

CUP: E97B15000170005 PIANO DEGLI INTERVENTI  
DELL'ACQUEDOTTO PUGLIESE S.p.A.  
2016 - 2019

**PROGETTO DEFINITIVO**  
ACQUEDOTTO DEL FORTORE, LOCONO ED OFANTO - OPERE DI  
INTERCONNESSIONE - II LOTTO: CONDOTTA DALL'OPERA DI  
DISCONNESSIONE DI CANOSA AL SERBATOIO DI FOGGIA

Il Responsabile del Procedimento  
*ing. Massimo Pellegrini*

**PROGETTAZIONE**

Progettisti

*ing. Rosario ESPOSITO (Responsabile del progetto)*

*ing. Tommaso DI LERMA*

*ing. Michelangelo GUASTAMACCHIA*

*ing. M. Alessandro SALIOLA*

*geom. Giuseppe VALENTINO*

*ing. Roberto LAVOPA*

Collaborazione alla progettazione

*geom. Pietro SIMONE*

Il Responsabile Ingegneria di Progettazione

*ing. Massimo PELLEGRINI*



acquedotto pugliese  
l'acqua, bene comune

Direzione Ingegneria

Il Direttore

*ing. Andrea VOLPE*

Elaborato

**D.9**

**Studio di compatibilità  
idrologica ed idraulica**

Codice Intervento P1292

Codice SAP: 21/16650

Prot. N. 45215

Data 14/07/2020

Scala: -

N. Rev.	Data	Descrizione	Disegnato	Controllato	Approvato
00	OTT. 2020	Emesso per Progetto definitivo	-	-	-

## INDICE

1.	PREMESSA .....	2
2.	DESCRIZIONE INTERSEZIONI CONDOTTA DI PROGETTO CON IL RETICOLO IDROGRAFICO.....	4
3.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	7
3.1	PRINCIPALI OPERE PREVISTE.....	7
4.	STUDIO IDROLOGICO .....	9
4.1	Procedure regionali di valutazione della precipitazione.....	9
4.2	Terzo livello di regionalizzazione .....	11
4.3	Analisi idrologica.....	16
4.3.1	Metodo CN - SCS.....	16
4.3.1.1	<i>L'idrogramma di Mockus.....</i>	19
4.3.1.2	<i>Determinazione della portata al colmo di piena col metodo CN SCS .....</i>	21
4.3.2	Vapi.....	27
5.	ANALISI IDRAULICA – STATO DI FATTO .....	34
5.1	Teoria del modello idraulico HEC-RAS 2D .....	34
5.1.1	Teoria del modello idraulico.....	34
5.1.2	Applicazione modello idraulico.....	38
5.1.2.1	<i>Geometria dei modelli.....</i>	38
5.1.3	Risultati.....	71
6.	VERIFICA DELLE OPERE DI PROTEZIONE .....	103
6.1	Verifica in termini di tensione di trascinamento .....	103
6.2	STUDIO DEI PROCESSI EROSIVI nelle fasce esterne agli alvei fluviali.....	107
6.3	VERIFICA EROSIONE FONDO ALVEI CORSI D'ACQUA PRINCIPALI.....	115
6.3.1	Dati di input .....	115
7.	Conclusioni.....	122
8.	Allegati.....	124

## **1. PREMESSA**

L'Acquedotto Pugliese S.p.A. ha predisposto un progetto di fattibilità tecnica ed economica (ex progetto preliminare) relativamente alle opere di interconnessione dell'Acquedotto del LOCONE II LOTTO.

L'intervento consiste nella realizzazione di un'adduttrice in acciaio della lunghezza di oltre 61 km, dall'opera di disconnessione di Canosa al serbatoio di Foggia. Il tracciato della condotta sopra descritto interseca in molteplici punti il reticolo idrografico in sezioni di corsi d'acqua ad importanza variabile in termini di superficie scolante. A tal riguardo, a parte quattro casi ove saranno realizzati attraversamenti NO-DIG, si prevede l'alloggiamento delle condotte mediante scavo in trincea con relativo rivestimento.

