di specie vegetali cresciute nei periodi di secca.

I rilievi topografici effettuati in campo hanno rilevato una sezione di attraversamento ampia circa 11.2 m, con una quota di fondo alveo pari a 9.68 m s.l.m., una quota pari a 12.17 m s.l.m. in destra idrografica e 11.61 m s.l.m. in sinistra.



Fig.3.3/A: Canale Infocaciucci, sezione in corrispondenza dell'attraversamento del metanodotto Int. TAP DN 1400 (56'')

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 9 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320



Fig.3.3/B: Canale Infocaciucci, zona dell'attraversamento del metanodotto Int. TAP DN 1400 (56")

4. METODOLOGIA DELL'ATTRAVERSAMENTO E RIPRISTINI POST-OPERAM

Per l'attraversamento del Canale Infocaciucci è prevista la posa del tubo di protezione mediante trivella spingitubo. La suddetta tecnica comporta le seguenti operazioni:

- scavo del pozzo di spinta;
- impostazione dei macchinari e verifiche topografiche;
- esecuzione della trivellazione mediante l'avanzamento del tubo di protezione, spinto da martinetti idraulici, al cui interno agisce solidale la trivella dotata di coclee per lo smarino del materiale di scavo.

Contemporaneamente alla messa in opera del tubo di protezione, si procede, fuori opera, alla preparazione dei cosiddetto "sigaro". Questo è costituito dal tubo di linea, cui si applicano alcuni collari distanziatori che facilitano le operazioni di inserimento e garantiscono nel tempo un adeguato isolamento elettrico della condotta. Il "sigaro" viene poi inserito nel tubo di protezione e collegato alla linea.

Una volta completate le operazioni di inserimento, alle estremità del tubo di protezione vengono applicati i tappi di chiusura con fasce termorestringenti.

La sezione del corso d'acqua non verrà interessata dai lavori, la copertura minima della tubazione dal fondo alveo sarà di 3 m, non verrà realizzata alcun tipo di opera idraulica né saranno necessarie opere di ripristino.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56''), DP 75 bar	Pagina 10 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

5. STUDIO IDROLOGICO

5.1 Premessa

Lo scopo dell'analisi idrologica è la determinazione delle portate di piena che si verificano in corrispondenza di eventi pluviometrici con determinati tempi di ritorno (30, 200, 500 anni).

Per far questo, non avendo nel corso d'acqua oggetto di studio, delle sezioni strumentate in grado di fornire dei dati diretti di portata ed in analogia con la procedura utilizzata dall'AdB Puglia nello "*Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di ottobre e novembre 2005 nelle provincie di Bari e Brindisi*"-Ed. dicembre 2012 si è proceduto in questo modo:

- **Analisi pluviometrica** derivata dagli studi di regionalizzazione delle piogge per la Regione Puglia, condotti nell'ambito del progetto Valutazione Piene (VaPi) del Gruppo Nazionale Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche;
- **Stima della pioggia netta**, ossia dell'aliquota della precipitazione che effettivamente contribuisce alla formazione dell'onda di piena nel corso d'acqua, depurata delle quantità perse per infiltrazione, immagazzinamento superficiale, evapo-traspirazione, etc.;
- **Modello di trasformazione afflussi-deflussi**, per il calcolo delle portate al colmo di piena con diversi tempi di ritorno e per la stima degli idrogrammi di piena; in analogia con gli studi condotti dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia è stato applicato il metodo del Curve Number del Soil Conservation Service (CN-SCS).

Poiché la sezione del canale in corrispondenza dell'attraversamento del Met. Interconnessione TAP ricade circa 60 m a monte rispetto ad una delle sezioni di chiusura analizzate dall'Autorità di Bacino (Infocaciucci - IdBas BR074 - Sezione 2), le caratteristiche idro-geomorfologiche del corso d'acqua sono state assunte uguali a quelle riportate nello studio sopra citato.

5.2 Analisi Pluviometrica

Modello di regionalizzazione delle piogge

Il modello di regionalizzazione messo a punto in Italia nell'ambito del progetto VAPI (Valutazione delle Piene) promosso dal Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche, ha codificato una metodologia basata su :

- modello probabilistico TCEV (Two-Component Extreme Value), particolarmente adatto a descrivere la distribuzione di grandezze idrologiche (piogge e portate), perché spiega in modo plausibile la presenza dei valori straordinari (outliers) che caratterizzano le serie storiche;
- tecnica di regionalizzazione di tipo gerarchico, capace di ridurre al minimo l'incertezza nella stima dei parametri regionali;

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 11 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

- utilizzazione contemporanea di tutta l'informazione idrologica disponibile.

L'approccio gerarchico consiste nel :

- definire regioni omogenee rispetto al coefficiente di asimmetria teorico CS, ricavando così i valori di θ^* e Λ^* ;
- definire, all' interno delle regioni, delle zone omogenee rispetto al coefficiente di variazione teorico CV, fissando in questo modo Λ_1 ;
- individuare delle sottozone caratterizzate da relazioni univoche tra il parametro θ_1 e delle variabili geografiche del territorio indagato (quota, esposizione...)

Questa struttura gerarchica, si lega in maniera soddisfacente con il comportamento dei parametri statistici che rappresentano le serie storiche.

Infatti il coefficiente di asimmetria non sembra risentire in maniera sensibile dei cambiamenti morfologici e così rimane costante in regioni ampie, mentre il coefficiente di variazione ha valori omogenei in zone meno estese.

Regionalizzazione delle piogge in Puglia

L'analisi regionale delle piogge massime annuali di durata compresa tra 1 ora e 24 ore è stata effettuata per il territorio della Puglia centro-meridionale ad integrazione di quanto effettuato in Puglia settentrionale da Claps et al., (1994).

Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV (Rossi et al. 1984) con regionalizzazione di tipo gerarchico (Fiorentino et al. 1987).

I risultati hanno evidenziato (Castorani e Iacobellis, 2001) per l'area esaminata la consistenza di una Zona unica di primo e secondo livello che include la parte centro-meridionale 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 sei zone omogenee per tutta la Puglia, nella **Zona 6** ricade la Penisola Salentina.

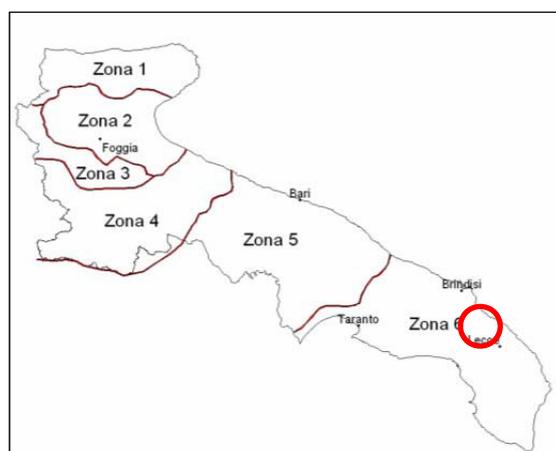


Fig. 5.2/A: Zone omogenee al terzo livello di regionalizzazione

 Zona dell'attraversamento in progetto

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 12 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

Curva di possibilità pluviometrica

I bacini Brindisini ricadono nella zona omogenea 6, per la quale vale la seguente equazione della **Curva di Possibilità Pluviometrica**:

$$\text{Zona 6: } x(t, z) = 33.7 t^{[(0.488 + 0.0022z)/3.178]}$$

dove:

- t: durata della precipitazione
- z: quota media sul livello medio del mare del bacino idrografico.

L'applicazione della formula della curva di possibilità pluviometrica consente la stima dell'altezza media di precipitazione espressa in mm. Per valutare la precipitazione con diversi tempi di ritorno, si usa la formula:

$$h_m [\text{mm}] = x(t, z) \times K_T$$

dove:

- K_T : fattore di crescita ed è uguale a:

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

- a, b: parametri stimati dalla regionalizzazione di I e II livello che cambiano a seconda della zona.
- T: tempo di ritorno.

Nella Puglia centro-meridionale i valori di a e b sono:

- a=0.1599
- b=0.5166

Il valore del coefficiente di crescita K_T per i diversi tempi di ritorno sono riassunti nella seguente tabella:

Tempo di ritorno	K_T
30 anni	1.917
200 anni	2.897
500 anni	3,370

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 13 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

5.3 Stima delle portate di piena

La valutazione idrologica per i corsi d'acqua del brindisino è stata condotta seguendo il metodo Curve Number del Soil Conservation Service (CN-SCS). Questo metodo consente di ricavare l'idrogramma delle portate a partire dall'idrogramma adimensionale di Mockus.

Stima della pioggia netta

Il Curve Number, proposto nella procedura del Soil Conservation Service (SCS, 1972), è un parametro utilizzato per determinare l'aliquota di precipitazione netta che quindi contribuisce direttamente alla formazione del deflusso del bacino.

Il modello CN-SCS descrive un processo di produzione del deflusso di tipo prevalentemente hortoniano. Il meccanismo individuato da Horton, a cui si riconduce il comportamento dei bacini del territorio carsico pugliese, si verifica quando l'intensità della pioggia supera la velocità di infiltrazione del suolo, producendo un deflusso superficiale pari alla differenza fra volume piovuto e capacità di assorbimento nell'unità di tempo.

Il CN assume valori compresi tra 100 e 0 e rappresenta l'attitudine del bacino a produrre deflusso e si stima in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale.

Il SCS ha classificato i vari tipi di suolo in 4 (quattro) gruppi così definiti:

- GRUPPO A: Suoli aventi scarsa permeabilità di deflusso; capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
- GRUPPO B: Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso; elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
- GRUPPO C: Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta; scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
- GRUPPO D: Potenzialità di deflusso molto elevata; scarsissima capacità di infiltrazione e saturazione.

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 14 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

<i>Valori del parametro CN (adimensionale)</i>	← <i>Tipo idrologico Suolo</i> →			
↓ <i>Tipologia di Uso del Territorio</i>	A	B	C	D
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area imperm. 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m ² (area imperm. 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500÷1000 m ² (area imperm. 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000÷1500 m ² (area imperm. 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500÷2000 m ² (area imperm. 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000÷5000 m ² (area imperm. 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000÷10000 m ² (area imperm. 12%)	46	65	77	82
Parcheeggi, tetti, autostrade,	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

Tab.5.3/A: Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche, di copertura vegetale e delle condizioni medie di umidità (per AMC II)

L'SCS ha definito tre classi AMC (Antecedent Moisture Condition), funzione della precipitazione nei cinque giorni precedenti:

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 15 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

Classe AMC	Precipitazioni nei dieci giorni precedenti (mm)
I (Terreno secco)	0 < P < 50
II (Umidità media)	50 < P < 110
III (Terreno da mediamente umido a saturo)	P > 110

Tab.5.3/B: Definizione delle classi di umidità antecedenti l'evento (AMC)

Nel caso in esame, in analogia con quanto stimato nello "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi di ottobre e novembre 2005 nelle provincie di Bari e Brindisi" realizzato dall'Autorità di Bacino della Puglia, si è adottato come valore del Curve Number per il bacino considerato **CN=78.96**.

Stima dell'idrogramma di piena

Per la costruzione dell'idrogramma del corso d'acqua oggetto di studio, il modello parte da un idrogramma di forma triangolare secondo la seguente figura:

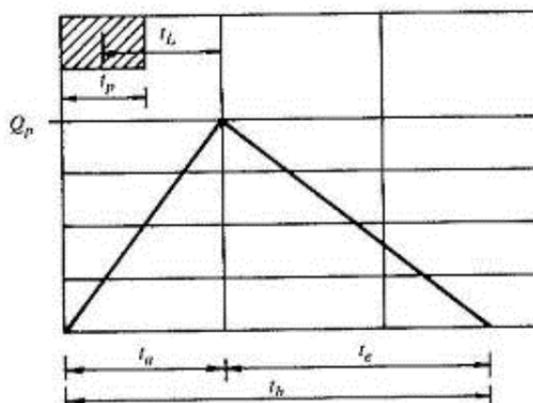


Fig.5.3/A: Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata ad colmo con metodo del Soil Conservation Service

L'idrogramma ha una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) e una di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento), per cui il volume V è risultante dall'area del diagramma che è pari a:

$$V = \frac{Q_p}{2} (t_a + t_e) = \frac{Q_p \times t_b}{2}$$

dove:

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 16 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

- Q_p : portata di colmo [m^3/h];
- t_a : tempo di accumulo [h];
- t_e : tempo di esaurimento [h];
- t_b : durata evento di piena [h].

Il SCS ha realizzato un'analisi sperimentale dove ha stabilito che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume d'acqua pari al 37,5% del volume totale di deflusso, quindi la sua durata sarà 0.375 volte la durata dell'evento di piena t_b :

$$t_b = 2.67 \times t_a$$

Di conseguenza la portata di colmo è data dalla formula:

$$Q_p = 0.208 \times \frac{V \times A}{t_a}$$

dove:

- Q_p : portata di colmo [m^3/h];
- V : volume di deflusso [mm];
- t_a : tempo di accumulo [h];
- A : area bacino [Km^2].

Si determina t_a considerando una precipitazione con intensità costante, di durata t_p secondo la seguente formula:

$$t_a = 0.5 \times t_p + t_L$$

dove:

- t_a : tempo di accumulo [h];
- t_p : durata di pioggia [h];
- t_L : tempo di ritardo [h].

La formula per il calcolo del volume di deflusso che è funzione della precipitazione è la seguente:

$$V = \frac{(P - 0.2 \times S)^2}{P + 0.8 \times S}$$

dove:

- V : volume di deflusso;
- P : precipitazione totale;
- S : massima capacità di invaso dato dalla formula:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 17 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

Il tempo di ritardo (Lag Time), espresso in ore, viene calcolato secondo la formula di Mockus:

$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.3}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

dove:

- t_L : tempo di ritardo [h];
- CN: curve number;
- s: pendenza bacino [%];
- L: lunghezza asta fino alla sezione di chiusura [Km]

Inoltre, studi empirici dell'SCS dimostrano che il tempo di corrivazione t_c di un bacino è proporzionale al tempo di ritardo:

$$t_c = \frac{t_L}{0.6}$$

e sostituendo alle formule precedenti si trovano le seguenti relazioni:

$$t_p = \frac{t_L}{4.5}$$

$$t_a = \frac{t_L}{0.9}$$

Nella tabelle seguenti si riportano i valori assunti per la simulazione:

PARAMETRI IDRO-GEOMORFOLOGICI						
Area Bacino [Kmq]	Pendenza media del Bacino s [%]	CN	t_L [h]	t_c [h]	t_p [h]	t_a [h]
38.24	0.011	78.96	8.02	13.37	1.78	8.92

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 18 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

5.4 Idrogramma adimensionale di Mockus

L'idrogramma unitario è costruito utilizzando il metodo di Mockus utilizzando i due fattori caratteristici del bacino oggetto di studio t_a (tempo di accumulo che è la durata del tempo di crescita) e Q_p (portata di colmo) considerando un volume di deflusso unitario ($V=1$).

Questi valori sono messi in relazione con la generica portata Q all'istante generico t utilizzando, quindi, come variabili adimensionali i rapporti t/t_a e Q/Q_p .

ASCISSE E ORDINATE UTILIZZATE PER L'IDROGRAMMA DI MOCKUS					
t/t_a	Q/Q_p	t/t_a	Q/Q_p	t/t_a	Q/Q_p
0.1	0.0300	2.3	0.1770	4.5	0.0050
0.2	0.1000	2.4	0.1470	4.6	0.0040
0.3	0.1900	2.5	0.1270	4.7	0.0030
0.4	0.3100	2.6	0.1070	4.8	0.0020
0.5	0.4700	2.7	0.0920	4.9	0.0010
0.6	0.6600	2.8	0.0770	5.0	0.0000
0.7	0.8200	2.9	0.0660	5.1	0.0000
0.8	0.9300	3.0	0.0550	5.2	0.0000
0.9	0.9900	3.1	0.0475	5.3	0.0000
1.0	1.000	3.2	0.0400	5.4	0.0000
1.1	0.9900	3.3	0.0345	5.5	0.0000
1.2	0.9300	3.4	0.0290	5.6	0.0000
1.3	0.8600	3.5	0.0250	5.7	0.0000
1.4	0.7800	3.6	0.0210	5.8	0.0000
1.5	0.6800	3.7	0.0180	5.9	0.0000
1.6	0.5600	3.8	0.0150	6.0	0.0000
1.7	0.4600	3.9	0.0130	6.1	0.0000
1.8	0.3900	4.0	0.0110	6.2	0.0000
1.9	0.3300	4.1	0.0098	6.3	0.0000
2.0	0.2800	4.2	0.0086	6.4	0.0000
2.1	0.2435	4.3	0.0074	6.5	0.0000
2.2	0.2070	4.4	0.0062		

Tab.5.4/A: Valori adimensionali utilizzati per calcolare l'idrogramma secondo Mockus

Di seguito si riporta la rappresentazione grafica dell'idrogramma di piena in funzione del tempo di ritorno:

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56''), DP 75 bar	Pagina 19 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

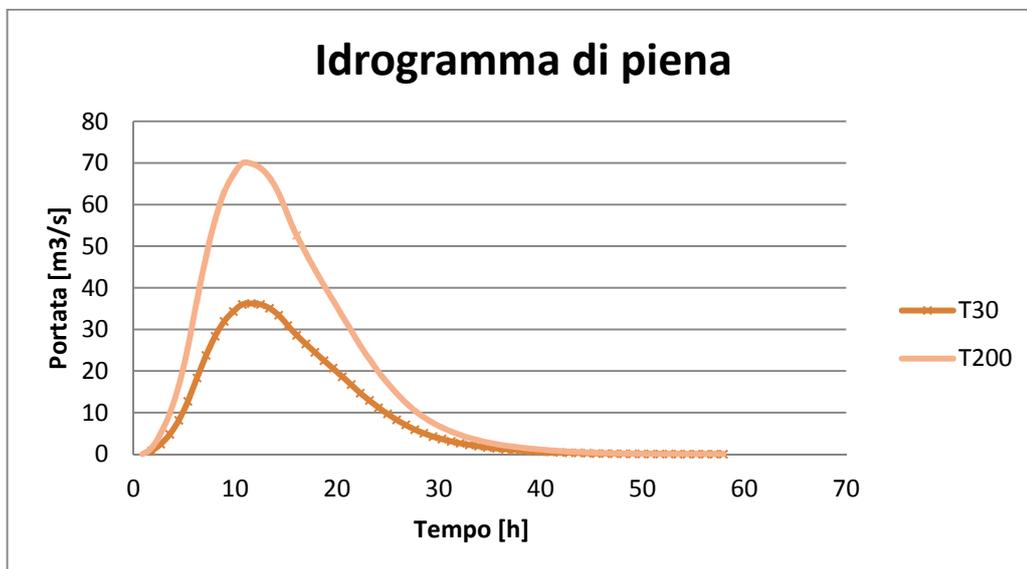


Fig.5.4/A: Idrogramma di piena del bacino del Canale Infocaciucci alla sezione di chiusura

e i valori delle portate al colmo di piena in funzione del tempo di ritorno:

PORTATE AL COLMO DI PIENA PER DIVERSI TEMPI DI RITORNO		
T ritorno [anni]	Coefficiente di Crescita KT	QMAX [mc/s]
30	1.917	36,23
200	2.897	69,94
500	3,370	87,39

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56''), DP 75 bar	Pagina 20 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

6. STUDIO IDRAULICO

6.1 Premessa

La modellazione idraulica eseguita sul Canale Infocaciucci è stata condotta sull'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, che è indicato come scenario di media probabilità dalla direttiva 2007/60/CE e dal D.Lgs. 49/2010 ed è assunto dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia come evento di riferimento per determinare le condizioni di sicurezza idraulica di un corso d'acqua.

Il modello ha seguito i seguenti passi:

- simulazione in moto permanente della portata al colmo di piena con Tr 200 anni per la definizione di eventuali fenomeni di esondazione nelle sezioni d'alveo;
- in caso di esondazione è stata rieseguita la modellazione in moto vario monodimensionale per meglio definire i tiranti idrici presenti e poter ipotizzare una sezione riprofilata in grado di contenere la portata duecentennale.

E' stata inoltre elaborata una perimetrazione delle aree allagate, prendendo in considerazione i tiranti idrici raggiunti in corrispondenza degli eventi con Tr 30, 200 e 500 anni.

I limiti della perimetrazione sono legati alla brevità del tratto oggetto di studio, che non permette di tenere in considerazione i fenomeni avvenuti a monte nel corso d'acqua.

Da sottolineare comunque che la conoscenza delle aree allagate non riveste un ruolo fondamentale al fine di dimostrare la compatibilità idraulica del metanodotto in progetto, in quanto l'opera è completamente interrata ed in prossimità del canale Infocaciucci non sono previsti manufatti fuori terra.

6.2 Descrizione del modello idraulico

Per la determinazione del profilo della superficie libera del corso d'acqua si sono utilizzate le equazioni del moto permanente e del moto vario monodirezionale di una corrente a pelo libero, risolte applicando il codice di calcolo HEC-RAS, sviluppato da Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers (release 5.0.1).

La prima fase della modellazione consiste nel fornire le informazioni relative alla geometria del corso d'acqua del tratto che si desidera analizzare utilizzando la finestra Geometric Data, all'interno della quale si devono definire il corso del fiume (Reach) e la geometria delle sezioni (Cross Section Data). All'interno della finestra Cross Section Data, oltre alla geometria della sezione è necessario inserire la distanza fra le sezioni (Reach Length), il coefficiente di scabrezza, rappresentativo delle perdite di carico, secondo la formulazione di Manning, inoltre, è possibile definire la posizione delle sponde (Left and Right Bank) e degli argini (Levees) e inserire nella sezione delle aree dove l'acqua arriva ma non contribuisce al deflusso (Ineffective Flow Areas) e delle coperture (Lids).

All'interno della finestra Geometric Data sono disponibili altre opzioni, fra le quali la procedura di interpolazione fra una sezione e l'altra (XS Interpolation), molto utile

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 21 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

quando occorre infittire il numero di sezioni, qualora i rilievi originali siano troppo distanti fra loro; il programma permette anche di fornire la geometria dei ponti in una sezione (Bridge and Clvert Data) nella quale è possibile definire per ogni ponte l'impalcato (Deck/Roadway), le pile (Piers), le spalle (Sloping Abutments) e le condizioni di calcolo (Bridge Modelling Approach); si possono inserire inoltre strutture perpendicolari al corso d'acqua (Inline Structure), sfioratori laterali (Lateral Structure) e casse di laminazione (Storage Area).