Con nota prot. n°0005395 del 15/05/2018 l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Puglia (ex Autorità di Bacino Puglia), in fase di valutazione preliminare dell'intervento in oggetto, ha rilevato che le opere previste risultano comprese tra quelle consentite dalle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del vigente Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Puglia. Tuttavia, nella fase di redazione del progetto definitivo rispetto al quale verrà formulato il parere definitivo vincolante da parte dell'Autorità in parola, si dovrà tenere conto delle perimetrazioni che all'epoca erano in corso di approvazione ed oggi vigenti (adottate in sede CIP con delibera n.6/2017).

Nel rilasciare parere preliminare positivo in merito agli interventi proposti, l'Autorità ha prescritto che il successivo progetto definitivo venga redatto ottemperando alle seguenti prescrizioni:

- *Dovrà essere prodotto uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che verifichi le condizioni di sicurezza idraulica dei manufatti a farsi N.T.A. del P.A.I., ovvero per le sezioni in cui la condotta interseca il reticolo idrografico dovrà essere valutata l'erosione del fondo alveo per portate relative ad eventi di piena con tempo di ritorno di 200 anni, al fine di stabilire la quota ottimale di posa della condotta. Lo studio dovrà altresì individuare l'impronta al suolo della piena bicentennale;*
- *Con riferimento alle succitate intersezioni della condotta con il reticolo idrografico, le opere previste non dovranno in alcun caso creare alcuna modifica della sezione di deflusso. A tal fine si necessita che, nel caso di attraversamenti di impluvi in sub-alvea tramite trincea, si dovrà provvedere al ripristino delle condizioni ante operam degli alvei, assicurando eventualmente a*

*mezzo di idoneo rivestimento, per un tratto sufficientemente esteso dell'asta interessata, la protezione da fenomeni erosivi indotti anche dalla modifica delle caratteristiche geomeccaniche dell'area di intervento.*

- *Si dovranno produrre elaborati grafici in idonea scala che evidenzino il tracciato delle opere rispetto al reticolo idrografico ponendo attenzione a specificare le caratteristiche progettuali costruttive e modalità di esecuzione per ogni singola intersezione; in particolare dovranno essere rappresentate in modo dettagliato le sezioni di attraversamento riproducendo la reale geometria del corso d'acqua nella specifica sezione, le formazioni geologiche attraversate, la quota di posa della condotta rispetto al fondo alveo, eventuali protezioni antierosive da realizzare in alveo e protezioni delle condotte dai deflussi in sub-alveo.*
- *In corrispondenza degli attraversamenti dei corsi d'acqua i pozzetti di spinta e arrivo che saranno realizzati per la posa in opera della condotta con la tecnica no-dig dovranno essere posizionati all'esterno delle sezioni di deflusso.*

Conformemente a quanto richiesto da AdB, sulla base del rilievo topografico e delle indagini geologiche, è stato condotto uno studio idrologico e idraulico bidimensionale per analizzare gli effetti di un possibile trascinamento del materiale costituente il fondo degli alvei, a seguito del ripristino delle sezioni di scavo.