Una volta completata l'inserzione dei dati geometrici, si passa all'inserimento dei dati di portata tramite il comando Steady Flow Data, in caso di moto permanente, o Unsteady Flow Data, in caso di moto vario.

In caso di moto permanente, all'interno della finestra Steady Flow Data è necessario definire il numero dei profili da calcolare, i dati di massima portata (almeno una portata per ogni ramo e per ogni profilo) e le condizioni al contorno (Reach Boundary Conditions). Le condizioni al contorno sono necessarie per stabilire il livello del pelo libero dell'acqua all'estremità del sistema (a monte e/o a valle a seconda che si intenda eseguire un'analisi in regime di corrente lenta, veloce o mista) e comprendono: quota del fondo alveo (Know Water Surface Elevation); altezza critica (Critical Depth); altezza di moto uniforme (Normal Depth); scala di deflusso (Rating curve). A questo punto è possibile passare ad eseguire la simulazione idraulica in moto permanente tramite il comando Steady Flow Analysis.

In caso di analisi in moto vario, all'interno della finestra Unsteady Flow Data, devono essere inserite le condizioni al contorno (Boundary Conditions) e le condizioni iniziali (Initial Condition) per quel che riguarda portate e volumi di invaso.

Le possibili condizioni al contorno sono:

- Stage hydrograph: variazione del livello in funzione del tempo;
- Flow Hydrograph: variazione della portata in funzione del tempo;
- Stage/flow hydr.: condizione mista variazione di livello e poi portata in funzione del tempo;
- Rating Curve: scala di deflusso;
- Normal Depth: altezza moto uniforme;
- Lateral Inflow Hydr.: idrogramma laterale, immissione concentrata;
- Uniform Lateral Inflow: Idrogramma laterale, immissione distribuita;
- Groundwater Interflow: idrogramma laterale, immissione concentrata della falda;
- T.S. Gate Openings: variazione di apertura di saracinesche in funzione del tempo;
- Elev Controlled Gates: caratteristica di manovra delle saracinesche;
- Navigation Dams: chiuse per la navigazione;
- IB Stage/Flow: idrogramma misurato da inserire a monte di una traversa.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 22 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

Dopo aver definito le condizioni al contorno è necessario definire le condizioni iniziali, almeno nelle sezioni estreme di monte per ogni tronco fluviale, le quali consistono nei dati di portata per ogni tratto e di quota del pelo libero per le eventuali aree di invaso definite.

A questo punto è possibile passare ad eseguire la simulazione idraulica in moto vario tramite il comando Unsteady Flow Analysis.

I risultati delle computazioni idrauliche sono riassunti in tabelle riepilogative (Detail Output Tables e Profile Summary Table), immagini relative alle sezioni geometriche utilizzate (Plot Cross-Section) e al profilo longitudinale (General Plot Profile e Water Surface Profile) e, infine, con una visione tridimensionale del sistema fluviale (X, Y, Z Perspective Plot).

6.2.1 Descrizione del modello matematico

Moto permanente

La procedura di calcolo si basa sulla soluzione dell'equazione del moto permanente gradualmente variato con un metodo alle differenze finite. Questa equazione differenziale è la seguente:

$$\frac{dH}{ds} = -S_f \quad (4)$$

con:

$$H = z + \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

in cui:

H = carico totale della corrente nella sezione generica di ascissa s misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;

S_f = perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue;

z = quota del pelo liquido misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;

v = velocità media della corrente nella sezione generica di ascissa s;

g = accelerazione di gravità.

Passando alle differenze finite l'equazione (4), applicata tra due sezioni distanti Δs , può essere scritta come:

$$H_2 - H_1 = -S_{fm} \cdot \Delta s \quad (6)$$

in cui:

H_1 = carico totale della corrente nella sezione iniziale;

H_2 = carico totale della corrente nella sezione finale;

S_{fm} = perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue media tra le due sezioni.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 23 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

Tenendo conto della relazione (5) ed indicando con i pedici 1 e 2 rispettivamente le grandezze relative alla sezione iniziale e finale la (6) diviene:

$$z_1 + \frac{Q^2}{2g \cdot A_1^2} - z_2 - \frac{Q^2}{2g \cdot A_2^2} + \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{Q^2 \cdot n^2}{A_1^2 \cdot R_1^{\frac{4}{3}}} + \frac{Q^2 \cdot n^2}{A_2^2 \cdot R_2^{\frac{4}{3}}} \right] \cdot \Delta s = 0 \quad (7)$$

in cui:

Q = portata;

A₁ = area bagnata della corrente nella sezione iniziale;

A₂ = area bagnata della corrente nella sezione finale.

Essendo le caratteristiche geometriche di una data sezione funzione del solo tirante idrico l'equazione (7) permette di determinare il valore del tirante nella sezione finale di un tratto di corrente lungo Δs, una volta noto il suo valore in corrispondenza della sezione iniziale (condizione al contorno).

Per conoscere, quindi, il profilo relativo alla zona in esame del corso d'acqua, occorre suddividere il tronco in una successione di tratti delimitati da sezioni di cui sia nota la geometria.

Il programma Hec-Ras permette la determinazione del profilo secondo tre schemi di calcolo:

- *Corrente lenta (Subcritical Flow)*: è applicabile quando la corrente è ovunque lenta (in tutte le sezioni di calcolo il tirante è maggiore dell'altezza critica). Questo tipo di corrente richiede che la condizione al contorno sia posta in corrispondenza della sezione di valle del tratto considerato;
- *Corrente veloce (Supercritical Flow)*: è applicabile quando la corrente è ovunque veloce (in tutte le sezioni di calcolo il tirante è minore dell'altezza critica). Questo tipo di corrente richiede che la condizione al contorno sia posta in corrispondenza della sezione di monte del tratto considerato;
- *Corrente mista (Mixed Flow)*: è applicata quando nel tratto in esame si possono verificare transizioni da un tipo di corrente all'altro, dando luogo ad una successione di tronchi con differenti caratteristiche di moto. Questa condizione nel caso di transizione da corrente veloce a lenta porteranno alla formazione di risalti idraulici. Tale schema richiede che siano definite due diverse condizioni al contorno in corrispondenza delle sezioni (di monte e di valle) del tratto considerato.

Nella simulazione del tratto oggetto di studio si è utilizzata la condizione di corrente mista.

Nella condizione di moto permanente sarà sufficiente introdurre il valore della portata in ingresso a monte, eventuali cambiamenti della stessa (dovuta a immissioni localizzate o distribuite) e le condizioni al contorno nella sezione a valle del tronco in esame.

Le perdite di carico sono determinate tramite l'equazione di Manning, in particolare, in corrispondenza di brusche variazioni di velocità dovute ad irregolarità d'alveo, tramite appositi coefficienti di espansione/contrazione. Le irregolarità idrauliche (salti di

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56''), DP 75 bar	Pagina 24 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

fondo, confluenze, sbarramenti, etc...) nelle quali si crea una brusca variazione nel profilo della corrente, sono calcolate attraverso la conservazione della spinta totale.

Equazione di Manning

Per il calcolo delle perdite di carico distribuite si utilizza l'equazione di Manning:

$$S_f = \frac{v^2 \cdot n^2}{R^{\frac{4}{3}}} \quad (1)$$

in cui:

- S_f = perdita di carico distribuita ;
- v = velocità media della corrente ;
- n = coefficiente di scabrezza di Manning;
- R = raggio idraulico della sezione (rapporto tra l'area liquida ed il contorno bagnato);

La portata della corrente liquida può essere calcolata secondo la seguente espressione:

$$Q = K \cdot S_f^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Dove:

- S_f = perdita di carico distribuita;
- K : conveyance, definisce la capacità di portata ed è dato dalla seguente formula:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \quad (3)$$

- n = coefficiente di scabrezza di Manning;
- A = area sezione bagnata;
- R = raggio idraulico della sezione (rapporto tra l'area e il perimetro della sezione bagnata).

Moto vario

Il codice per il calcolo del moto vario utilizza la teoria di De Saint Venant per risolvere il problema della propagazione dell'onda di piena. Queste equazioni definiscono la corrente idrica (portata e livelli) in funzione del tempo e dell'asse longitudinale del corso d'acqua (asse X).

De Saint Venant ipotizza che si tratti di un moto monodimensionale, in particolare si assume che le sezioni trasversali siano piane e verticali e la pressione distribuita secondo la legge idrostatica. Per questo la corrente si considera gradualmente

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 25 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

variata e le equazioni di propagazione dell'onda di piena utilizzate sono le equazioni differenziali di moto e di continuità:

- equazione di moto:
$$\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta QV}{\delta X} + gA \left(\frac{\delta Z}{\delta X} + S_f \right) = 0$$

- equazione di continuità:
$$\frac{\delta A}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta X} - q_1 = 0$$

in cui:

- $\frac{\delta A}{\delta t}$ = variazione dell'area totale in funzione del tempo;
- $\frac{\delta Q}{\delta X}$ = variazione della portata lungo la distanza;
- q_1 = portata di ingresso trasversale per unità di lunghezza;
- S_f = termine di resistenza;
- $\frac{\delta QV}{\delta t}$ = variazione della quantità di moto lungo la distanza;
- $\frac{\delta Q}{\delta t}$ = variazione della portata in funzione del tempo;
- $\frac{\delta Z}{\delta X}$ = pendenza della linea del pelo libero.

La direzione principale del moto è lungo il corso dell'alveo e quindi, anche se si hanno alterazioni del flusso di tipo bidimensionale, si può considerare come corretta approssimazione il moto monodirezionale.

Queste equazioni sono risolte dal programma con il metodo delle differenze finite e utilizzando il metodo di Newton-Raphson dopo che si sono definite le condizioni al contorno e quelle iniziali. Per definirle Hec-Ras permette di scegliere tra:

- un valore costante del livello idrico o della portata;
- la variazione nel tempo del livello idrico o della portata
- relazione tra il livello idrico e la portata;
- valore costante della pendenza dell'alveo a valle della sezione considerata.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 26 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

6.3 Modellazione idraulica del canale Infocaciucci

Premessa

Per prima cosa è stata inserita la geometria del tratto analizzato del canale Infocaciucci.

In particolare sono state inserite **21 sezioni** numerate dalla 100 alla 5 proseguendo da monte verso valle, le quali sono distribuite lungo un tratto di studio di circa 650 m. Inoltre, è stato inserito un ponte (sezione 93), a monte del tratto analizzato, ed un tombino (sezione 34).

Una volta inserita la geometria è stata eseguita una prima simulazione in moto permanente. Lo scopo di tale simulazione è essenzialmente quello di effettuare un'analisi preliminare delle criticità del fiume, prima di passare a una simulazione più complessa in condizioni di moto vario.

Per l'analisi in moto permanente è stata utilizzata la portata di picco dell'idrogramma di piena relativo a un tempo di ritorno di 200 anni, pari a **$Q_p=69,94 \text{ m}^3/\text{s}$** .



Fig.6.3/A: Tratto del canale analizzato con indicazione delle sezioni studiate

Coefficiente di scabrezza

Il parametro di scabrezza riveste particolare importanza nell'esecuzione dei calcoli idraulici.

Per il calcolo del coefficiente di Manning si fa riferimento ai valori tabulati da Chow, 1959, per corsi d'acqua minori cioè con larghezza a piene rive minore di 30 metri:

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56''), DP 75 bar	Pagina 27 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

COEFFICIENTE DI MANNING n [s/m^{1/3}]			
Tipo di superficie	Minimo	Normale	Massimo
ALVEI DI PIANURA			
non vegetati, rettilinei, corrente regolare	0.025	0.030	0.033
come sopra ma con pietre e alghe	0.030	0.035	0.040
non vegetati, tortuosi con mollenti e rapide	0.033	0.040	0.045
come sopra ma con pietre e alghe	0.035	0.045	0.050
come sopra, in magra	0.040	0.048	0.055
non vegetati, tortuosi, pietre, mollenti e rapide	0.045	0.050	0.060
molto irregolari e alghe molto fitte	0.075	0.100	0.150
ALVEI DI MONTAGNA (SPONDE CON ALBERI E CESPUGLI)			
sul fondo: ghiaia, ciottoli e massi radi	0.030	0.040	0.050
sul fondo: ciottoli e grandi massi	0.040	0.050	0.070
GOLENE E PIANE INONDABILI			
prato senza cespugli, erba bassa	0.025	0.030	0.035
prato senza cespugli, erba alta	0.030	0.035	0.050
campi incolti	0.020	0.030	0.040
coltivazioni a filari	0.025	0.035	0.045
colture di cereali in pieno sviluppo	0.030	0.040	0.050
aree con cespugli sparsi e erba alta	0.035	0.050	0.070
aree con cespugli bassi e alberi, in inverno	0.035	0.050	0.060
aree con cespugli bassi e alberi, in estate	0.040	0.060	0.080
cespugli fitti, in inverno	0.045	0.070	0.110
cespugli fitti, in estate	0.070	0.100	0.160

Tab. 6.3/A Valori del numero di Manning per corsi d'acqua minori da Chow V. T., 1959

Nella presente simulazione si utilizzano i valori calcolati nello "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di ottobre e novembre 2005 nelle provincie di Bari e Brindisi" dell'Autorità di Bacino della Puglia, per l'alveo è stato assunto un **coefficiente n di Manning pari a 0.040 m^{-1/3}s**.

Condizioni al contorno e iniziali

Moto permanente

Si è considerato un unico profilo al tempo di ritorno T=200 anni del quale si è inserita la portata nella sezione di monte del tratto considerato pari a 69.94 m³/s.

Si devono poi inserire le condizioni al contorno:

- Caso di corrente lenta: è sufficiente solo la condizione a valle;

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 28 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

- Caso di corrente veloce: è sufficiente solo la condizione a monte;
- Corrente mista: si devono inserire le condizioni sia a monte che a valle.

Si è effettuato il calcolo con un regime di tipo misto per cui si è imposta un'inclinazione media del canale sia a monte che a valle pari a $s=0.003$.

Moto vario

Sono state inserite due condizioni al contorno che sono:

- a monte: l'idrogramma di piena calcolato secondo il metodo di Mockus sopra illustrato
- a valle: l'altezza di moto uniforme calcolata dal programma con la formula di Manning dall'inclinazione del canale che è pari a $s=0.003$

Oltre alle condizioni al contorno si devono inserire le condizioni iniziali: nel caso in esame si è ipotizzato che la portata iniziale nell'alveo sia nulla.

Risultati del calcolo

Di seguito si riportano i risultati della simulazione dove i parametri riportati in tabella sono:

- RS = Sezione (River Station)
- Q = Portata totale;
- z_{min} = Quota minima della sezione;
- Y = Altezza pelo libero;
- H_c = Altezza dello stato critico;
- E(h) = Energia calcolata per un determinata altezza idrica;
- i = Pendenza della linea dell'energia;
- v = velocità media del flusso nel canale principale;
- A = Area totale del flusso nella sezione di attraversamento;
- H_{max} = Altezza massima;
- F_r = numero di Froude che può essere:
 - $F_r > 1$ corrente veloce;
 - $F_r = 1$ corrente critica;
 - $F_r < 1$ corrente lenta.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 29 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

Moto permanente

RISULTATI OTTENUTI CON HEC-RAS PER UN T=200 anni										
RS	Q	Z _{min}	Y	H _c	E(h)	i	v	A	H _{max}	F _r
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	-
100	69.94	10.67	14.40	13.22	14.47	0.001628	1.31	68.55	92.99	0.33
95	69.94	10.67	14.39	13.22	14.46	0.001652	1.31	68.13	92.82	0.33
93	Bridge									
90	69.94	10.67	13.22	13.22	14.06	0.016116	4.04	17.30	10.39	1.00
85	69.94	10.11	12.74	12.74	13.53	0.015792	3.93	17.78	11.28	1.00
80	69.94	10.21	12.97	12.76	13.09	0.003586	1.85	52.66	73.80	0.48
75	69.94	10.27	12.92		12.96	0.003210	0.96	76.02	144.20	0.41
70	69.94	9.65	12.89		12.92	0.000604	1.01	122.35	166.38	0.21
65	69.94	9.71	12.82	11.70	12.87	0.001559	1.05	77.23	98.26	0.32
60	69.94	9.58	12.55	12.45	12.74	0.009139	1.99	38.04	62.57	0.71
55	69.94	9.65	12.36	12.36	12.55	0.011312	2.19	39.35	81.44	0.79
50	69.94	9.55	12.17	11.97	12.27	0.004077	1.65	55.86	88.33	0.50
45	69.94	9.80	12.16		12.22	0.001733	1.42	69.36	89.48	0.34
40	69.94	9.75	12.05		12.17	0.004722	1.70	47.93	71.06	0.53
35	69.94	9.64	11.92	11.83	12.04	0.004688	1.87	58.18	125.07	0.54
34	Culvert									
33	69.94	9.64	11.83	11.83	12.01	0.008017	2.31	46.67	116.33	0.69
30	69.94	8.85	11.75	11.37	11.78	0.001264	0.90	93.00	129.89	0.28
25	69.94	8.85	11.62	11.44	11.73	0.003715	1.68	55.75	92.38	0.48
20	69.94	8.75	11.55		11.63	0.004703	1.25	55.93	88.47	0.50
15	69.94	8.65	11.33		11.44	0.002757	1.90	63.10	108.63	0.43
10	69.94	8.62	11.23		11.30	0.003465	1.24	63.32	100.07	0.44
5	69.94	8.62	11.14	10.83	11.19	0.003002	1.13	68.54	108.53	0.41

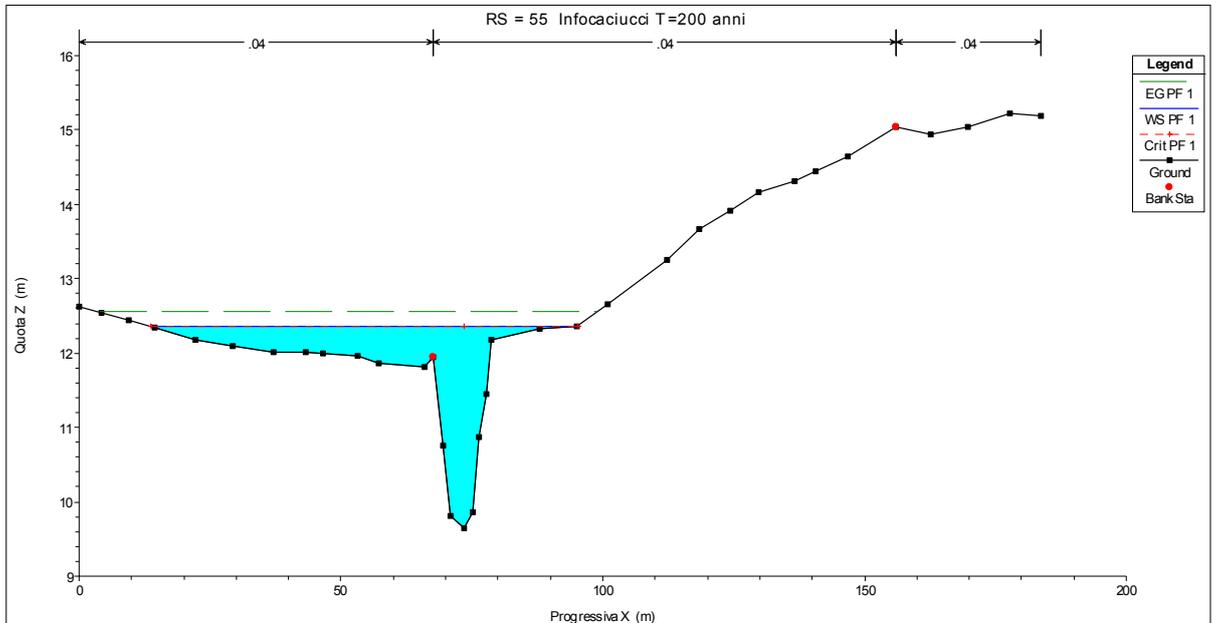
Tab. 6.3/B: Risultati di computazione nella condizione di moto permanente per un T=200 anni

Di seguito vengono rappresentate le sezioni del canale, a monte e a valle dell'attraversamento (Sez. 55 e 50) , con altezza dell'acqua, linea dell'energia e profondità dello stato critico per T=200 anni:

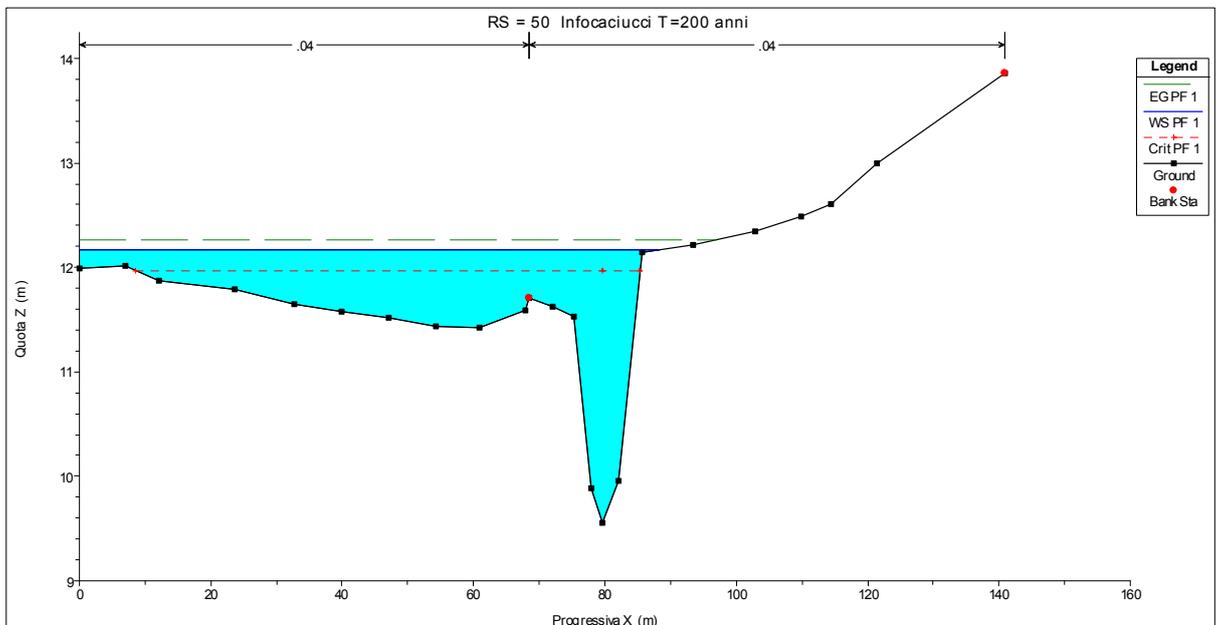
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 30 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

Sezione 55: monte attraversamento



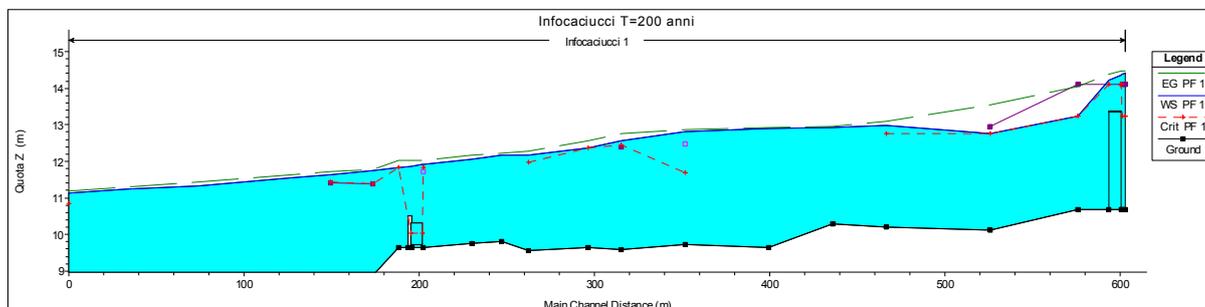
Sezione 50: valle attraversamento



Dal profilo longitudinale del canale Infocaciucci riportato nella figura seguente, si evince che la corrente è in tutti i tratti lenta.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 31 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320



Dai risultati della simulazione, l'alveo del canale non risulta in grado di smaltire la portata di piena duecentennale lungo tutto il tratto analizzato, tale portata va ad interessare quindi le aree golenali di ogni sezione. Ciò conferma quanto contenuto nella documentazione resa disponibile dall'autorità di bacino relativa allo "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di ottobre e novembre 2005 nelle province di Bari e Brindisi" ed in particolare i risultati illustrati nell'allegato 5.11. Quest'ultimo, infatti, mostra come nel tratto analizzato, si abbia esondazione.