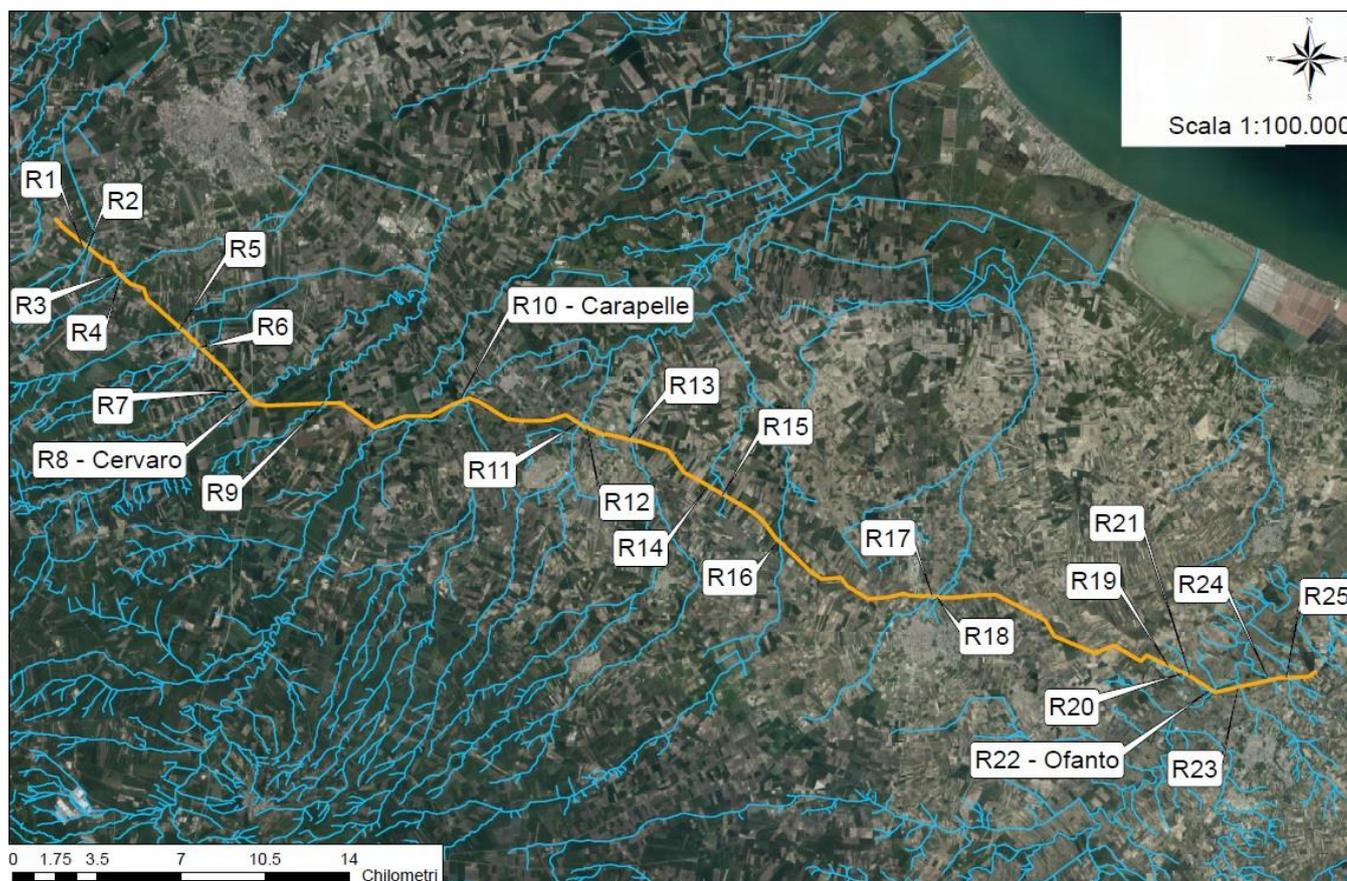
## **2. DESCRIZIONE INTERSEZIONI CONDOTTA DI PROGETTO CON IL RETICOLO IDROGRAFICO**

I lavori per la realizzazione dell'interconnessione II lotto dell'Acquedotto del Locone interessano una vasta area della Puglia settentrionale.

L'intervento si estende dalla vasca di disconnessione di Canosa, ubicata a quota di circa 135 m s.l.m., facente parte dello schema Locone a gravità, e termina nella vasca di arrivo dell'Acquedotto del Fortore (125,26 m s.l.m) realizzata all'interno dell'esistente nuovo serbatoio di Foggia posto a quota 124,50 m s.l.m. circa.