Quando, come in questo caso, il deflusso delle acque impegna le fasce golenali o le zone di pertinenza fluviale, nelle quali i fenomeni di accumulo d'acqua diventano più importanti di quelli di trasferimento, è necessario utilizzare una modellazione idraulica in regime di moto vario.

Il programma Hec-Ras però, considera la propagazione della piena nelle golene alla stregua di quella nell'alveo inciso, trascurando, quindi, l'effetto di laminazione insito nel fatto che l'acqua, esondando dall'alveo inciso e allagando le golene, disperde parte del suo volume in tali aree laterali che, per effetto di una maggiore scabrezza del fondo e di una diversa configurazione morfologica, rilasciano tali volumi molto più lentamente e secondo più direzioni.

Per questo motivo, essendo la schematizzazione bidimensionale molto complessa ed onerosa sia dal punto di vista del modello di calcolo che dei dati da utilizzare, solitamente si adotta uno schema di moto cosiddetto quasi-bidimensionale, che è caratterizzato da uno schema monodimensionale lungo il reticolo idrografico e da celle di accumulo connesse idraulicamente al reticolo e tra di loro, che rappresentano le zone limitrofe ai corsi d'acqua, dove la propagazione dell'acqua non avviene attraverso uno schema monodimensionale; si raffina cioè la simulazione in Hec-Ras imponendo una forzatura alla laminazione che nella realtà è determinata dalle golene e che nel software viene simulata inserendo una cassa di espansione fittizia in parallelo al fiume.

Nel caso in esame però, poiché risulta allagato buona parte del tratto di studio, ed essendo quest'ultimo limitato ad una porzione di circa 650 m del corso d'acqua, non si ritiene opportuno l'inserimento di celle di accumulo. Sarebbe infatti necessario l'inserimento di diverse celle lungo i tratti dove si ha allagamento e non in una porzione limitata. Inoltre l'analisi non terrebbe comunque conto dell'effetto di laminazione già avvenuto a monte del tratto analizzato e non risulterebbe accurata in ogni caso. E' stata quindi eseguita l'analisi in moto vario senza celle di accumulo.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56''), DP 75 bar	Pagina 32 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

Moto vario

L'analisi in moto vario conferma l'incapacità dell'alveo di contenere l'onda di piena. In questa analisi il livello idrico nelle sezioni più a monte risulta meno elevato come emerge dai risultati riportati in seguito ed in particolare dal profilo del pelo libero.

Di seguito si riportano i risultati dell'analisi relativi al momento del passaggio del colmo di piena; in particolare si riportano il profilo del pelo libero, la tabella riassuntiva dei risultati della simulazione e le sezioni a monte e valle dell'attraversamento.

RISULTATI OTTENUTI CON HEC-RAS PER UN T=200 anni										
RS	Q	z_{min}	Y	H_c	E(h)	i	v	A	H_{max}	F_r
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	-
100	69.94	10.67	14.99		15.01	0.000311	0.70	127.14	100.46	0.15
95	69.94	10.67	14.98	13.22	15.00	0.000319	0.71	126.03	100.46	0.15
93	Bridge									
90	69.94	10.67	13.60		14.14	0.009093	3.27	21.41	11.44	0.76
85	69.93	10.11	13.18		13.41	0.005216	2.36	40.03	63.07	0.58
80	69.93	10.21	12.91		13.06	0.004301	2.03	48.63	71.96	0.52
75	69.93	10.27	12.81		12.93	0.002996	1.93	60.45	122.06	0.45
70	69.93	9.65	12.76		12.80	0.000952	1.22	101.81	156.80	0.26
65	69.93	9.71	12.66		12.76	0.001571	1.57	61.79	87.75	0.35
60	69.92	9.58	12.50	12.54	12.84	0.006304	2.83	34.72	61.35	0.65
55	69.92	9.65	12.37	12.36	12.64	0.005345	2.57	40.41	82.29	0.60
50	69.94	9.55	12.21		12.30	0.003131	1.61	59.35	92.59	0.45
45	69.91	9.80	12.19		12.25	0.001533	1.35	72.56	90.55	0.32
40	69.88	9.75	12.11		12.23	0.002985	1.92	52.18	72.50	0.45
35	69.39	9.64	12.06		12.12	0.002323	1.41	76.19	137.22	0.39
34	Culvert									
33	69.38	9.64	11.82	11.83	12.01	0.008122	2.32	46.11	115.89	0.70
30	70.53	8.85	11.73		11.77	0.001410	0.93	90.22	129.89	0.29
25	70.05	8.85	11.56		11.73	0.003891	2.21	49.39	92.38	0.52
20	69.98	8.75	11.47		11.66	0.003923	2.32	48.73	85.75	0.53
15	69.93	8.65	11.31		11.43	0.003028	1.98	60.71	107.82	0.45
10	69.92	8.62	11.17		11.29	0.003509	2.06	57.21	95.65	0.48
5	69.92	8.62	11.07	10.93	11.18	0.003037	1.93	61.62	104.94	0.45

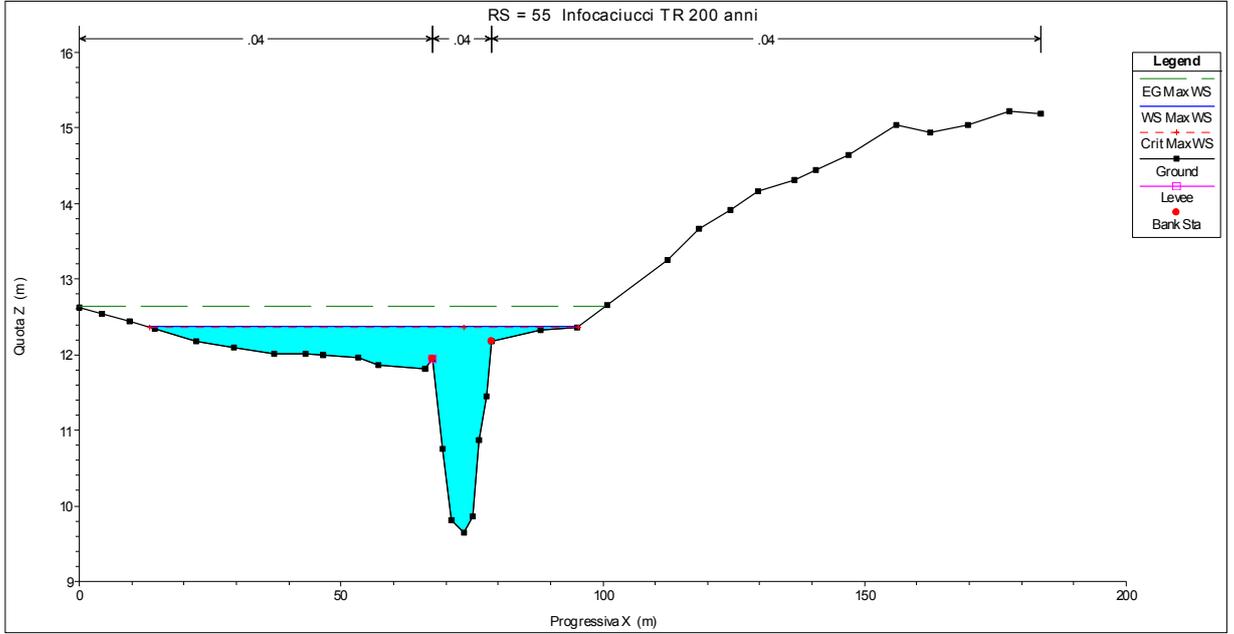
Tab. 6.3/C Risultati di computazione nella condizione di moto vario per un T=200 anni

Le sezioni immediatamente a monte e a valle dell'attraversamento (Sez. 55 e 50) ed i relativi tiranti idrici sono di seguito riportate:

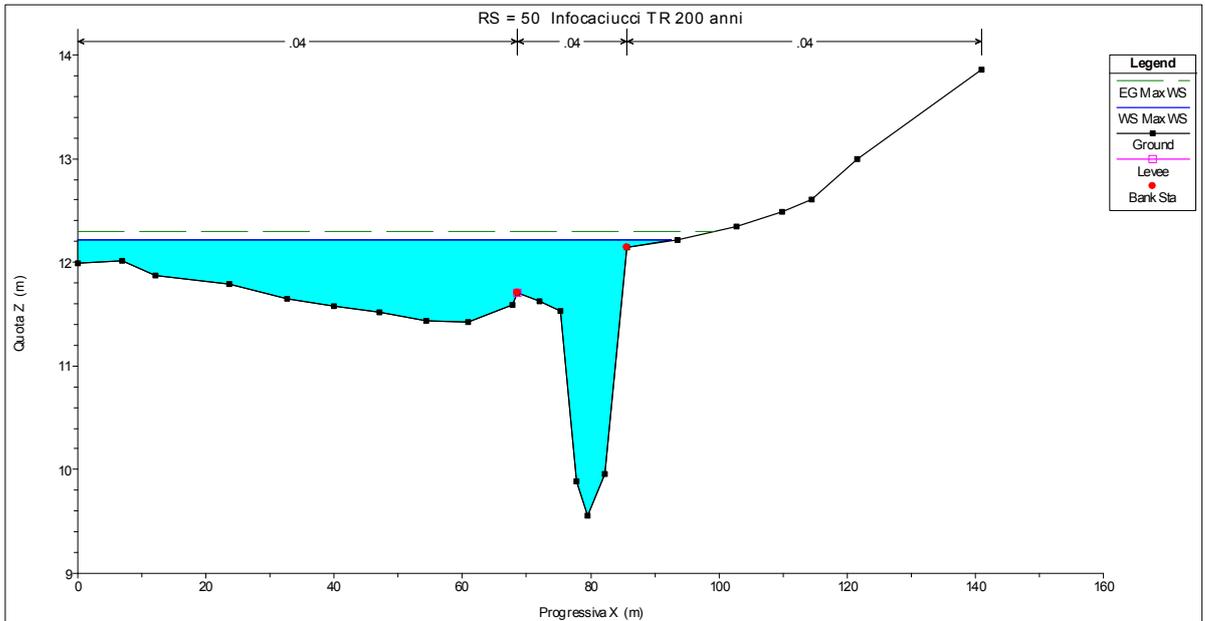
 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 33 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

Sezione 55: monte attraversamento



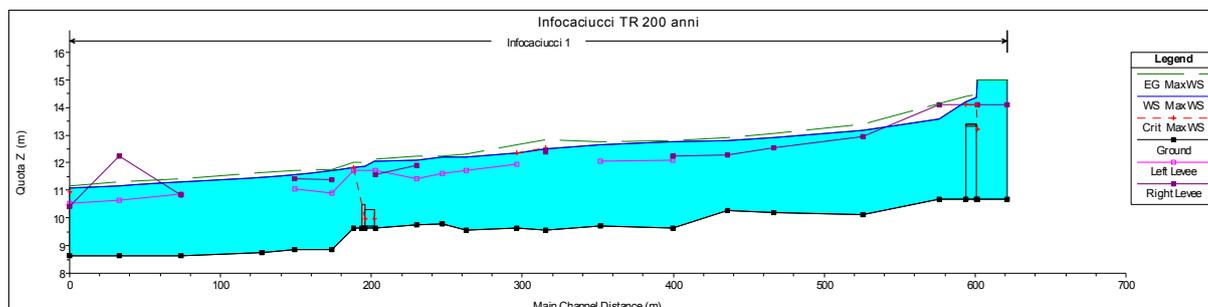
Sezione 50: valle attraversamento



	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56''), DP 75 bar	Pagina 34 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

Profilo longitudinale



È stata quindi studiata un'ipotetica sezione dell'alveo che permetterebbe di contenere la portata di piena duecentennale, così da posizionare il metanodotto ad una quota dal fondo alveo che non ostacoli una possibile futura riprofilatura del canale.

Si è ipotizzata una sezione trapezia approfondita di circa 1 m rispetto al fondo attuale dell'alveo e larga circa 20 m in sommità, con una pendenza delle sponde di 45 gradi.

Eseguendo la simulazione in moto vario con la nuova geometria, estesa a tutto il tratto analizzato, la portata duecentennale risulta smaltita in tutta la zona studiata. In particolare nelle sezioni di monte e valle dell'attraversamento il profilo massimo del pelo libero ha un franco di circa 50-70 centimetri rispetto alla sponda più bassa in sinistra idraulica.

Qui di seguito si riportano risultati della simulazione relativi al momento del passaggio del colmo di piena.

RISULTATI OTTENUTI CON HEC-RAS PER UN T=200 anni										
RS	Q	z _{min}	Y	H _c	E(h)	i	v	A	H _{max}	F _r
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	-
100	22.00	9.04	11.35		11.38	0.000466	0.77	28.41	14.62	0.18
95	22.00	8.79	11.33		11.36	0.000334	0.69	31.89	15.09	0.15
93	21.99	8.49	11.32		11.34	0.000230	0.61	36.30	15.66	0.13
90	21.99	8.33	11.32		11.33	0.000191	0.57	38.76	15.97	0.12
85	21.99	8.15	11.31		11.32	0.000157	0.53	41.59	16.32	0.11
80	21.99	7.91	11.31		11.32	0.000122	0.48	45.48	16.79	0.09
75	21.99	7.72	11.30		11.31	0.000101	0.45	48.66	17.16	0.09
70	21.99	7.62	11.30		11.31	0.000091	0.44	50.36	17.36	0.08
65	21.98	7.45	11.30		11.31	0.000078	0.41	53.30	17.70	0.08
60	21.98	7.38	11.30		11.31	0.000073	0.40	56.31	18.07	0.07
55	21.98	7.29	11.30		11.30	0.000067	0.39	56.83	18.19	0.07
50	21.98	7.15	11.30		11.30	0.000060	0.37	58.65	18.29	0.07
45	Culvert									
40	21.98	7.08	7.85	7.85	8.21	0.018738	2.65	8.30	11.54	1.00
35	21.97	7.00	7.75	7.77	8.13	0.020569	2.73	8.05	11.50	1.04
34	21.97	6.88	7.62	7.65	8.01	0.021845	2.78	7.90	11.47	1.07
33	21.97	6.77	7.48	7.54	7.90	0.024158	2.87	7.64	11.43	1.12
30	21.96	6.50	7.20	7.27	7.64	0.025339	2.92	7.53	11.41	1.15

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56''), DP 75 bar	Pagina 35 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

25	21.96	6.29	7.03	7.06	7.42	0.020992	2.75	7.99	11.49	1.05
20	21.96	6.12	6.95	6.89	7.26	0.014942	2.46	8.92	11.65	0.90
15	22.00	9.04	11.35		11.38	0.000466	0.77	28.41	14.62	0.18
10	22.00	8.79	11.33		11.36	0.000334	0.69	31.89	15.09	0.15
5	21.99	8.49	11.32		11.34	0.000230	0.61	36.30	15.66	0.13

Tab. 6.3/D Risultati di computazione nella condizione di moto vario per un $T=200$ anni con le sezioni riprofilate

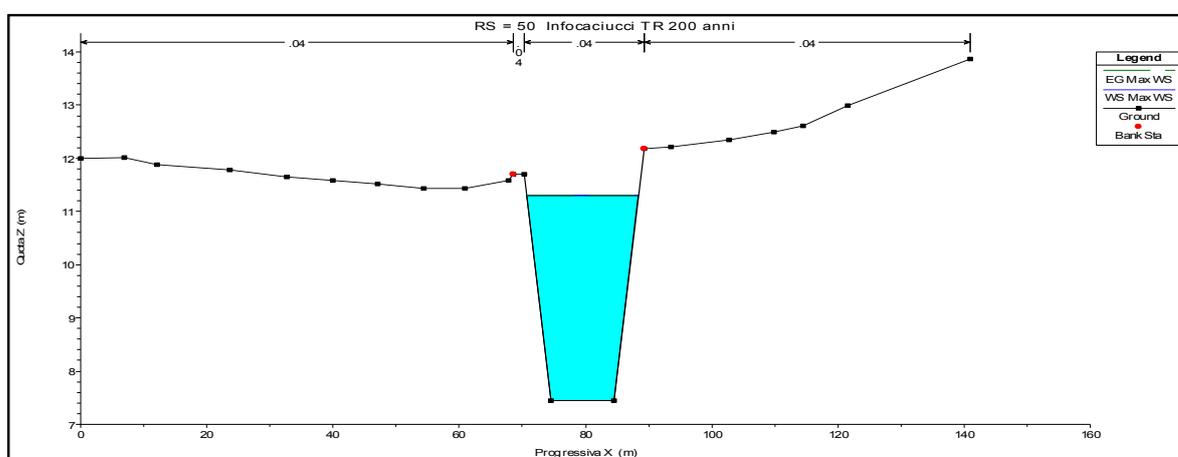


Fig. 6.3/B Sezione 50 (valle attraversamento) riprofilata, con altezza dell'acqua, linea dell'energia e profondità dello stato critico per $T=200$ anni

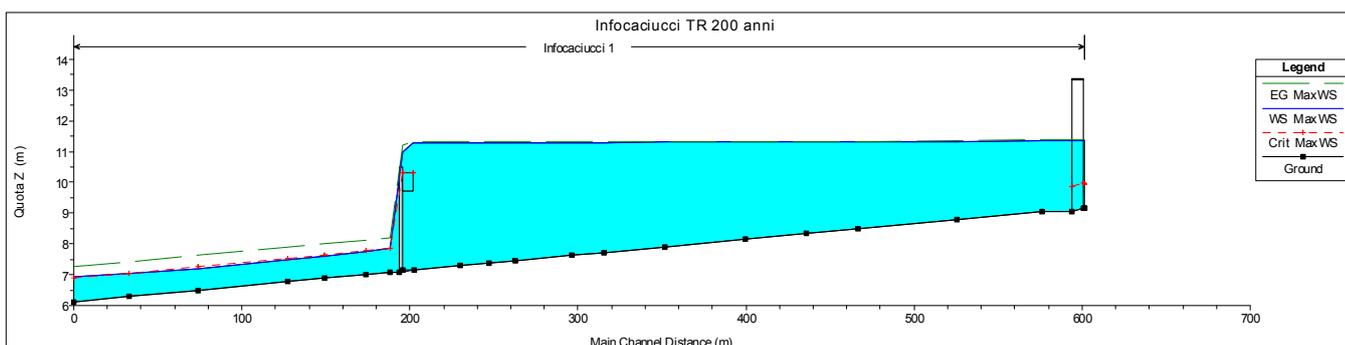


Fig. 6.3/C Profilo di corrente Infocaciucci per un $T=200$ anni con l'alveo rimodellato

A seguito delle simulazioni eseguite, si ritiene cautelativo, anche in vista di possibili riprofilature dell'alveo finalizzate al contenimento della portata di piena duecentennale, posizionare il metanodotto ad una profondità di circa 3 m dal fondo dell'attuale alveo e di mantenere tale profondità per circa 15 m oltre le sponde laterali, così da garantire una adeguata copertura nel caso di approfondimento e di allargamento dell'alveo, evitando qualsiasi interferenza con i lavori di sistemazione idraulica.

Naturalmente, una possibile sistemazione dell'alveo deve essere fatta sulla base di studi specifici che tengano conto dell'intero corso d'acqua e delle relative opere; il

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 36 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

presente studio non è finalizzato alla progettazione di opere di sistemazione dell'alveo ma ha il solo scopo di individuare le dimensioni cautelative per la progettazione dell'attraversamento del canale da parte del metanodotto, in modo da non interferire con ipotetiche future riprofilature del corso d'acqua.

7. PERIMETRAZIONE DELLE AREE ALLAGABILI

7.1 Premessa

I risultati delle simulazione con la portata duecentennale evidenziano una diffusa condizione di esondazione della piena nel tratto analizzato.

Per la perimetrazione delle aree allagate è stata ripetuta la simulazione in moto permanente anche per le portate con Tr 30 e 500 anni.

7.2 Risultati del calcolo

Di seguito si riportano i risultati della simulazione dove i parametri riportati in tabella sono:

- RS = Sezione (River Station)
- Q = Portata totale;
- z_{min} = Quota minima della sezione;
- Y = Altezza pelo libero;
- H_c = Altezza dello stato critico;
- E(h) = Energia calcolata per un determinata altezza idrica;
- i = Pendenza della linea dell'energia;
- v = velocità media del flusso nel canale principale;
- A = Area totale del flusso nella sezione di attraversamento;
- H_{max} = Altezza massima;
- F_r = numero di Froude che può essere:
 - $F_r > 1$ corrente veloce;
 - $F_r = 1$ corrente critica;
 - $F_r < 1$ corrente lenta.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 37 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

Tempo di ritorno di 30 anni

RISULTATI OTTENUTI CON HEC-RAS PER UN T=30 anni										
RS	Q	Z _{min}	Y	H _c	E(h)	i	v	A	H _{max}	F _r
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	-
100	36.23	10.67	13.49	12.48	13.65	0.002880	1.80	20.13	11.12	0.43
95	36.23	10.67	13.41	12.48	13.59	0.003236	1.88	19.27	10.90	0.45
93	Bridge									
90	36.23	10.67	12.94	12.48	13.26	0.007065	2.51	14.43	9.58	0.65
85	36.23	10.11	12.74	12.03	12.95	0.004235	2.04	17.79	11.28	0.52
80	36.23	10.21	12.53	11.90	12.70	0.003884	1.95	24.88	54.10	0.49
75	36.23	10.27	12.37	11.89	12.57	0.004767	2.09	23.39	58.79	0.55
70	36.23	9.65	12.40	11.37	12.45	0.001134	1.18	51.00	120.70	0.28
65	36.23	9.71	12.34	11.14	12.40	0.000980	1.11	38.08	58.28	0.27
60	36.23	9.58	12.03	11.49	12.31	0.005736	2.34	15.67	13.90	0.60
55	36.23	9.65	11.94	11.42	12.19	0.005502	2.24	17.19	24.52	0.59
50	36.23	9.55	11.93	11.40	12.00	0.003173	1.40	35.52	75.18	0.44
45	36.23	9.80	11.93	11.36	11.96	0.001090	1.05	51.47	75.02	0.26
40	36.23	9.75	11.86	11.33	11.94	0.001941	1.41	35.23	50.90	0.35
35	36.23	9.64	11.33	11.18	11.79	0.012262	3.00	12.09	9.61	0.85
34	Culvert									
33	36.23	9.64	11.18	11.18	11.77	0.017120	3.38	10.73	9.21	1.00
30	36.23	8.85	11.46	11.04	11.48	0.001519	0.79	55.29	117.65	0.29
25	36.23	8.85	11.27	10.63	11.42	0.003291	1.82	25.80	48.83	0.46
20	36.23	8.75	11.14	10.55	11.34	0.003775	2.01	23.27	60.30	0.50
15	36.23	8.65	11.02	10.38	11.14	0.002855	1.73	32.86	84.18	0.42
10	36.23	8.62	10.89	10.81	11.01	0.003398	1.82	32.64	79.22	0.46
5	36.23	8.62	10.79	10.35	10.90	0.003004	1.72	34.69	88.49	0.44

Tab. 7.2/A Risultati di computazione nella condizione di moto permanente per un T=30 anni

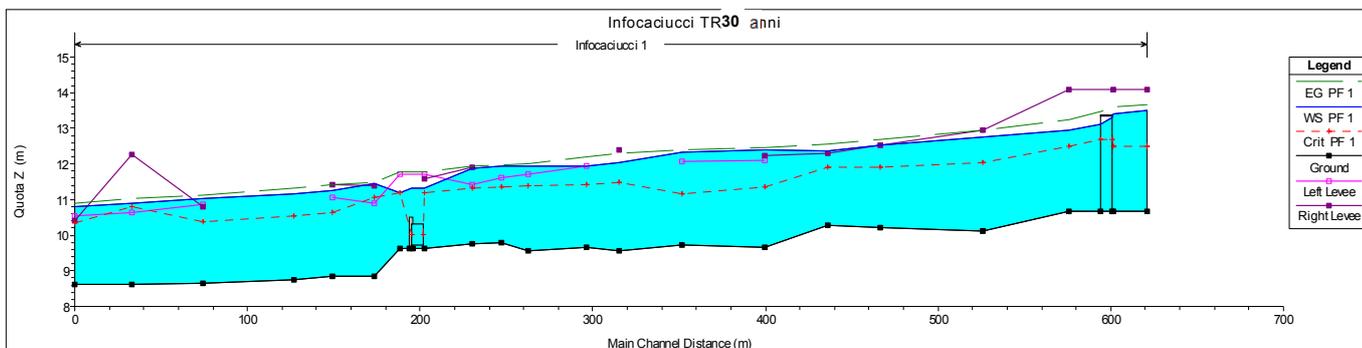


Fig. 7.2/A Profilo di corrente Infocaciucci per un T=30 anni

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 38 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

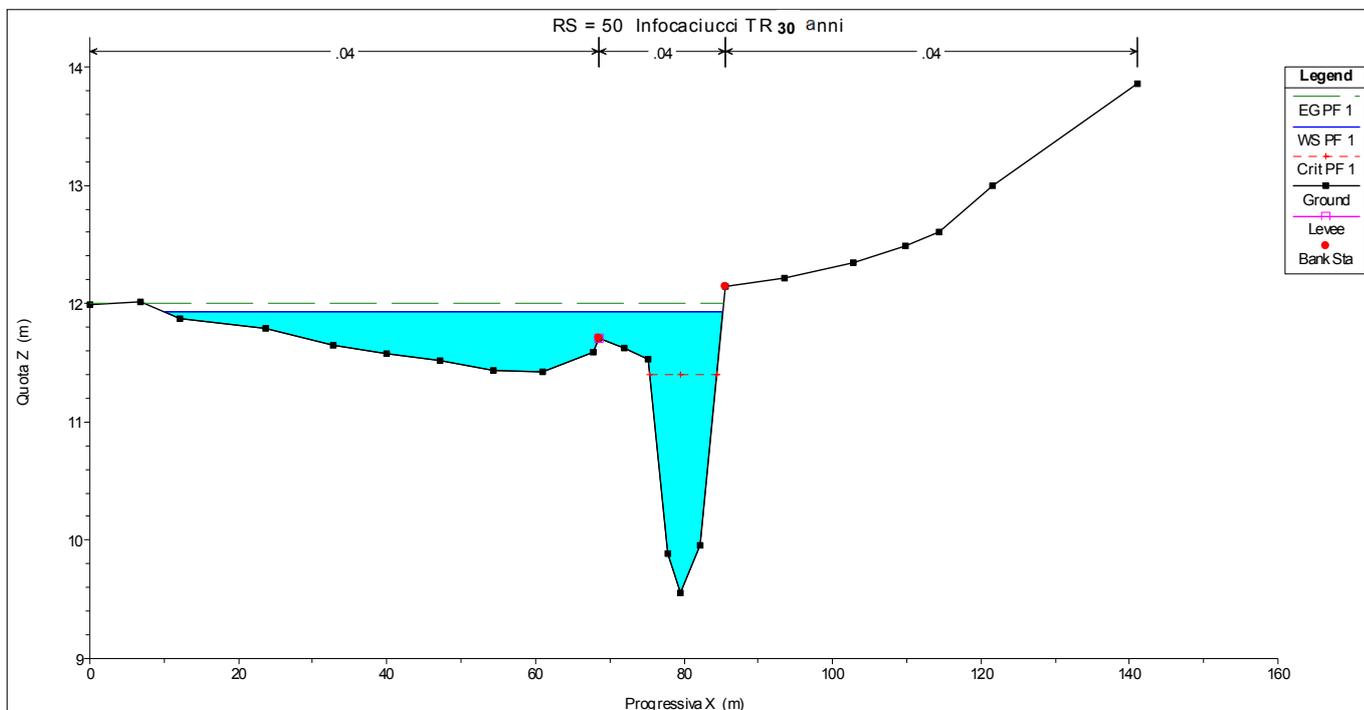


Fig. 7.2/B Sezione 50 a valle dell'attraversamento con altezza dell'acqua, linea dell'energia e profondità dello stato critico per T=30 anni

Tempo di ritorno di 500 anni

RISULTATI OTTENUTI CON HEC-RAS PER UN T=500 anni										
RS	Q	z _{min}	Y	H _c	E(h)	i	v	A	H _{max}	F _r
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	-
100	87.39	10.67	14.66	13.53	14.72	0.001140	1.21	94.10	100.46	0.28
95	87.39	10.67	14.63	13.53	14.69	0.001235	1.24	91.32	100.46	0.29
93	Bridge									
90	87.39	10.67	13.53	13.53	14.45	0.015676	4.24	20.63	11.25	1.00
85	87.39	10.11	13.03	13.22	13.62	0.013489	3.60	31.03	57.33	0.93
80	87.39	10.21	13.12	12.87	13.23	0.003376	1.86	64.27	84.77	0.47
75	87.39	10.27	13.09	12.76	13.15	0.001552	1.53	101.77	159.45	0.33
70	87.39	9.65	13.09	12.47	13.11	0.000509	0.98	156.94	187.09	0.20
65	87.39	9.71	13.00	11.93	13.07	0.001002	1.39	96.59	120.99	0.28
60	87.39	9.58	12.66	12.66	12.97	0.005807	2.86	44.76	64.98	0.63
55	87.39	9.65	12.32	12.48	12.82	0.010069	3.46	36.33	71.92	0.82
50	87.39	9.55	12.30	12.08	12.40	0.003422	1.76	67.54	99.08	0.47
45	87.39	9.80	12.28	11.87	12.36	0.001774	1.50	81.21	97.66	0.34
40	87.39	9.75	12.08	11.96	12.29	0.005043	2.47	50.55	71.95	0.58
35	87.39	9.64	12.02	11.90	12.13	0.004430	1.91	70.94	133.85	0.53

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 39 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

RISULTATI OTTENUTI CON HEC-RAS PER UN T=500 anni										
RS	Q	Z _{min}	Y	H _c	E(h)	i	v	A	H _{max}	F _r
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	-
34	Culvert									
33	87.39	9.64	11.90	11.90	12.10	0.008321	2.45	55.26	122.91	0.71
30	87.39	8.85	11.88	11.37	11.92	0.001176	0.93	109.94	129.89	0.27
25	87.39	8.85	11.71	11.58	11.86	0.003352	2.16	63.37	92.38	0.49
20	87.39	8.75	11.54	11.50	11.77	0.004650	2.58	54.99	88.12	0.58
15	87.39	8.65	11.43	11.27	11.54	0.002878	2.00	73.80	110.95	0.44
10	87.39	8.62	11.28	11.12	11.41	0.003661	2.18	67.75	103.91	0.50
5	87.39	8.62	11.18	11.00	11.29	0.003001	1.99	73.83	110.81	0.45

Tab. 7.2/B Risultati di computazione nella condizione di moto permanente per un T=500 anni

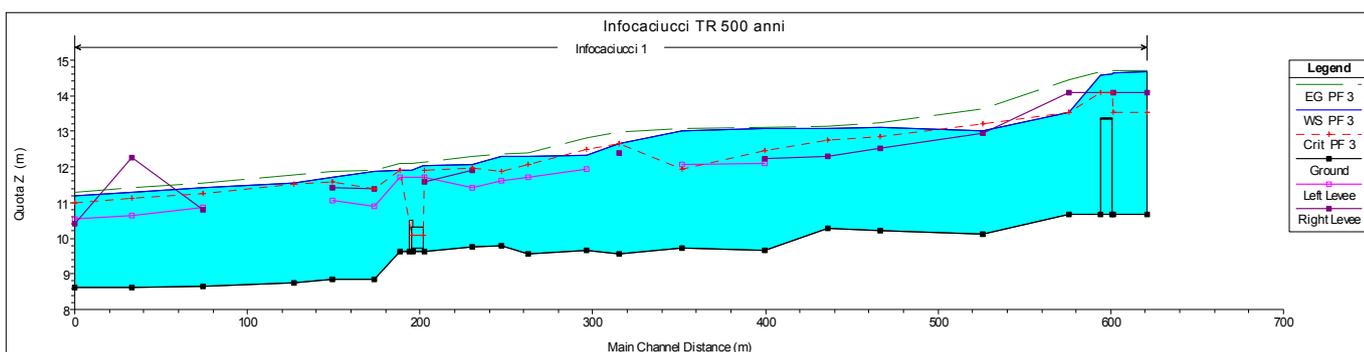


Fig. 7.2/C. Profilo di corrente Infocaciucci per un T=500 anni

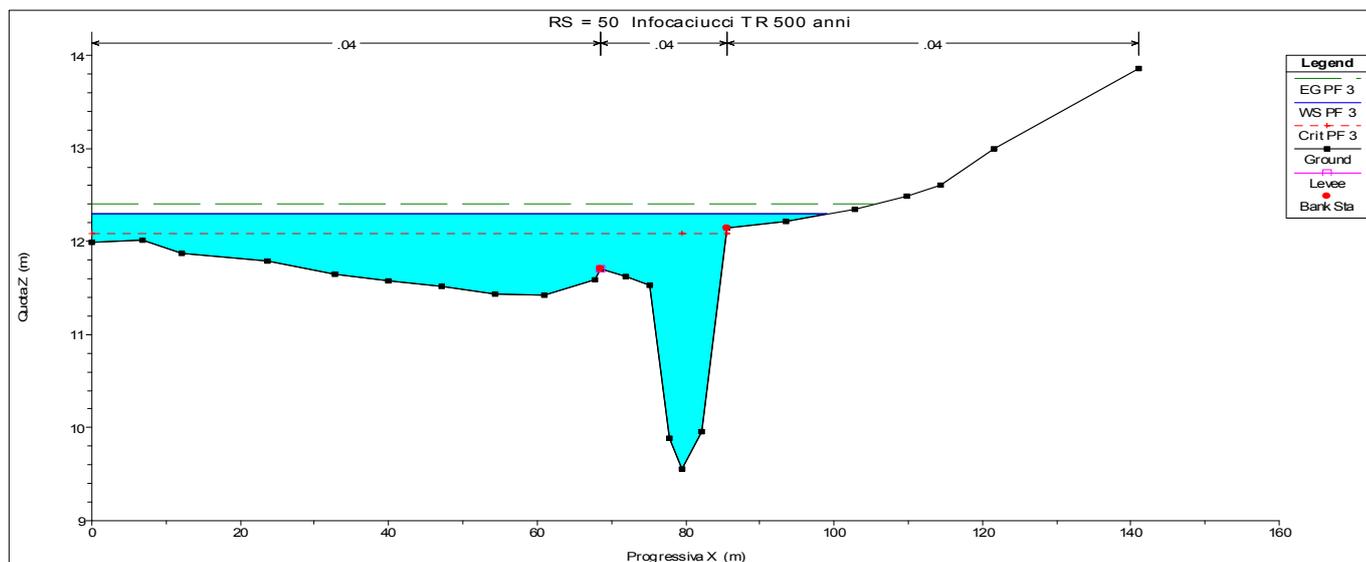


Fig. 7.2/D. Sezione 50 a valle dell'attraversamento con altezza dell'acqua, linea dell'energia e profondità dello stato critico per T=500 anni

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 40 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

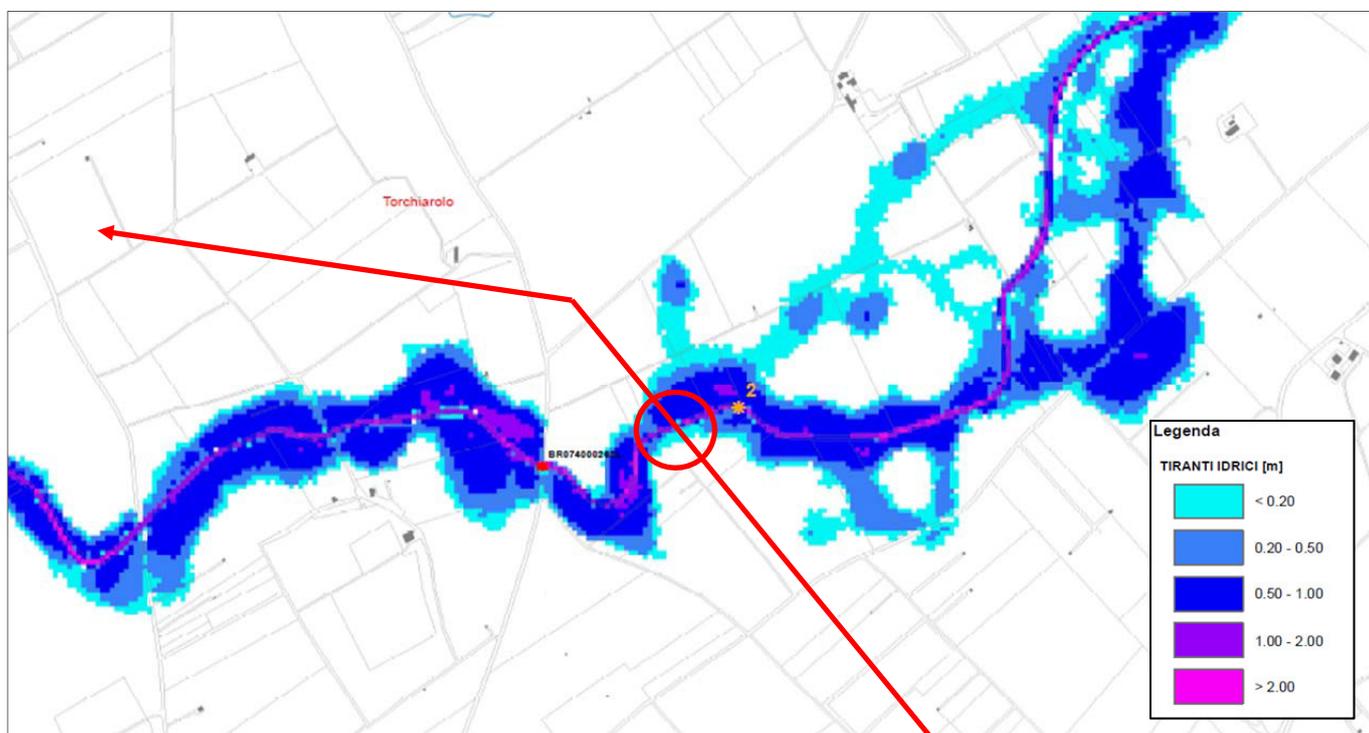


Fig. 7.2/E Perimetrazione delle Aree Allagate eseguita dall'AdB Puglia e relativi tiranti idrici con la portata $Tr=200$ anni, la linea rossa rappresenta il met. Int. TAP



Fig. 7.2/F Perimetrazione delle Aree Allagate con Tr 30, 200 e 500 anni

Nel tratto oggetto di studio gli allagamenti sono diffusi, già simulando lo scorrimento della portata trentennale. Come si nota in Fig. 7.2/F, le aree in azzurro perimetrano la fascia di esondazione generata dalla portata con Tr 30 anni, in blu la fascia con Tr 200 anni ed in blu scuro quella relativa alla portata cinquecentennale.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 41 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

Si può notare che in corrispondenza dell'attraversamento, le quote topografiche, fanno sì che l'allagamento si espanda in sinistra idraulica. Le aree allagate sono confermate anche dallo studio dell'Autorità di Bacino (Fig. 7.2/E), il quale indica per il tratto interessato dall'attraversamento, in occasione della portata duecentennale, dei tiranti idrici compresi tra 0,50 cm e 1 m in sinistra idraulica ed inferiori a 20 cm in destra.

Da sottolineare il fatto che il tratto interessato dall'attraversamento del metanodotto è posto in aree agricole, l'opera è completamente interrata, non sono previsti manufatti fuori terra, né verrà in alcun modo modificata la permeabilità dei suoli circostanti, lasciando inalterata la possibilità della lama d'acqua esondata di infiltrarsi nel terreno o riconfluire naturalmente all'interno dell'alveo.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 42 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

8. EROSIONE

8.1 Premessa

Essendo l'opera in oggetto una condotta interrata posta al di sotto di un alveo fluviale, l'erosione risulta essere solitamente un dato fondamentale dello studio idraulico, in quanto, se si fosse in presenza di un'intensa attività erosiva, il fondo potrebbe essere scavato fino a raggiungere la condotta minandone la stabilità.

Quello del trasporto solido è una stima complessa in quanto deve tenere in considerazione diversi fattori in contemporanea e dovrebbe essere suffragato da osservazioni di una certa durata che permettano di operare un confronto e valutare l'evoluzione dell'alveo.

Si procede di seguito alla verifica del trasporto solido attraverso il metodo empirico di Schoklitsch.

8.2 Metodo di Schoklitsch

Questo metodo è applicabile nel caso di moto permanente sia per la portata liquida che per quella solida. Si definisce una portata critica q_c in funzione del diametro D_{50} del materiale al di sopra del quale inizia il trasporto solido.

Questo metodo stima la portata critica q_c per la quale ha inizio il movimento, rendendo immediatamente visibile il risultato.

$$q_s = 2500 \cdot j^{\frac{3}{2}} (q - q_c)$$

$$q_c = 0.26 \cdot \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \right) \cdot \frac{D^{\frac{3}{2}}}{j^{\frac{7}{6}}}$$

$$q = \frac{Q}{b}$$

dove:

- Q = portata liquida totale [m^3/s];
- q_s = portata solida per unità di larghezza [m^2/s];
- q_c = portata solida critica per unità di lunghezza, corrispondente all'inizio del moto dei sedimenti [m^2/s];
- γ_s = peso specifico dei sedimenti [kg/m^3];
- γ = peso specifico acqua [kg/m^3];
- b = larghezza della sezione bagnata in esame [m];

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56''), DP 75 bar	Pagina 43 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

- j = pendenza della linea di energia nella sezione in esame;
- D = diametro caratteristico del sedimento corrispondente a D_{50} [m];
- q = portata liquida volumetrica per unità di larghezza [$m^3/s \cdot m$].

I parametri per la zona interessata dall'attraversamento sono stati ricavati da letteratura per terreni composti da sabbie calcaree e calcareniti marnose (Calcareniti del Salento):

PARAMETRI UTILIZZATI NELLA SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO				
D_{50} [m]	γ [Kg/m ³]	γ_s [Kg/m ³]	i	b [m]
0.01	1000	1670	0.003	11

Per il calcolo si è utilizzata la portata con $T=200$ anni per avere un valore del trasporto solido a favore della sicurezza.

I valori riscontrati per la sezione dell'attraversamento sono i seguenti:

TRASPORTO SOLIDO SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO			
Q_{200} [m ³ /s]	q [m ² /s]	q_c [m ² /s]	q_s [m ² /s]
69.94	6.36	0.117	2.56

Si evidenzia che nella zona in esame c'è effettivamente un movimento di materiale, anche se la scarsa pendenza e la vegetazione, sono indizi di un trasporto solido limitato.

8.3 Profondità di erosione del fondo dell'alveo

Esistono vari studi, per lo più sperimentali, per la determinazione della massima profondità di erosione di un fondo d'alveo in corrispondenza di piene eccezionali, dovute principalmente o alla presenza di discontinuità nei litotipi, o alla presenza di manufatti in alveo o, ancora per fenomeni legati alla propagazione di barre alternate.

Nel caso in progetto, vista l'assenza di manufatti in alveo, e visti che le erosioni legate alla propagazione delle barre alternate sono di un ordine di grandezza inferiore alle erosioni legate a discontinuità, ci si limiterà a studiare quest'ultimo caso.

Dall'espressione di Schoklitsch, utilizzando le grandezze caratteristiche del moto determinate ai paragrafi precedenti, risulta:

$$S_{\max} = 0.378 \cdot E^{0.5} \cdot q_s^{0.35} + 2.15 \cdot a$$

dove:

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 44 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

- S_{max} = profondità massima della buca rispetto alla quota media dell'alveo [m];
- E = carico idrico totale a monte [m];
- q_s = portata solida per unità di larghezza [m^2/s];
- a = dislivello delle quote d'alveo a monte ed a valle della buca [m]

Nella seguente tabella si riassumono i calcoli effettuati nella sezione dell'attraversamento:

PROFONDITA' EROSIONE SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO			
E [m]	q_s [m^2/s]	a [m]	S_{max} [m]
3	2.56	0.15	1.23

Tale valore $S_{max} = 123$ cm rappresenta una stima del valore massimo di erosione che può verificarsi nel corso della piena, in corrispondenza della zona di attraversamento.

Su tale valore tuttavia è bene fare alcune considerazioni:

- le formule utilizzate consentono di determinare l'ordine di grandezza dei valori in gioco che pertanto vanno utilizzati con notevole cautela ed opportuni coefficienti di sicurezza;
- nel tratto in questione l'altezza critica della corrente è prossima all'altezza di moto uniforme; sono pertanto possibili risalti ed erosioni localizzate;
- la velocità dell'acqua in caso di piena non appare elevata, anche se non del tutto trascurabile.

Per tali motivi, in considerazione delle caratteristiche dell'alveo fluviale e dei materiali presenti in sito si ritiene opportuno, per stimare la profondità di posa del tubo da progetto, aggiungere al valore massimo stimato di approfondimento in alveo un franco di sicurezza di circa 1 m.

Pertanto la profondità alveo sulla generatrice superiore del tubo di protezione del metanodotto sarà mantenuta a circa 3 m.

Questo valore garantisce la sicurezza della condotta dai fenomeni di erosione, dai valori stimati si può affermare che la condotta rimarrà coperta anche durante piene con tempo di ritorno di 200 anni e, quindi, si può ritenere adeguata la profondità di progetto.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 45 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

9. CONCLUSIONI

Per la verifica della compatibilità idraulica del Metanodotto Interconnessione TAP DN 1400 (56") DP 75 bar è stato condotto uno studio idrologico/idraulico utilizzando i valori dell'idrogramma di piena con tempo di ritorno 200 anni.

Per il calcolo della curva di possibilità pluviometrica è stato utilizzato il modello VAPI del Gruppo Nazionale Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche, relativamente alla zona 6. Per la stima dell'idrogramma di piena è stato adottato il metodo Curve Number del Soil Conservation Service (CN-SCS), che consente di ricavare le portate a partire dall'idrogramma adimensionale di Mockus.

La portata di picco dell'idrogramma di piena per un tempo di ritorno di 200 anni risulta pari a 69.94 m³/s.

Per la verifica idraulica è stato utilizzato il software HEC-RAS, sviluppato da Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers (release 5.0.1).

È stata dapprima eseguita una simulazione in moto permanente allo scopo di effettuare un'analisi preliminare delle criticità del fiume, per poi passare a una simulazione più raffinata in condizioni di moto vario.

Dalla simulazione eseguita l'alveo del canale non risulta in grado di smaltire la portata di piena duecentennale lungo buona parte del tratto analizzato.

Si è quindi proceduto con la valutazione di una sezione di progetto del canale che consenta il contenimento della portata duecentennale.

A seguito delle simulazioni eseguite, si ritiene cautelativo, in vista di possibili riprofilature dell'alveo, posizionare il metanodotto ad una profondità di 3 m dall'attuale fondo del canale e mantenere tale profondità per almeno 15 m oltre le sponde laterali.

In conclusione si può affermare che l'opera è compatibile idraulicamente con il corso d'acqua attraversato in quanto è completamente interrata, non prevede la presenza di manufatti fuori terra né la modifica della permeabilità dei suoli circostanti, lasciando inalterata la possibilità della lama d'acqua esondata di infiltrarsi nel terreno o riconfluire naturalmente all'interno dell'alveo.

La sua realizzazione non determina alterazioni dell'alveo e del libero deflusso delle acque, non interferisce con future possibili riprofilature del canale atte a contenere la portata di piena duecentennale e non sono necessari ripristini post-operam, poiché l'attraversamento sarà realizzato tramite trivellazione spingitubo.

Per quanto riguarda il problema dell'erosione di fondo, il canale Infocaciucci, nel tratto interessato risulta soggetto a limitati fenomeni di trasporto solido. Il metanodotto verrà posizionato con una copertura di 3 metri rispetto alla profondità di fondo alveo e pertanto con un franco di sicurezza di circa 1,5 metri dal valore massimo di erosione in caso di piena duecentennale.

 SNAM RETE GAS	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/13167	UNITA 00
	LOCALITA' REGIONE PUGLIA	RE-IDR-320	
	PROGETTO/IMPIANTO MET. INTERCONNESSIONE TAP DN 1400 (56"), DP 75 bar	Pagina 46 di 46	Rev. 0

Rif. TFM: 011014-00-RB-E-320

10. ALLEGATI

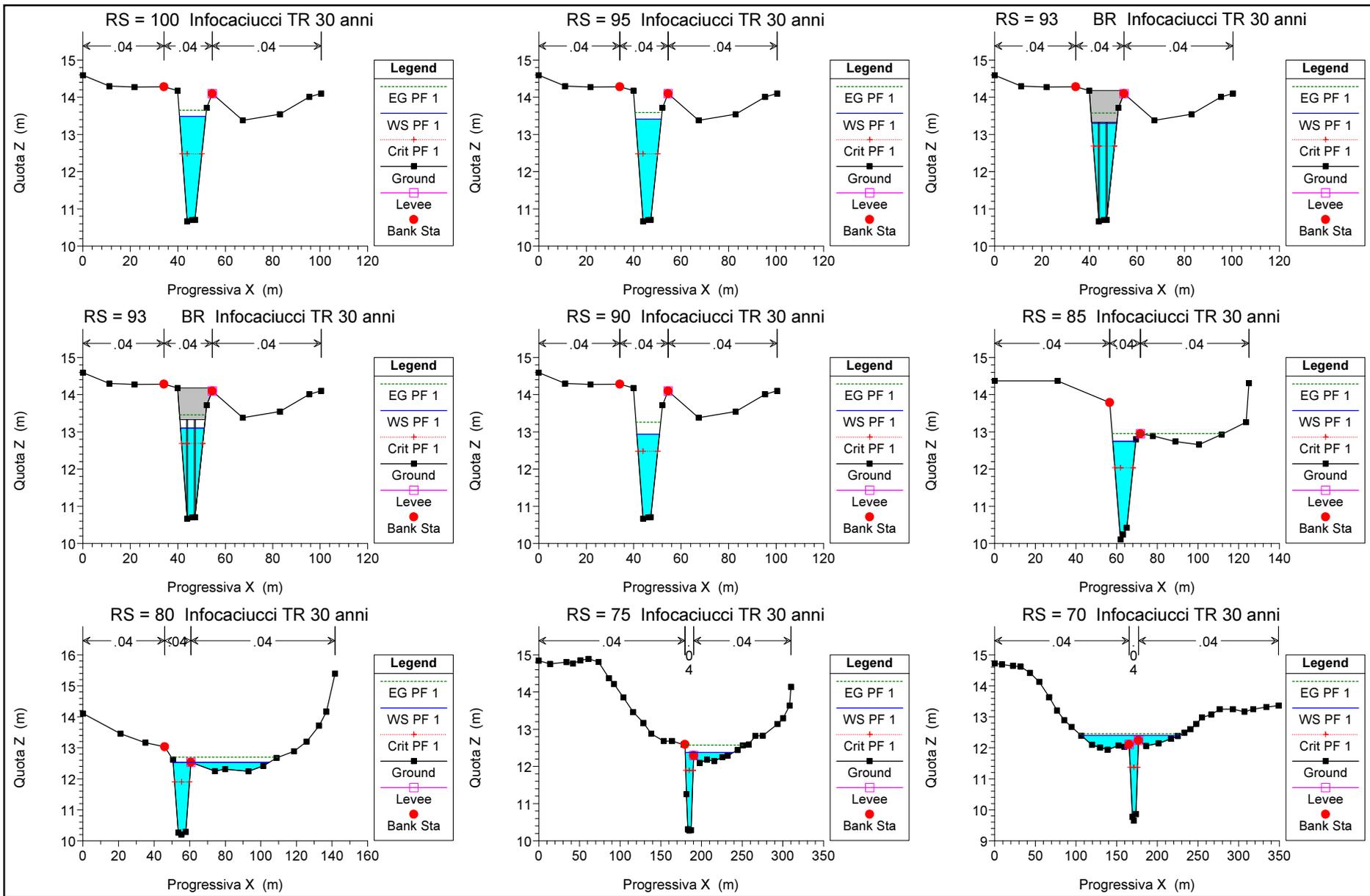
- ALLEGATO 1: SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE CON TEMPO DI RITORNO 30 ANNI
- ALLEGATO 2: SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI
- ALLEGATO 3: SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE CON TEMPO DI RITORNO 500 ANNI
- ALLEGATO 4: SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO VARIO CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI

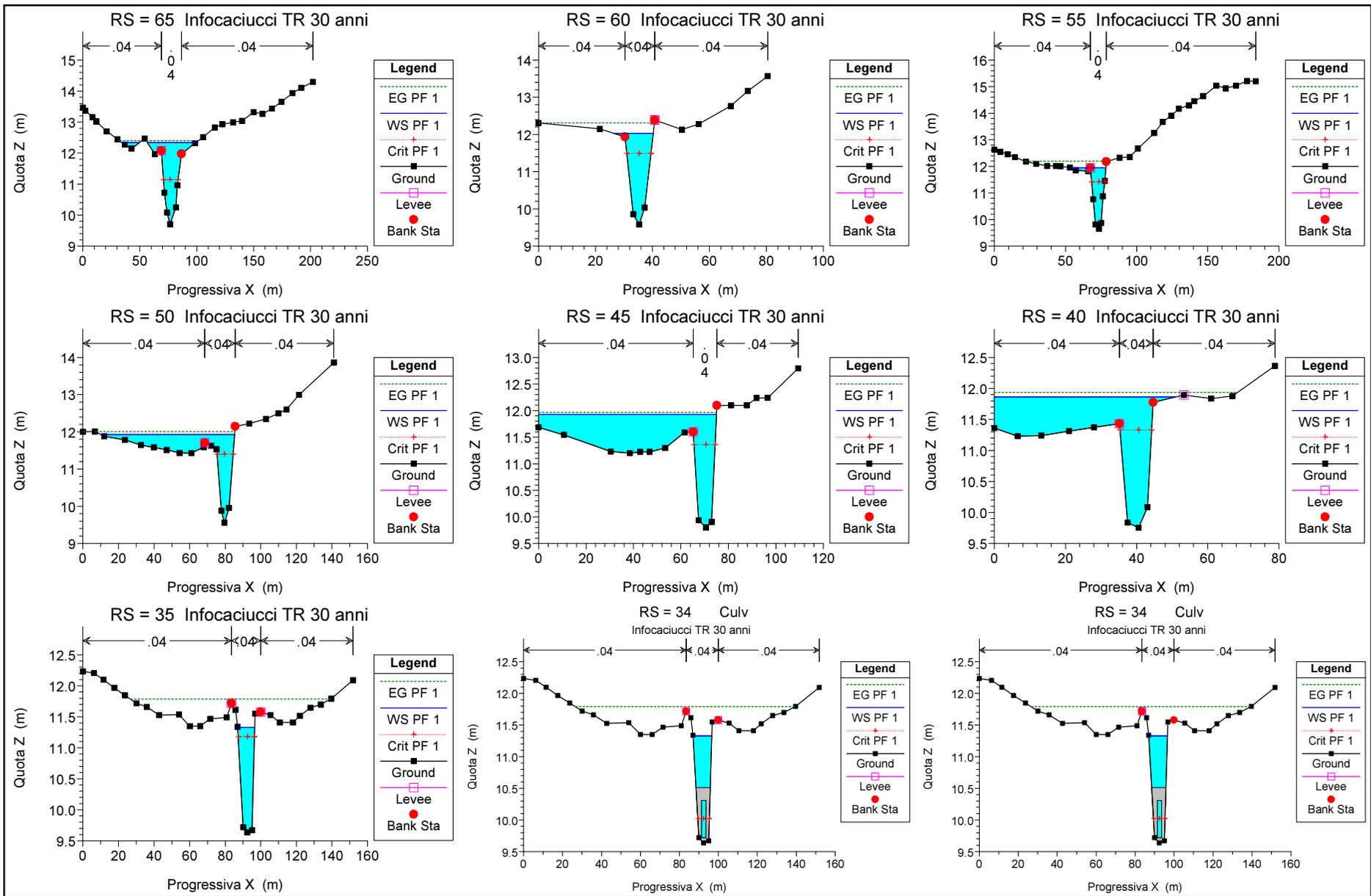
11. BIBLIOGRAFIA

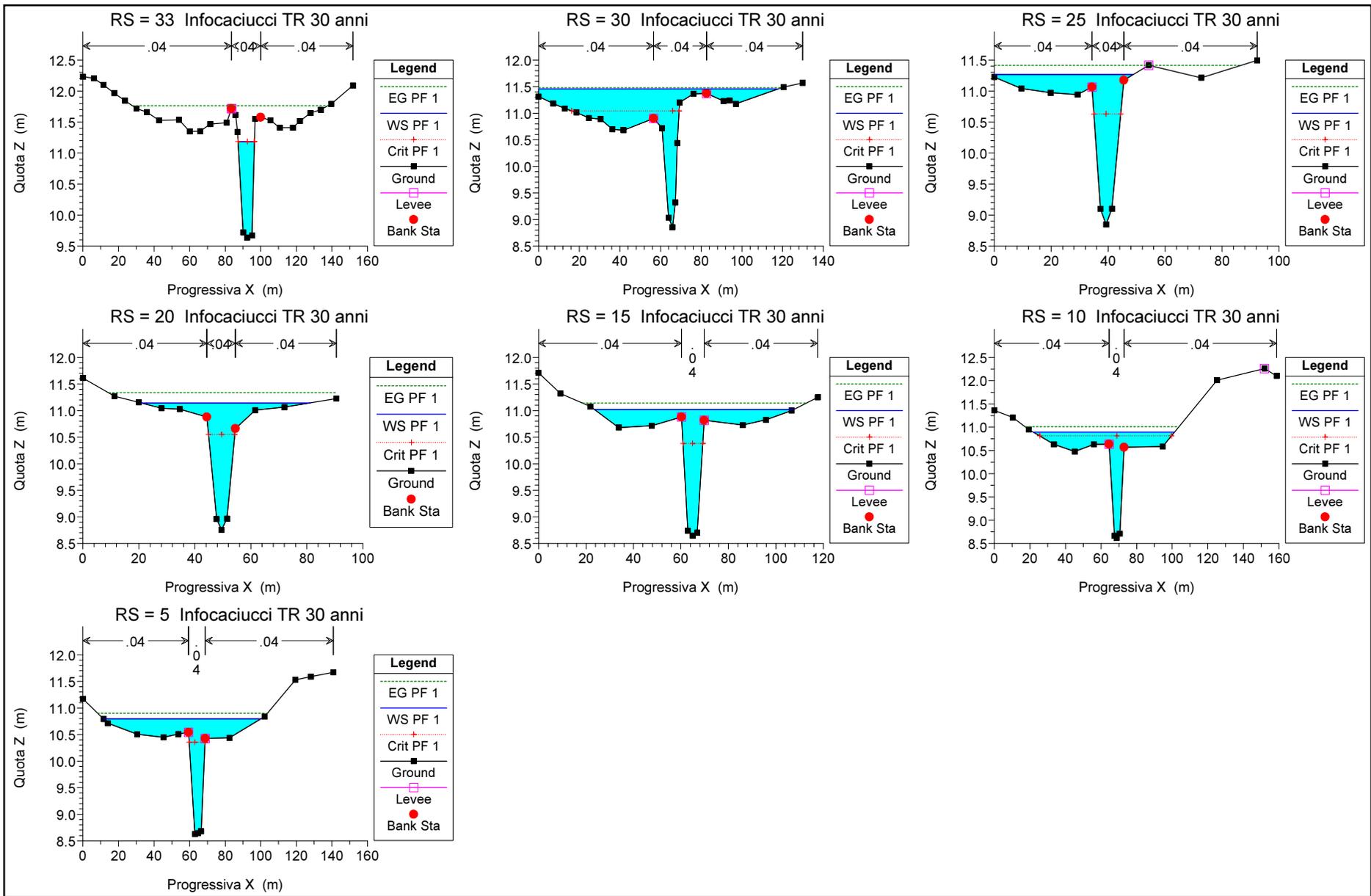
- AUTORITA' DI BACINO DELLA PUGLIA - "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di ottobre e novembre 2005 nelle province di Bari e Brindisi Ed. dicembre (2012)"
- AUTORITA' DI BACINO DELLA PUGLIA – Piano di Bacino, Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) (2004).
- CHOW V.T. "Open Channel Hydraulics" McGraw-Hill, 1959.
- COPERTINO V., FIORENTINO M. (a cura di) "Valutazione delle piene in Puglia", CNR-GNDICI, Potenza, 1992.
- ROSSI F., FIORENTINO M., VERSACE P. "Two component extreme value distribution for flood frequency analysis", Water Resour. Res., Vol. 20, n.7, pp.847-856, 1984.
- RUWA srl acqua territorio energia – Modellistica Idrologica e Idraulica (2010)
- Schoklitsch A. (1962) - Handbuch des Wasserbaues, 3rd edn. Springer, Vienna, 1-475
- Soil Conservation Service (SCS), National Engineering Handbook, Section 4 Hydrology, 192
- US Army Corps of Engineers, HEC-RAS River Analysis System, User's Manual.

ALLEGATO 1

SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE CON TEMPO DI RITORNO 30 ANNI

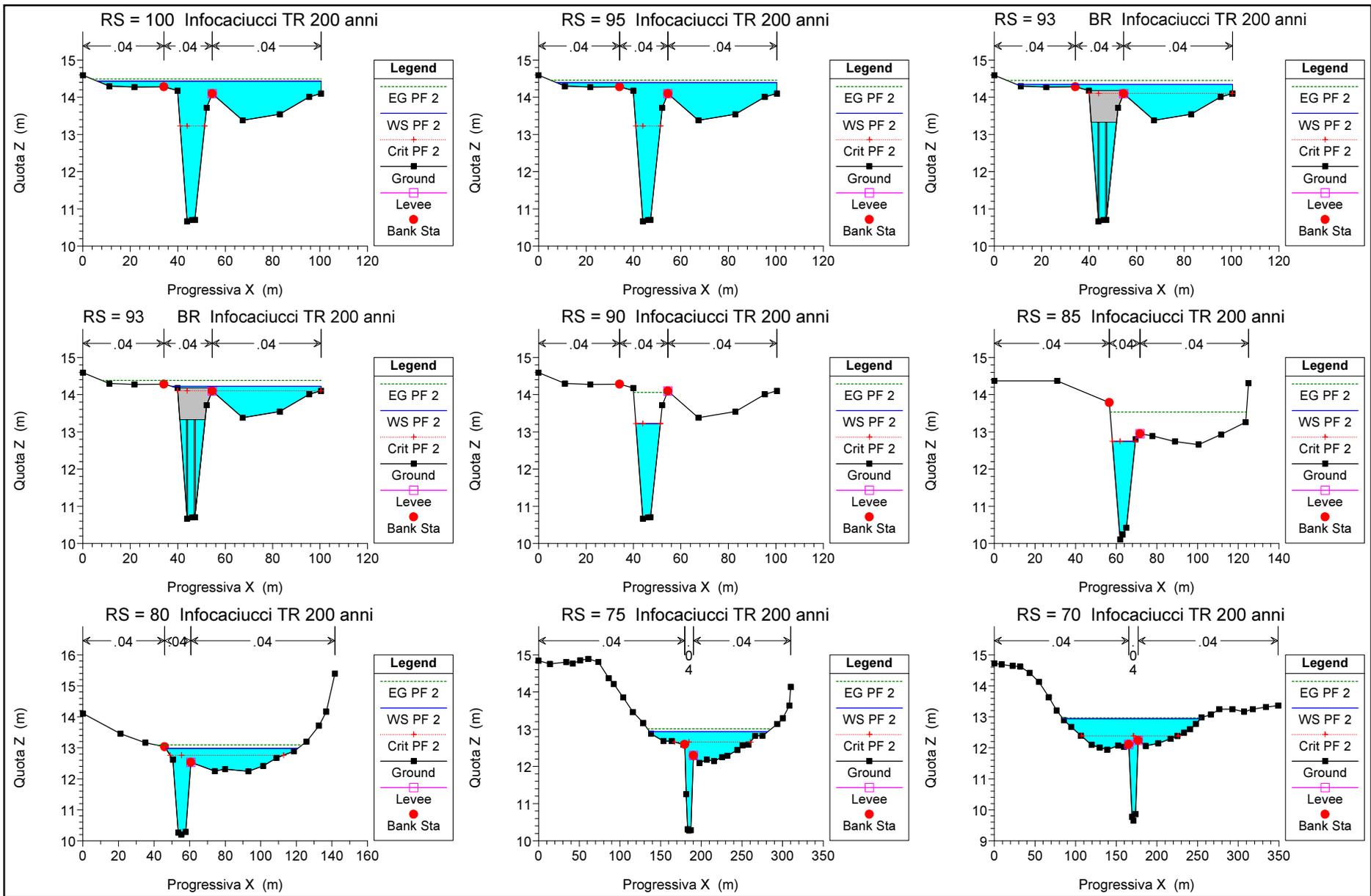


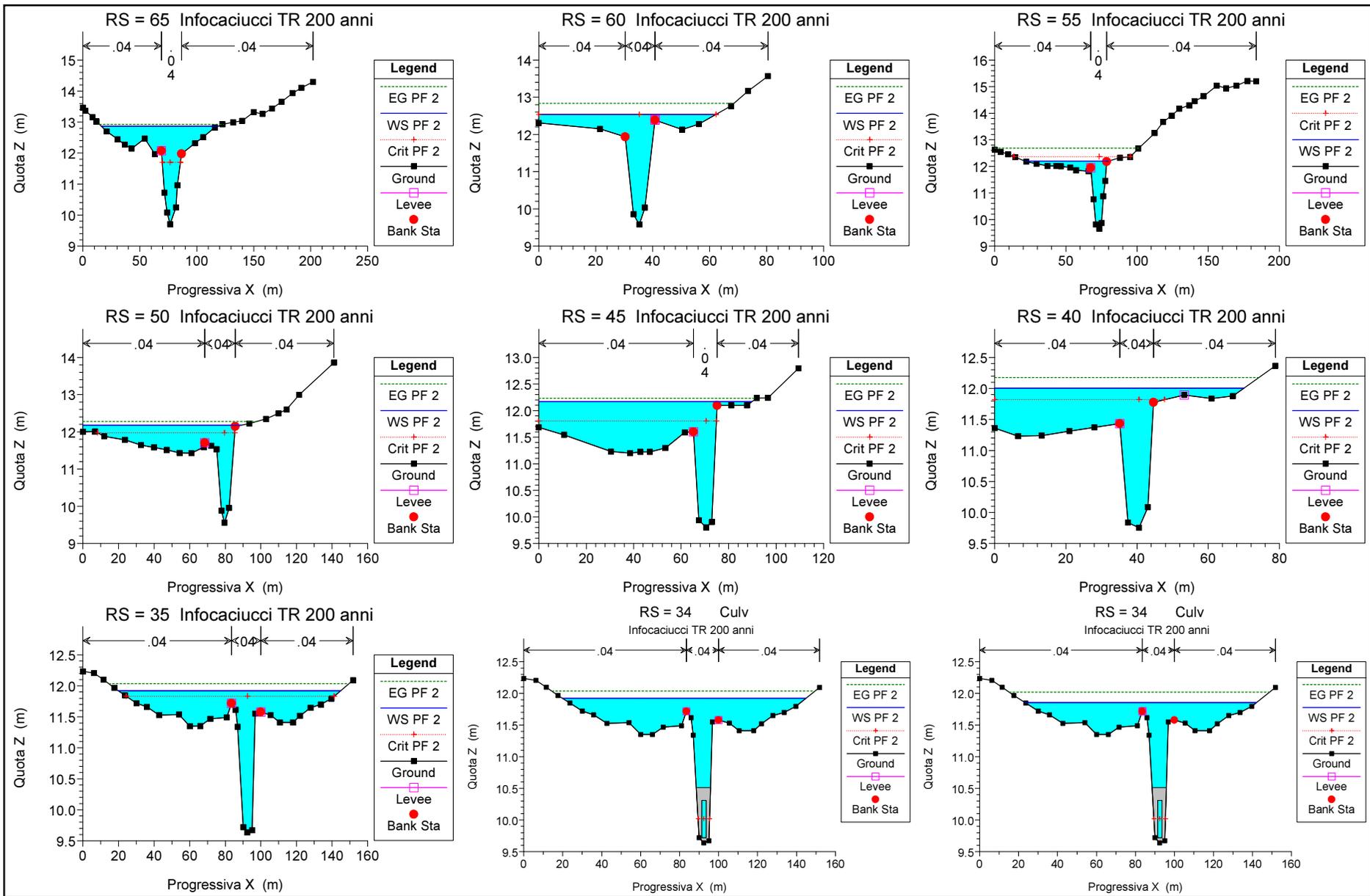


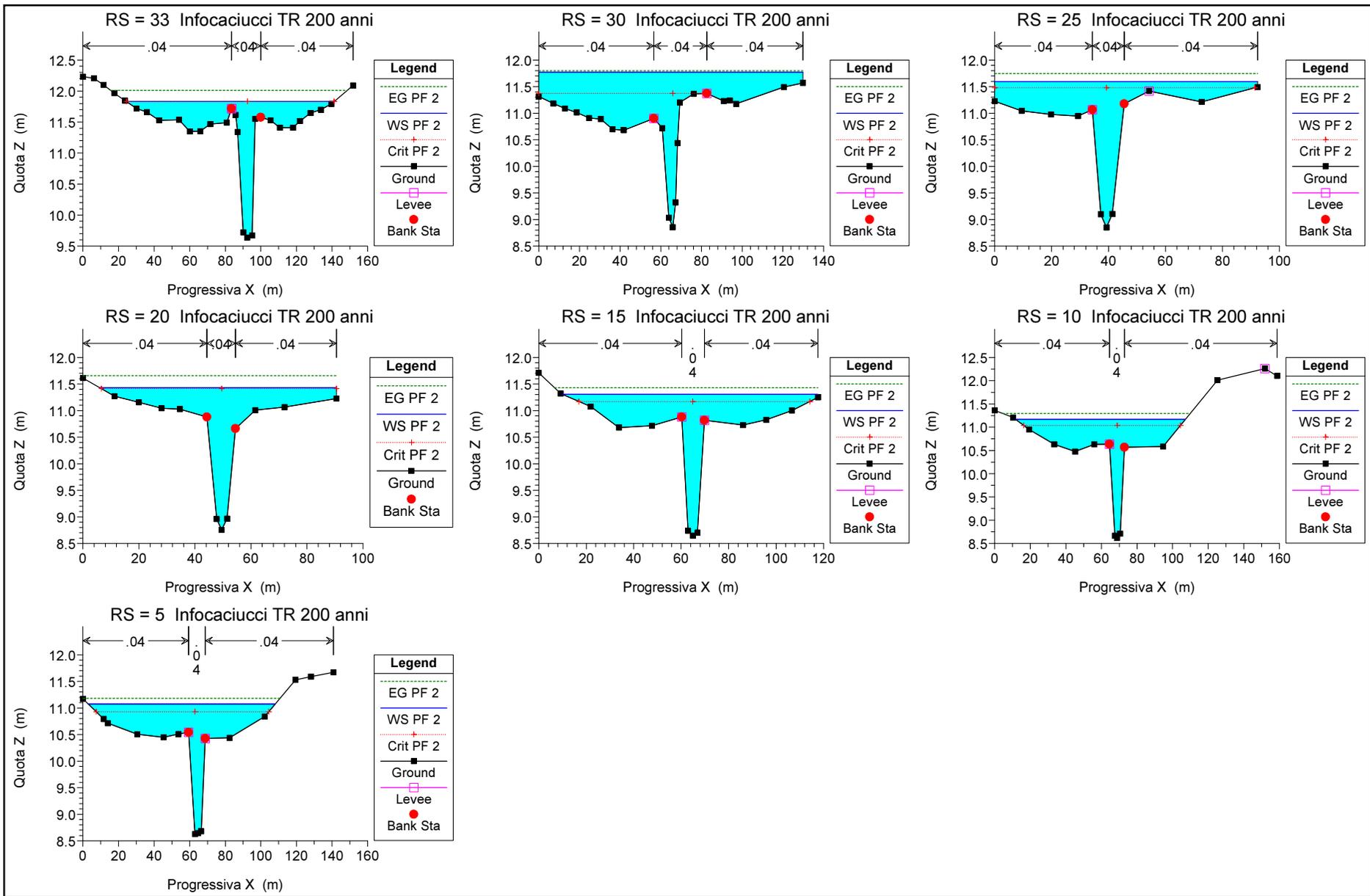


ALLEGATO 2

SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI

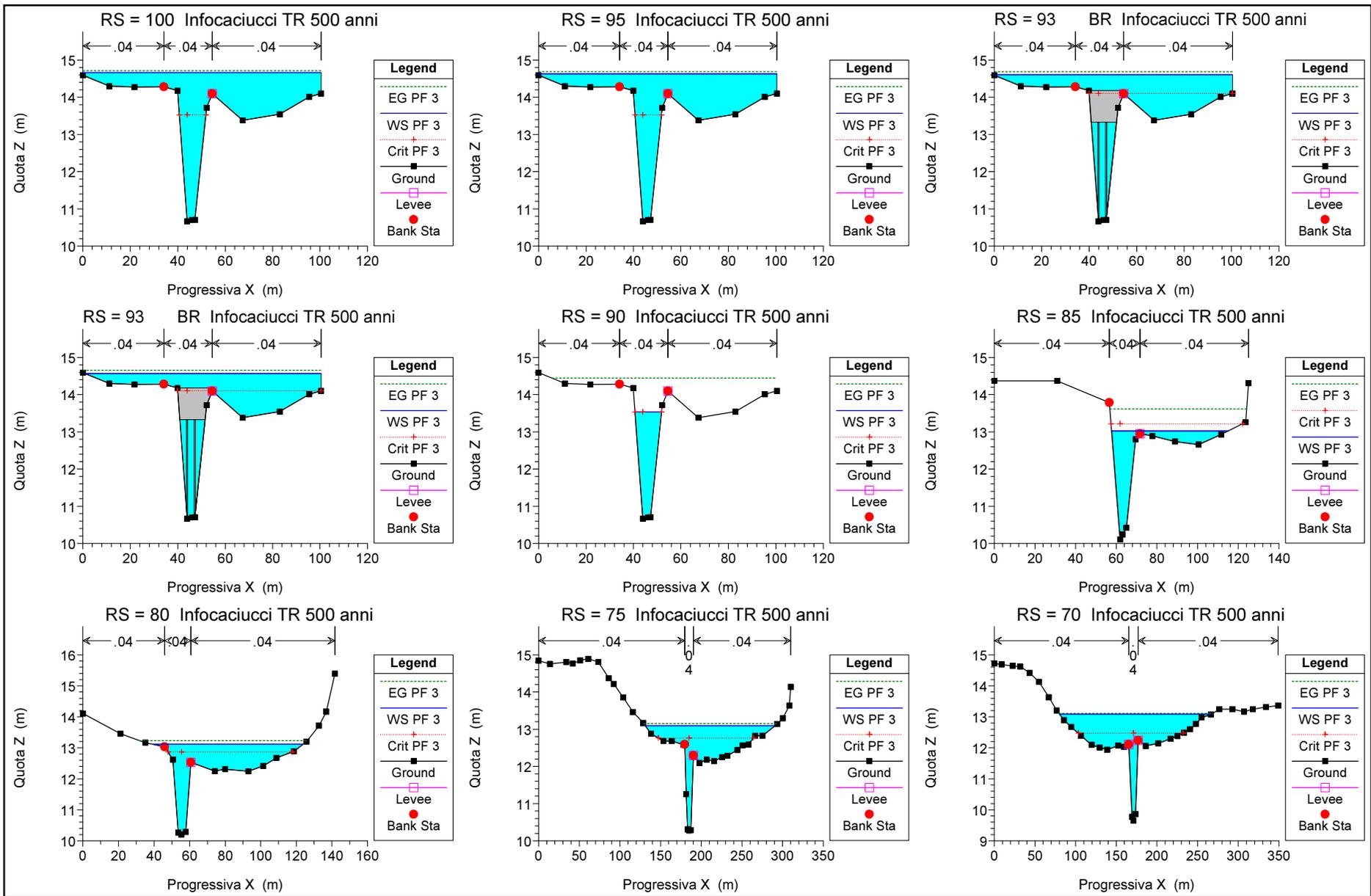


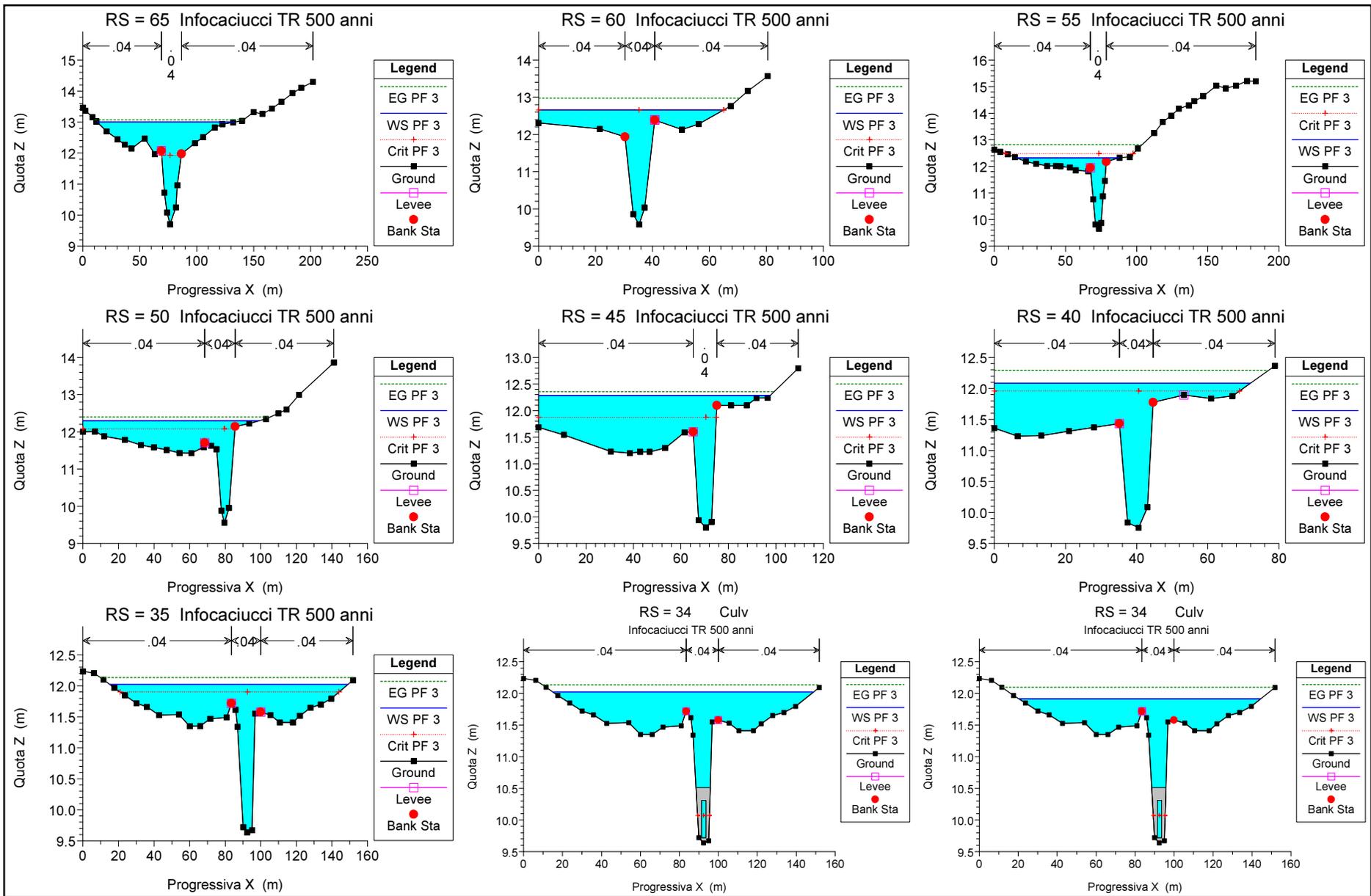


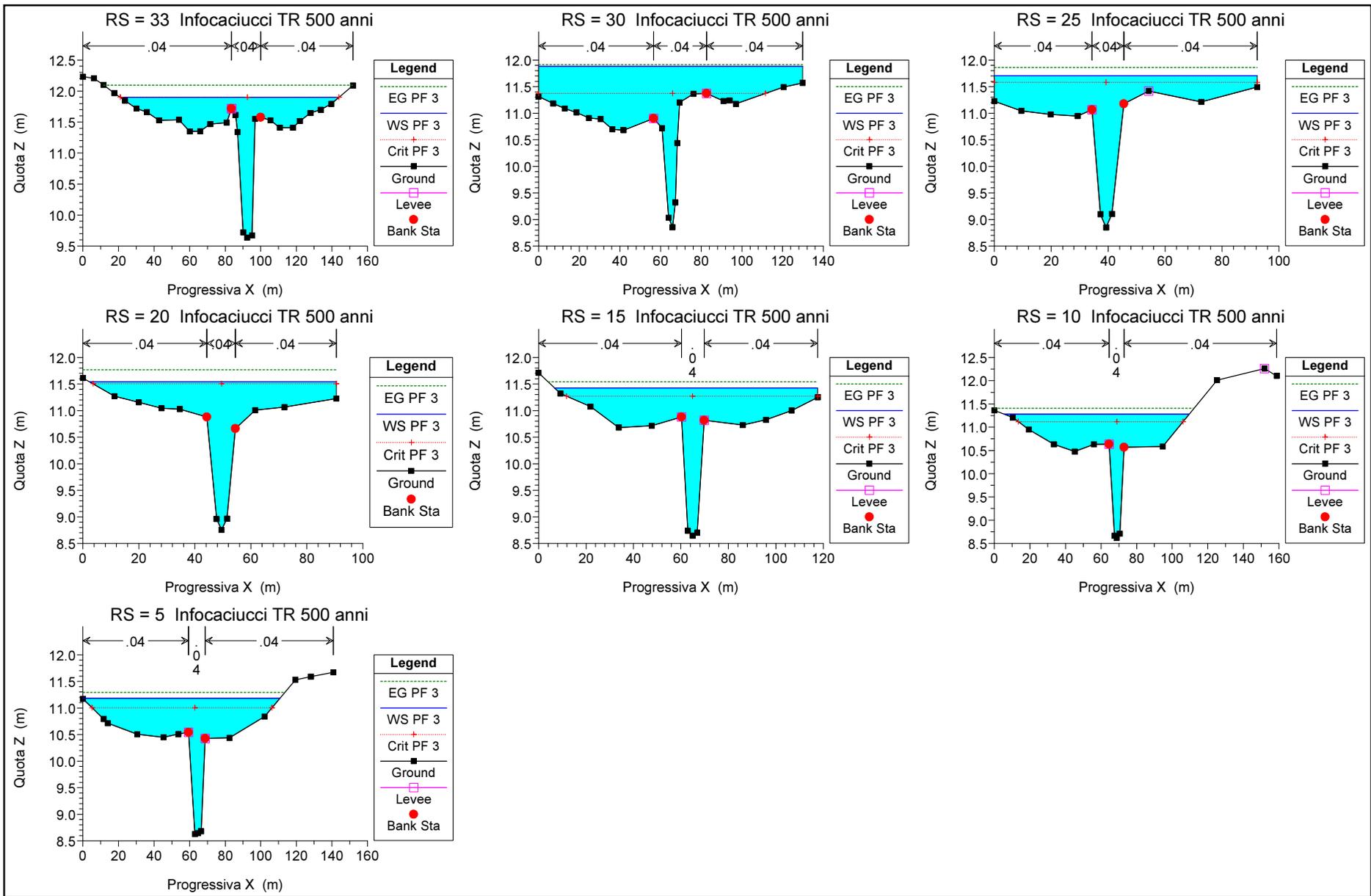


ALLEGATO 3

SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE CON TEMPO DI RITORNO 500 ANNI

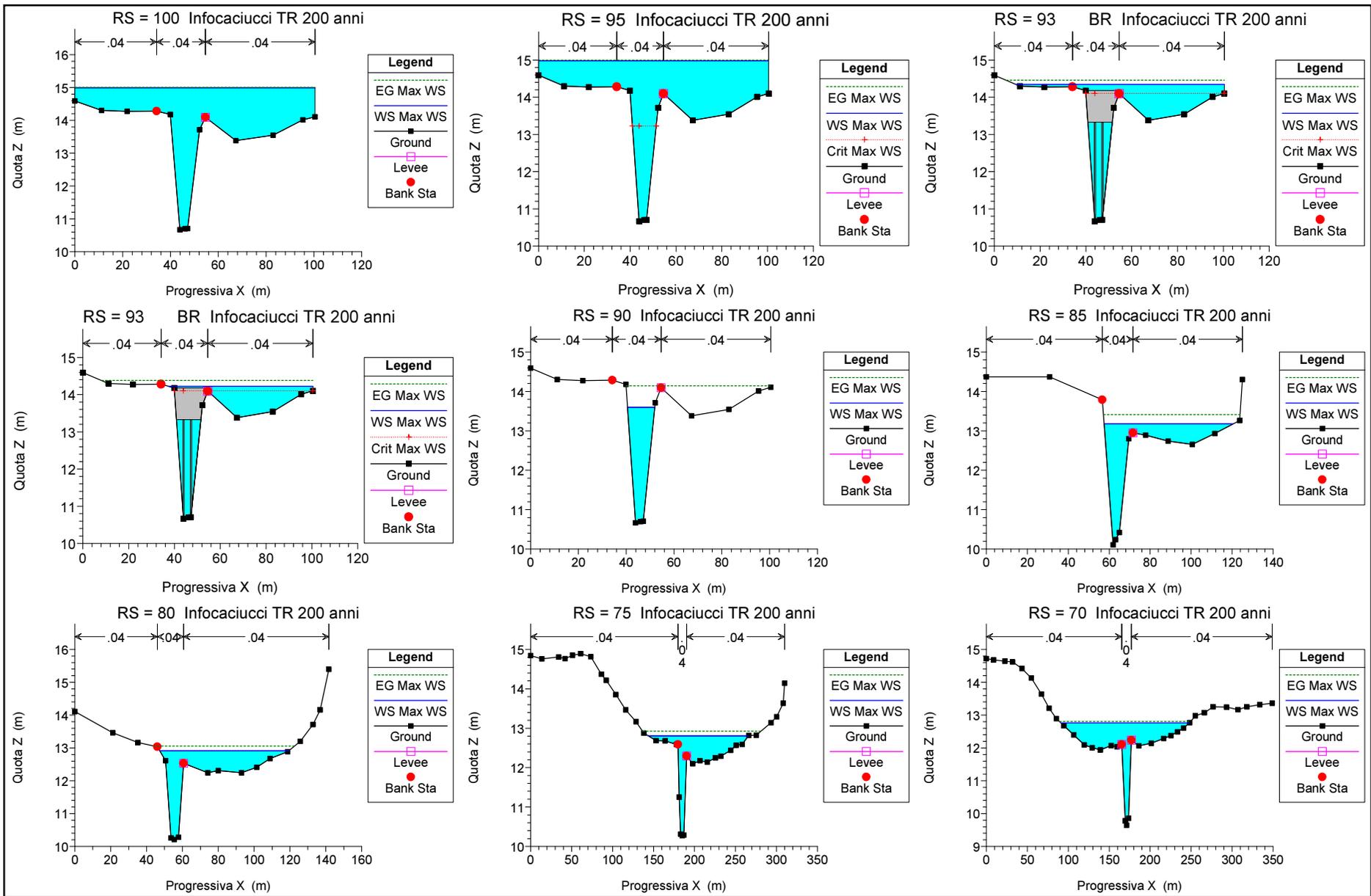


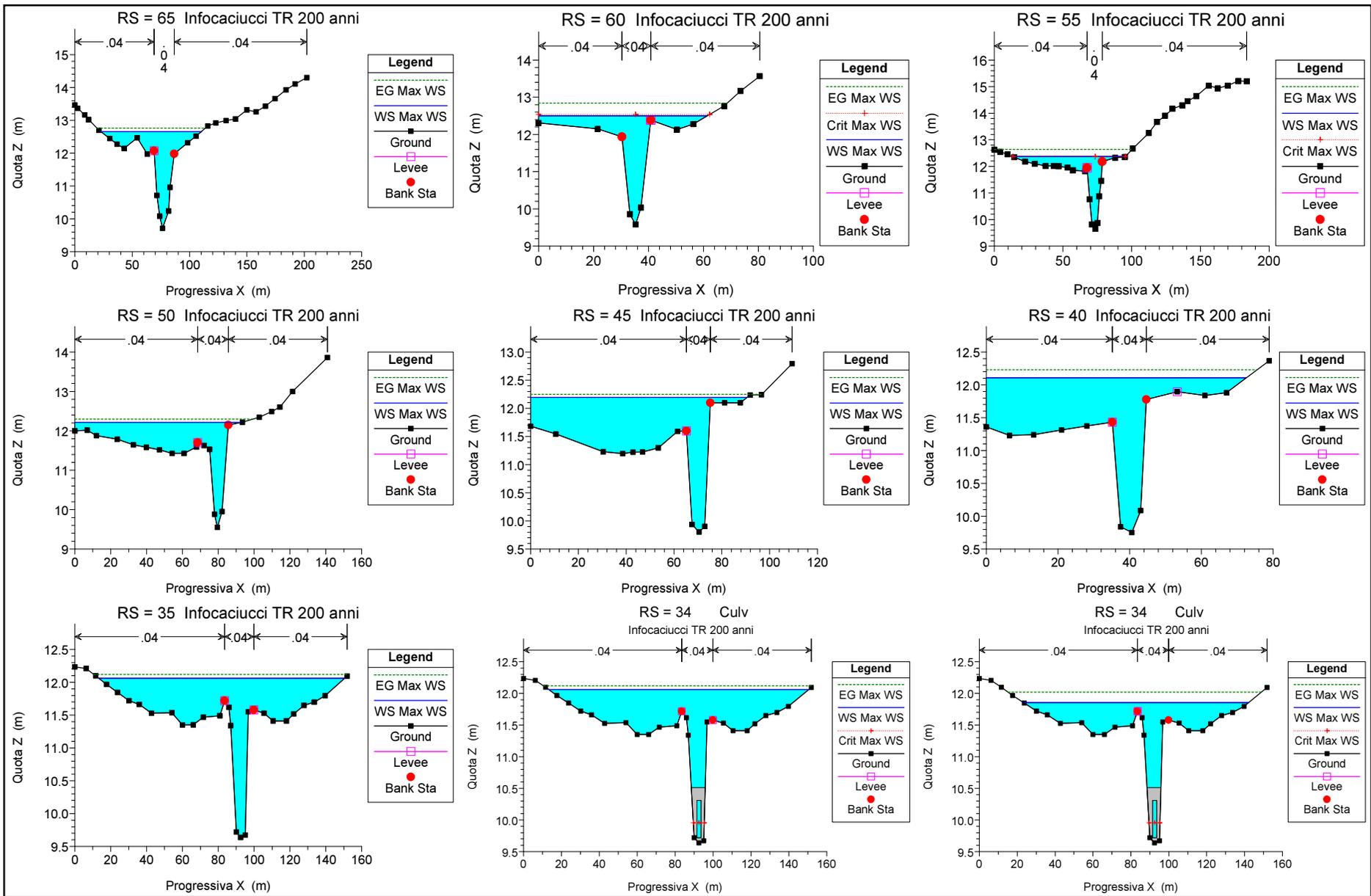


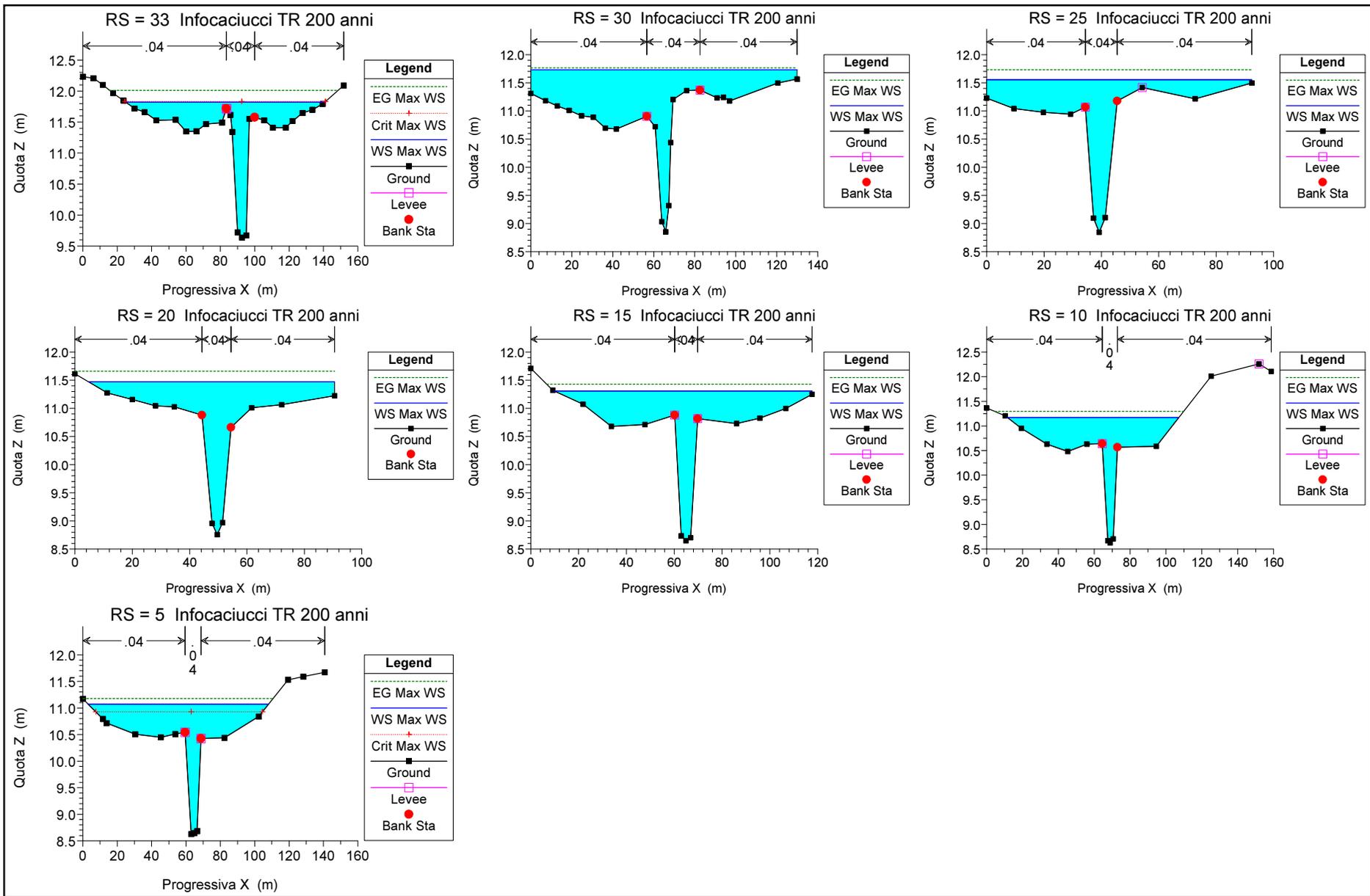


ALLEGATO 4

SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO VARIO CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI

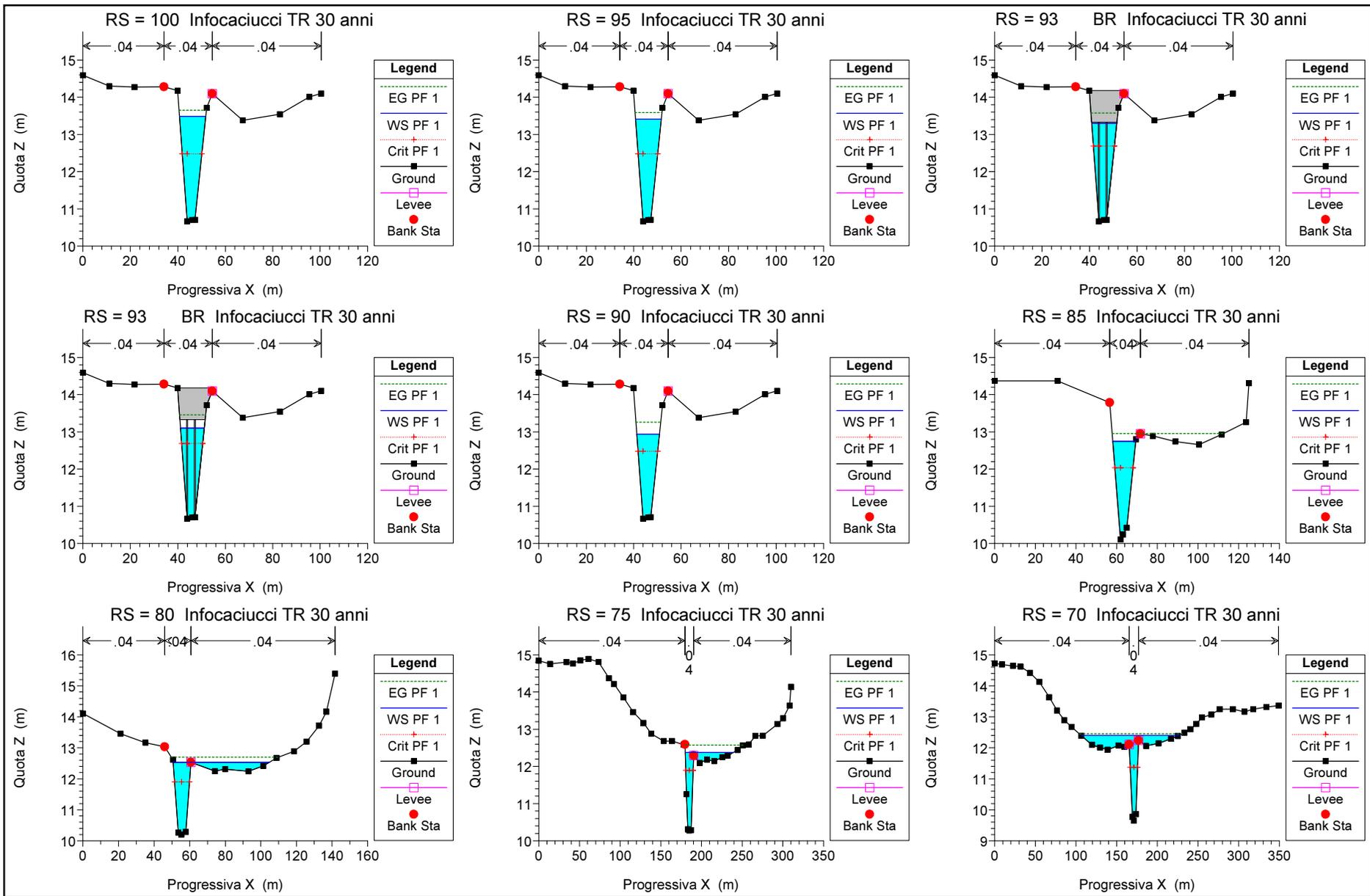


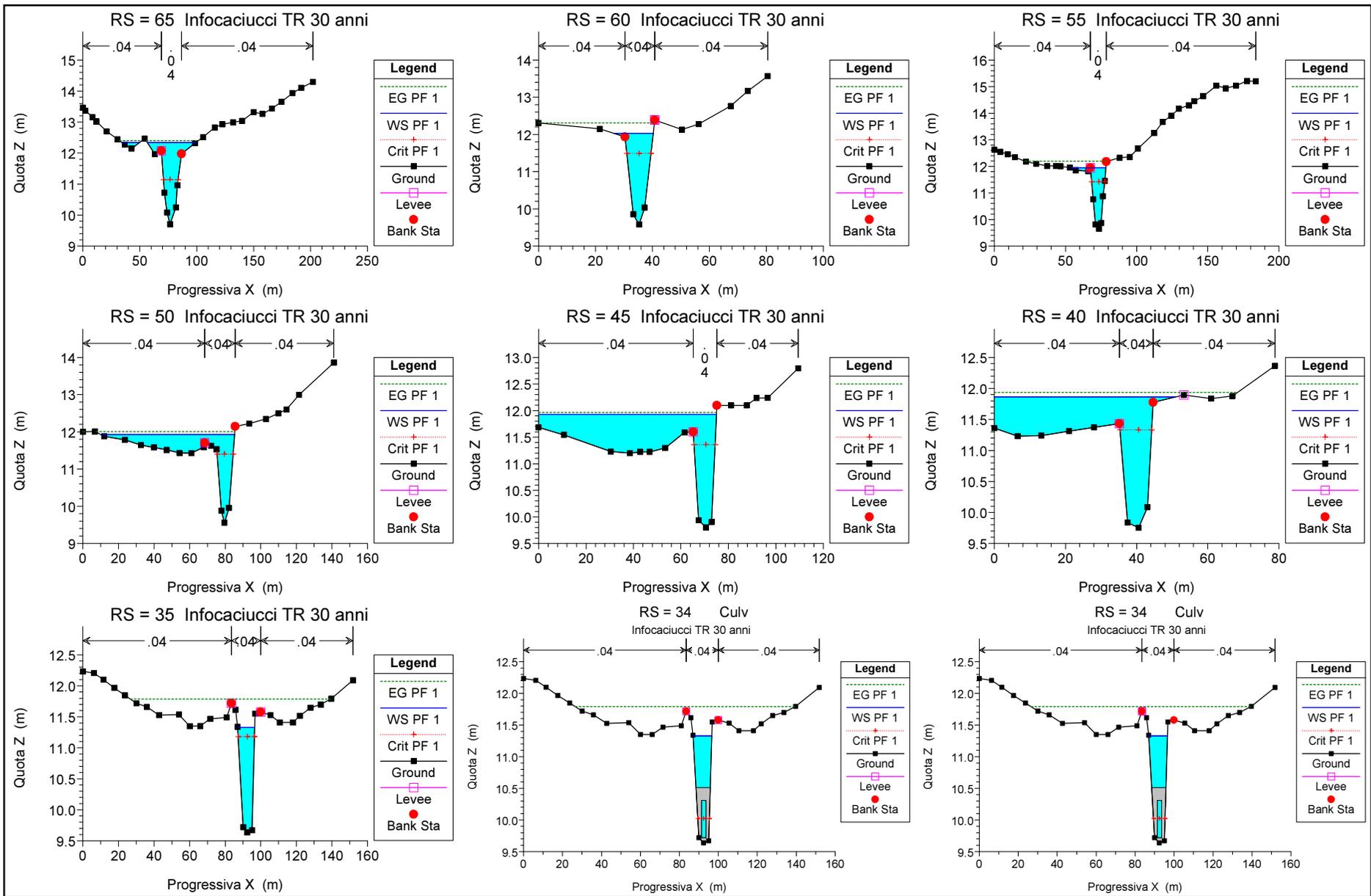


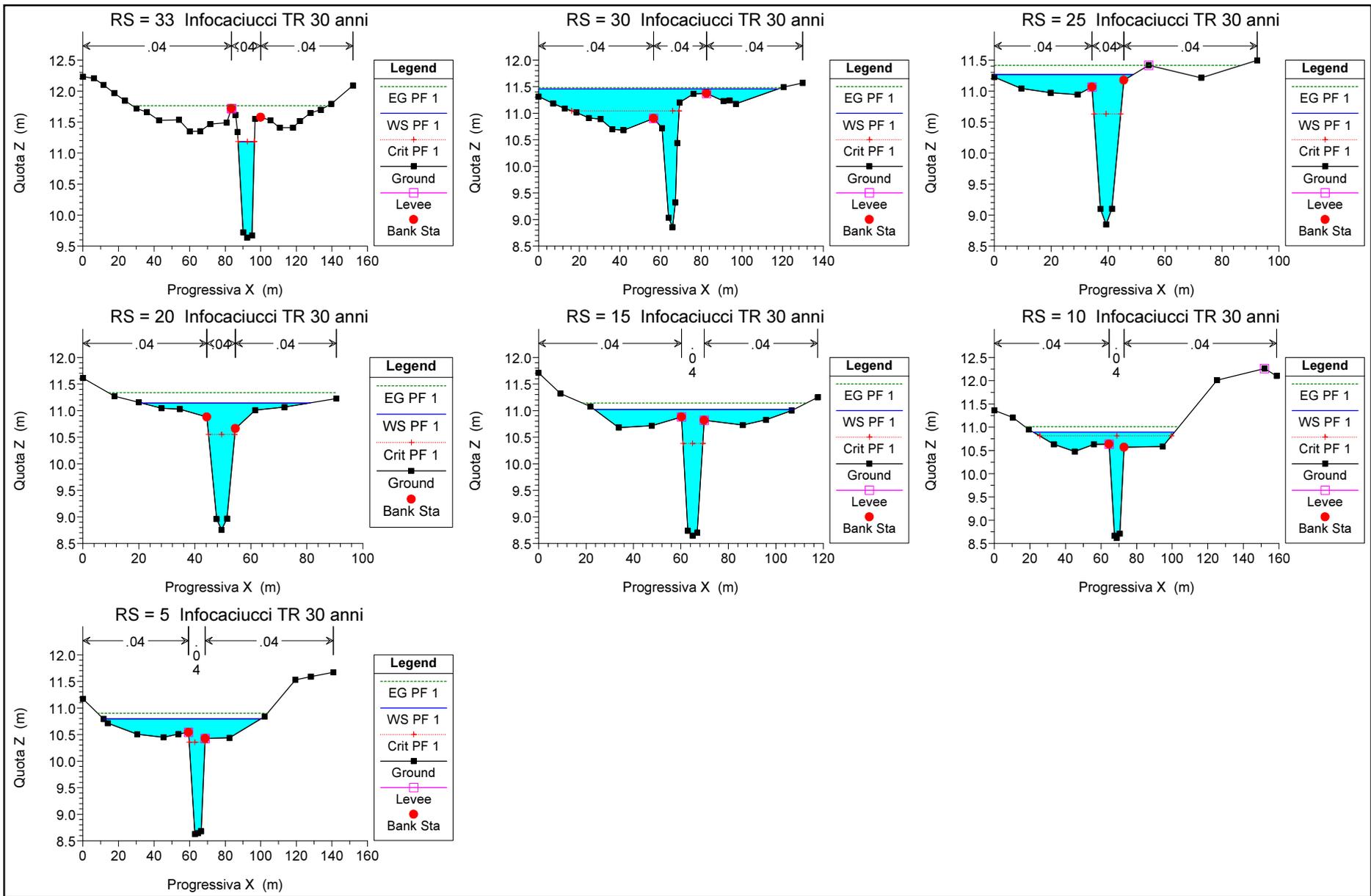


ALLEGATO 1

SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE CON TEMPO DI RITORNO 30 ANNI

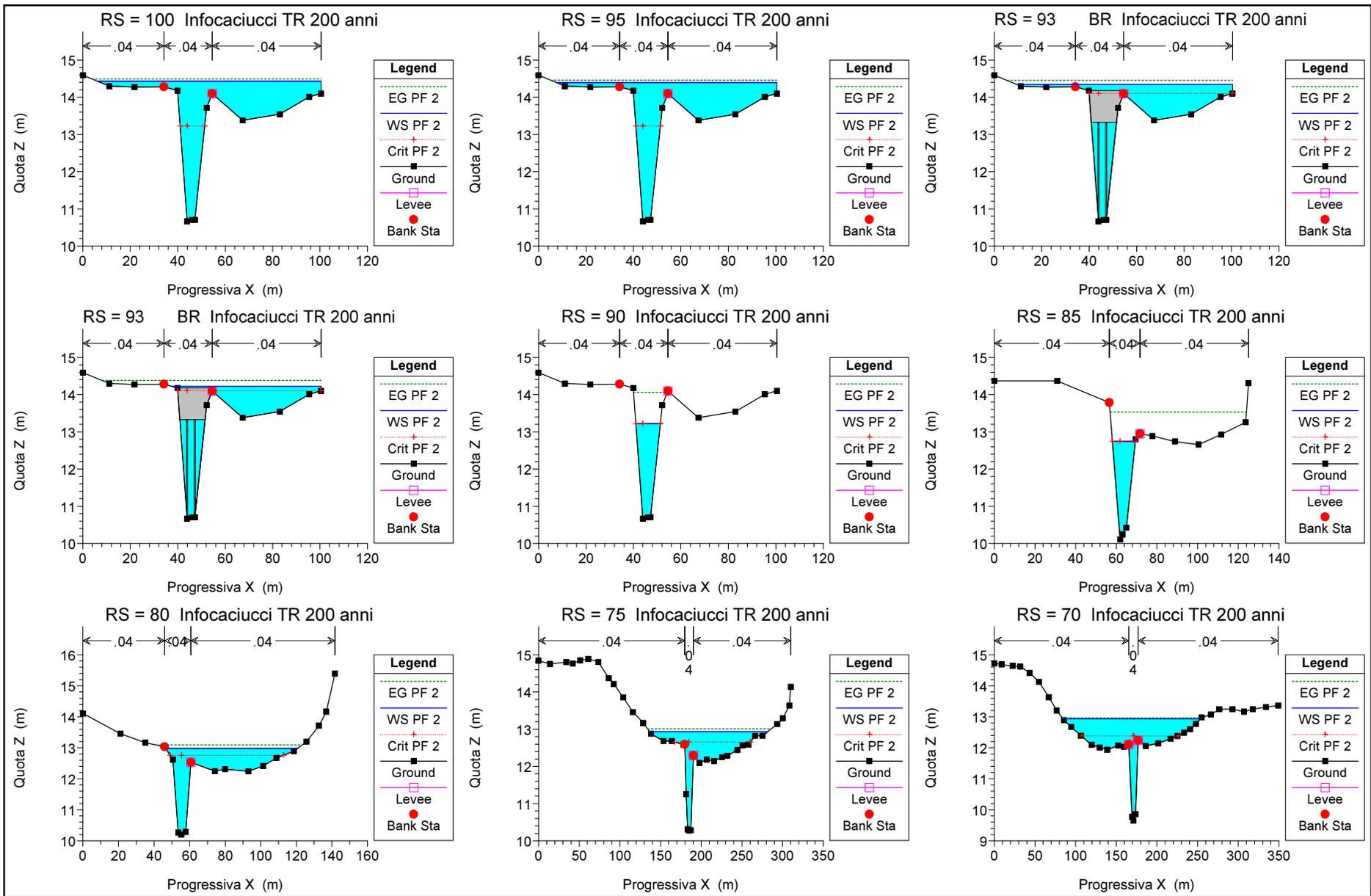


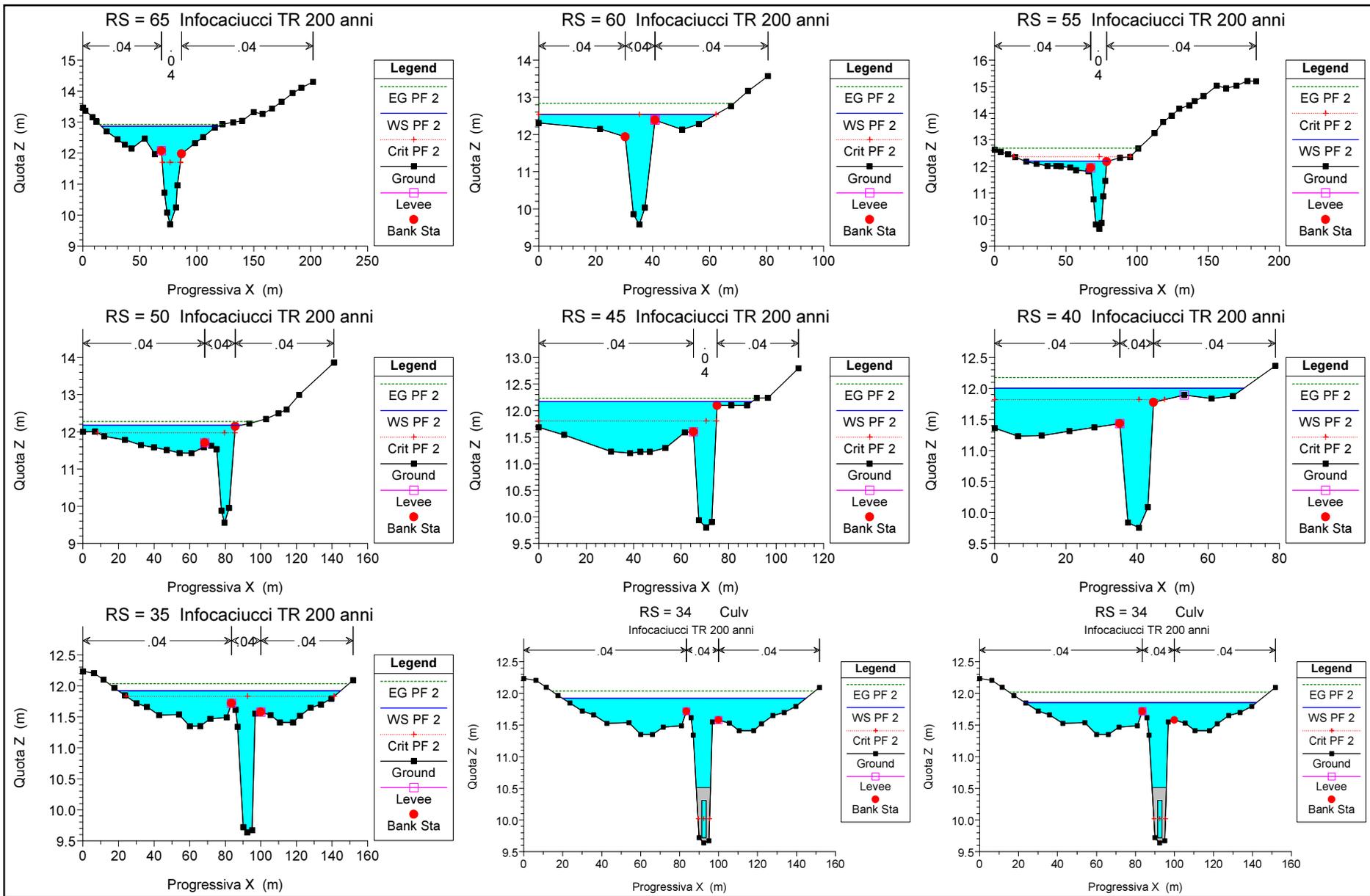


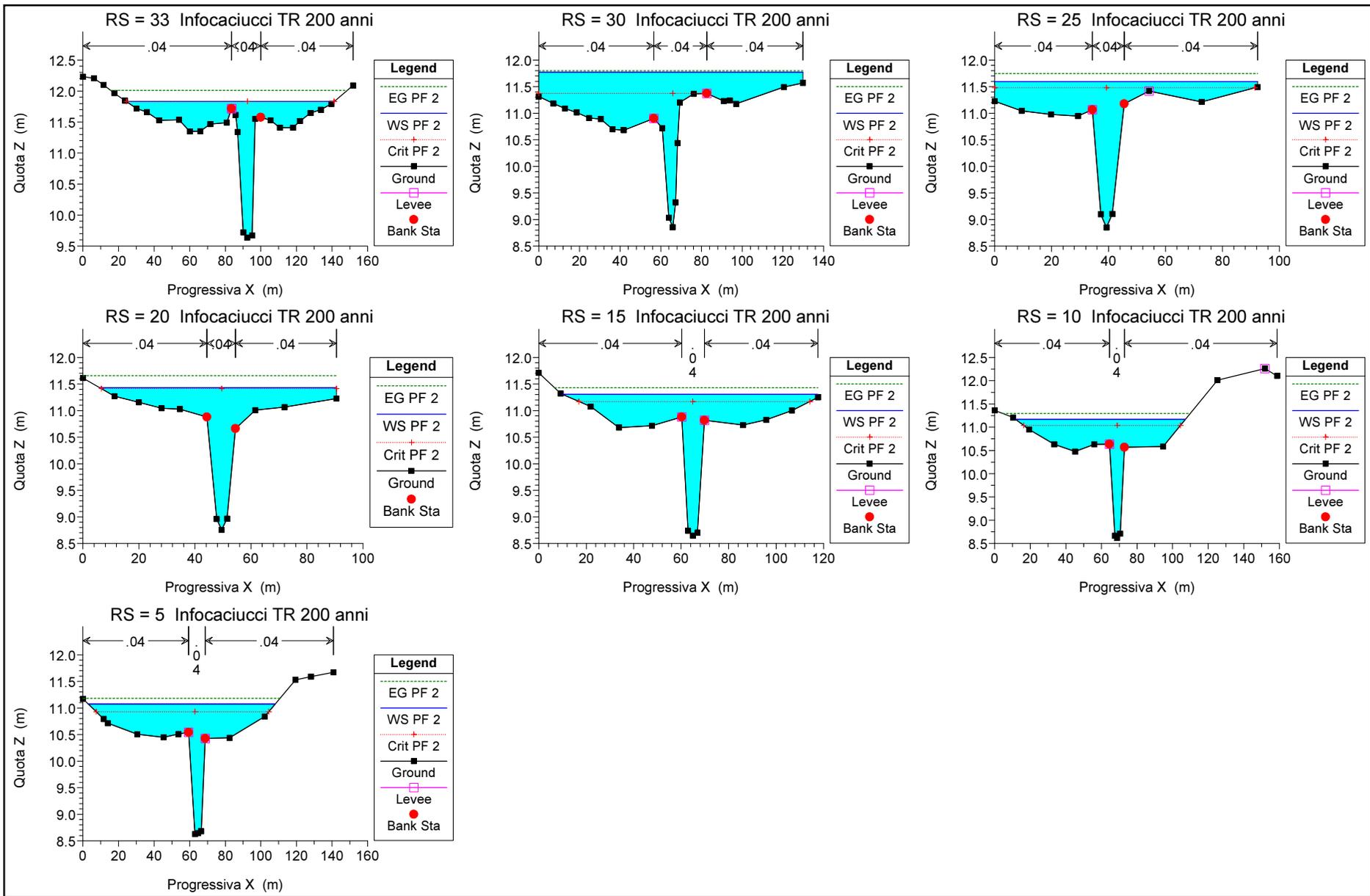


ALLEGATO 2

SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI

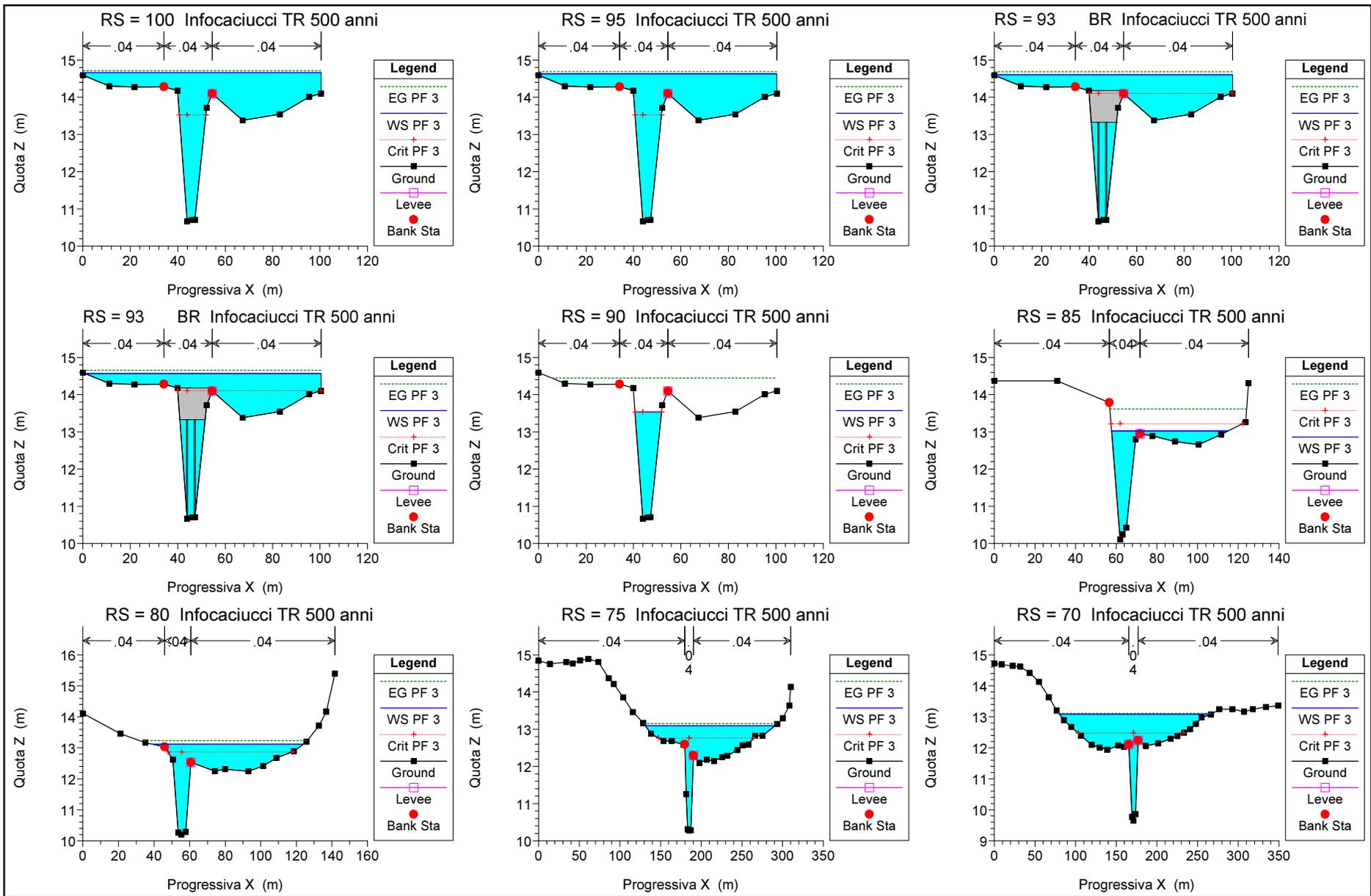


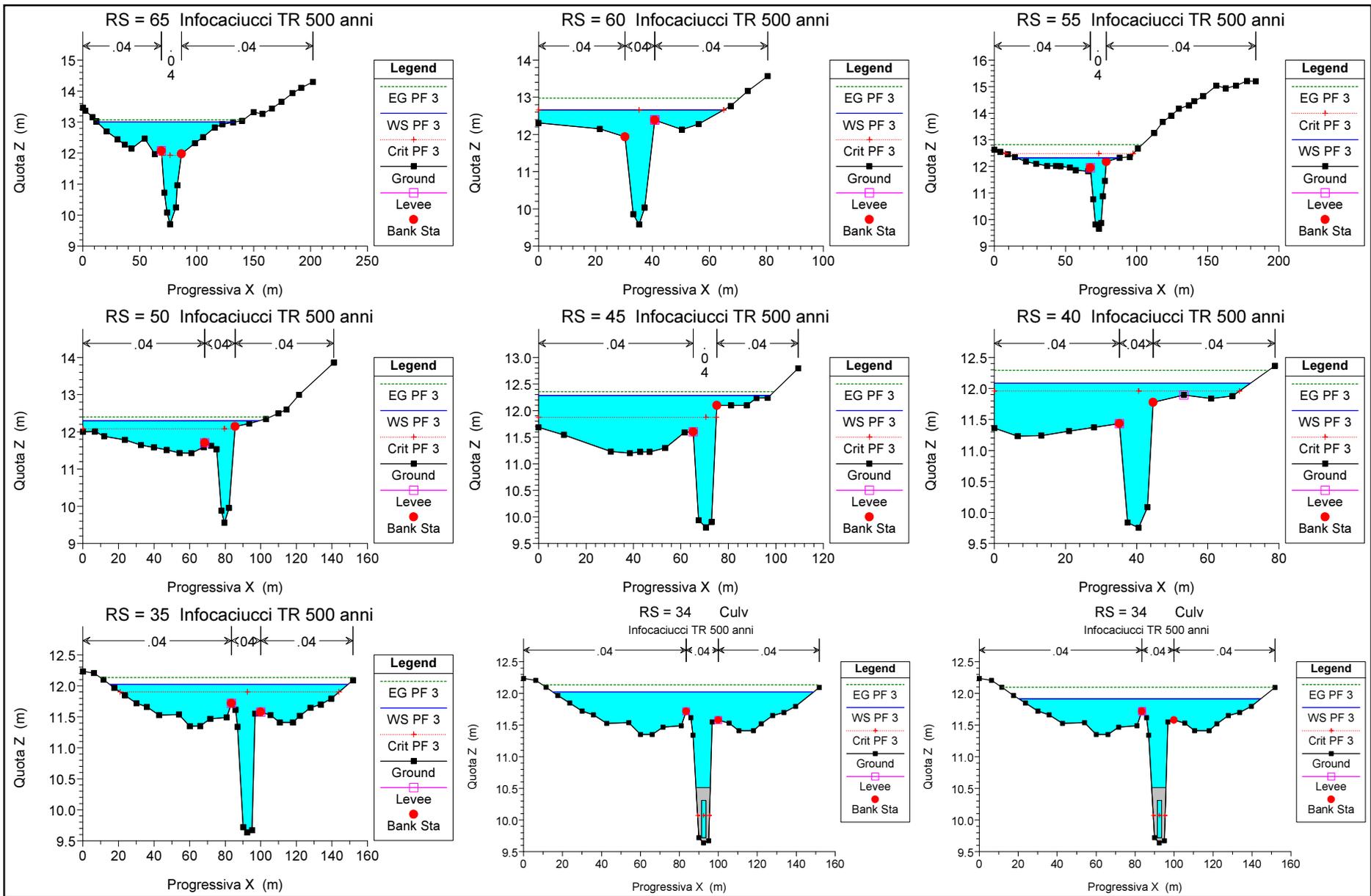


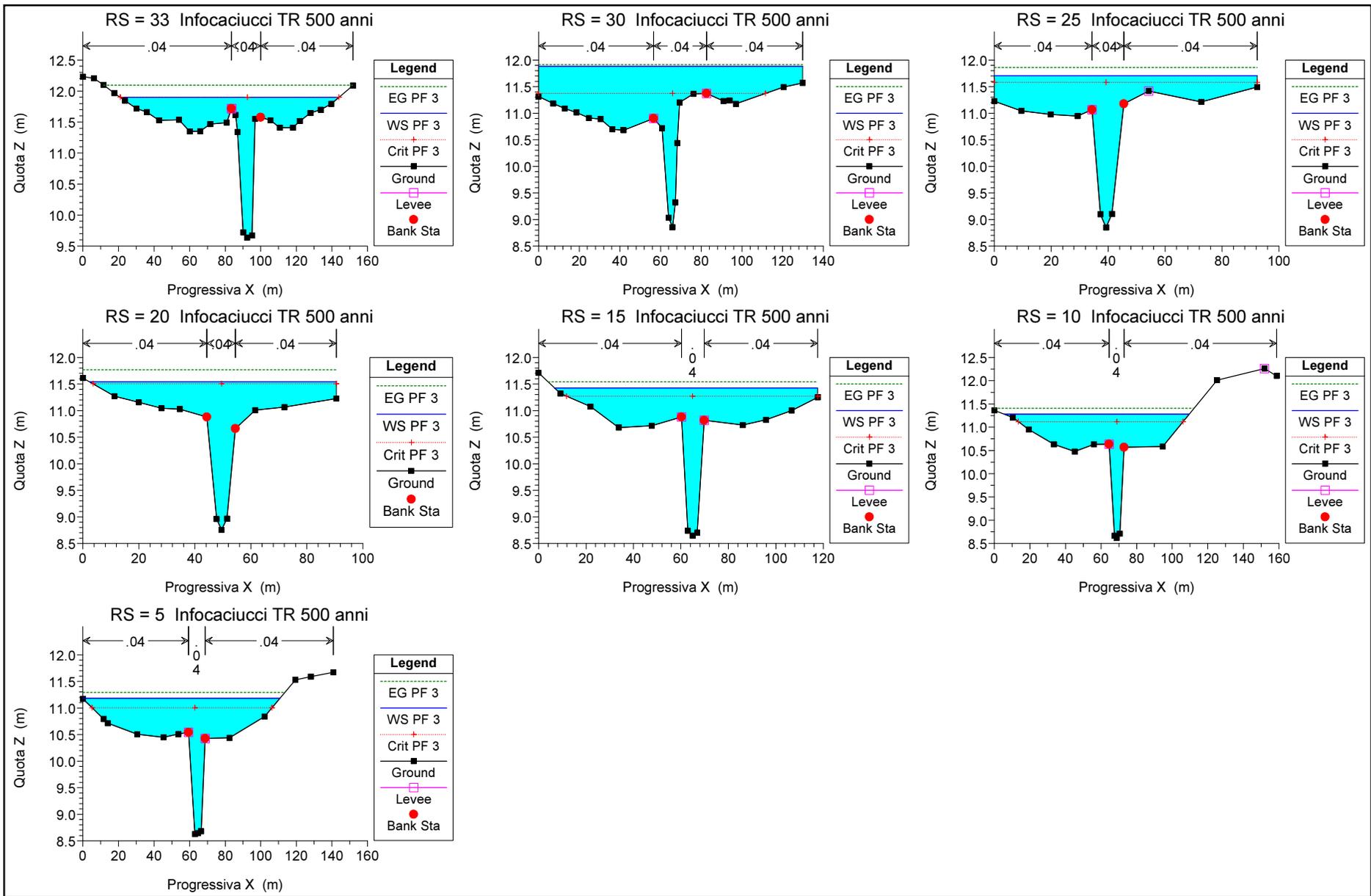


ALLEGATO 3

SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO PERMANENTE CON TEMPO DI RITORNO 500 ANNI







ALLEGATO 4

SEZIONI RELATIVE ALLA SIMULAZIONE IN MOTO VARIO CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI