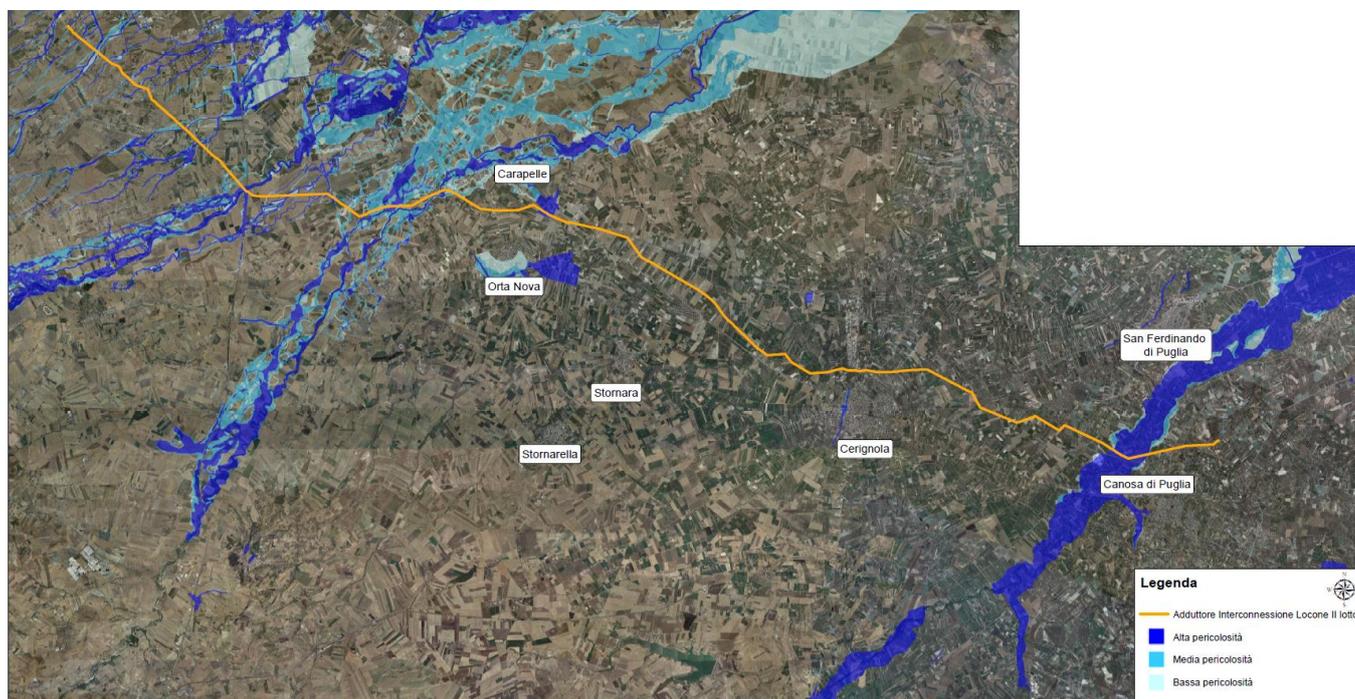
La condotta interseca in diversi punti il reticolo idrografico ed aree perimetrate dal P.A.I. a pericolosità idraulica, interessando corsi d'acqua principali, canali di bonifica e lame naturali. Per quanto attiene i corsi d'acqua principali, il tracciato del vettore interseca Il Fiume Ofanto, il Torrente Carapelle ed il Torrente Cervaro, mentre per quanto attiene i corsi d'acqua minori, il tracciato della condotta interseca il reticolo in ulteriori n.22 punti. Oltre alle intersezioni con il reticolo idrografico, il tracciato della condotta interseca anche aree perimetrate ad alta, media e bassa pericolosità idraulica non interessate dalla presenza di reticoli della carta idrogeomorfologica della Puglia. Nel prosieguo del presente studio pertanto le interferenze della condotta con i reticoli e con le aree perimetrate ad alta, media e bassa pericolosità idraulica sono state discretizzate in due categorie: "P" ed "R". Con la dicitura "P" vengono indicate le interferenze afferenti ad aree individuate dal PAI a "Pericolosità idraulica" ma non attraversate dal reticolo idrografico della carta idrogeomorfologica, mentre con la dicitura "R" vengono individuate le interferenze afferenti al reticolo idrografico della carta idrogeomorfologica della Puglia. Nel complesso sono stati studiati n.6 bacini "P" e n.25 bacini "R", di quest'ultimi n.3 sono afferenti al Torrente Cervaro (R8), al Torrente Carapelle (R10) e al Fiume Ofanto (R22). Oltre alle n.6 interferenze classificate con la dicitura P, sono state individuate ulteriori n.14 interferenze di categoria P individuate dalle nuove perimetrazioni dell'AdB la cui analisi è riportata degli elaborati grafici *E.05 - Planimetrie Aree inondabili*, e derivanti dalle impronte al suolo delle piene bicentennali dei predetti reticoli. Per tutti i reticoli ed aree perimetrate a pericolosità idraulica è stato condotto uno studio bidimensionale finalizzato a determinare le caratteristiche dell'onda di piena in termini di tiranti, velocità e ampiezza di propagazione dell'onda, in accordo con quanto richiesto nella nota preliminare del Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Meridionale n.5395 del 15/05/2018.

Di seguito si riporta uno stralcio di ortofoto con la sovrapposizione del tracciato della condotta a farsi e l'individuazione delle intersezioni con il reticolo idrografico individuato con la dicitura "R".



*Fig. 2/1: Interferenze della condotta con la carta idrogeomorfologica*

Di seguito si riporta uno stralcio di ortofoto con la sovrapposizione del tracciato della condotta a farsi e l'individuazione delle intersezioni con le aree ad Alta, Media e Bassa Pericolosità Idraulica.



**Fig. 2/2:** Interferenze della condotta con le aree ad Alta, Media e Bassa Pericolosità Idraulica

### **3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI**

Il presente intervento avrà origine dall'esistente vasca di disconnessione di Canosa, ubicata a quota di circa 135 m s.l.m., facente parte dello schema Locone a gravità, e terminerà nella vasca di arrivo dell'Acquedotto del Fortore (125,26 m s.l.m.) realizzata all'interno dell'esistente nuovo serbatoio di Foggia posto a quota 124,50 m s.l.m. circa.

La condotta in progetto del DN 900 in acciaio, subito a valle dell'area di pertinenza della vasca di Canosa, verrà posata in sede propria per quasi tutta la sua lunghezza, ad esclusione del tratto ricadente all'interno del perimetro del nodo idrico di Foggia. Lungo il suo percorso la condotta interesserà i territori dei comuni di Canosa di Puglia, San Ferdinando di Puglia, Cerignola, Orta Nova, Carapelle, Troia e Foggia e avrà una lunghezza complessiva di circa km 61.

Nel suo funzionamento diretto, verso Canosa - Foggia, la condotta potrà derivare una portata di circa 200 l/s, con una punta massima di circa 220 l/s, dagli schemi di competenza della Puglia Centrale verso la Capitanata.

Prima dell'arrivo nel serbatoio di Foggia, nel piazzale antistante il manufatto, la suddetta condotta s'innesterà con quella di collegamento con lo schema Fortore, facente parte anch'essa del presente intervento.

La condotta di collegamento del DN 900 e lunghezza di 271,96 m, avrà origine dal passo d'uomo posto subito a monte del Torrino 3.

Tutte le opere relative al collegamento con l'Acquedotto del Fortore ricadranno all'interno delle aree di pertinenza del nodo idrico di Foggia.

Il suddetto collegamento, consentirà il funzionamento inverso, in direzione Foggia - Canosa, della condotta di progetto permettendo di derivare una portata minima di 200 l/s (valore che consentirebbe almeno una velocità di circa 31 cm/s in condotta) dallo schema Fortore verso al Puglia Centrale, con un valore massimo derivabile di circa 220 l/s.

#### **3.1 PRINCIPALI OPERE PREVISTE**

Nel presente intervento sono previste le seguenti opere principali:

- Realizzazione di una condotta in acciaio del DN 900 con origine dalla disconnessione idraulica di Canosa e termine nel nuovo Serbatoio di Foggia per una lunghezza pari a circa 61 km.
- Costruzione all'interno dell'area di competenza dell'opera di disconnessione di Canosa del pozzetto di alloggiamento delle apparecchiature idrauliche di intercettazione e di regolazione da valle, nel caso di funzionamento inverso (Foggia-Canosa);
- Costruzione nelle vicinanze dell'opera di disconnessione di Canosa del pozzetto di misura della portata.
- Realizzazione, all'interno dell'area di pertinenza del nodo idrico di Foggia, del collegamento idraulico del DN 900 (in acciaio) tra la suddetta condotta e la 2<sup>a</sup> canna del Fortore in prossimità del Torrino 3 per una lunghezza pari a 271,96 m per garantire il funzionamento inverso.
- Costruzione, all'interno dell'area di competenza del nodo idrico di Foggia di n. 3 manufatti per l'innesto del collegamento con l'acquedotto del Fortore, per l'alloggiamento delle apparecchiature idrauliche, per consentire la regolazione della portata da valle (nel caso di funzionamento Canosa - Foggia) e per consentire il passaggio dal funzionamento diretto a quello inverso, nonché per l'installazione del misuratore di portata.
- Realizzazione di una stazione di clorazione intermedia e di due casotti di prelievo posti a monte e a valle del suddetto manufatto.
- Realizzazione dell'impianto di protezione catodica a corrente impressa.
- Realizzazione del sistema di telecontrollo di tutte le nuove camere di manovra a realizzarsi.
- Realizzazione di n. 37 pozzetti di scarico e n. 38 pozzetti di sfiato (di cui n. 2 anche di sezionamento) per il regolare funzionamento della nuova adduttrice DN 900.
- Esecuzione dei seguenti attraversamenti con tecnologia *no-dig*:
  - n. 1 attraversamento autostradale (A14);
  - n. 3 attraversamenti ferroviari;
  - n. 4 attraversamenti di corsi d'acqua e lame;
  - n. 4 attraversamenti di strade statali;
  - n. 15 attraversamenti di strade provinciali.

## 4. STUDIO IDROLOGICO

### 4.1 *PROCEDURE REGIONALI DI VALUTAZIONE DELLA PRECIPITAZIONE.*

Nelle applicazioni idrologiche, si presenta spesso la necessità di stimare valori di una determinata grandezza, per esempio la precipitazione, in siti privi di stazioni di misura, oppure con dati misurati che si giudicano insufficienti per numero e qualità.

A ciò rispondono le procedure regionali, sia quelle classiche, sia quelle proposte con i più recenti studi inerenti l'elaborazione statistica di dati spaziali.

Questi ultimi tendono a definire modelli matematici finalizzati ad una interpretazione delle modalità con cui variano nello spazio le diverse grandezze idrologiche.

L'analisi regionale degli estremi idrologici massimi, può essere condotta suddividendo l'area di studio in zone geografiche omogenee nei confronti dei parametri statistici che si è deciso di adottare.

Il modello statistico utilizzato fa riferimento alla distribuzione TCEV (Rossi et al. 1984) con regionalizzazione di tipo gerarchico (Fiorentino et al. 1987). In questa distribuzione i parametri fondamentali sono:  $\Theta_1$ ,  $\Lambda_1$ ,  $\Theta_2$ ,  $\Lambda_2$ , che rappresentano il parametro di scala ed il numero medio di osservazioni della variabile casuale  $Y$  provenienti dalla componente ordinaria e dalla componente secondaria. Si ottiene:

$$\Theta^* = \Theta_2 / \Theta_1 \qquad \Lambda^* = \Lambda_2 / \Lambda_1^{1/\Theta^*}$$

La procedura di regionalizzazione comporta che al primo livello si ricerchino zone pluviometriche omogenee, entro le quali si possano considerare costanti i valori dei parametri  $\Theta^*$  e  $\Lambda^*$ . Tali parametri devono essere stimati da un elevato numero di dati; questo comporta l'assunzione di una regione omogenea molto ampia. Le sottozone omogenee, caratterizzate oltre che dalla conoscenza di  $\Theta^*$  e  $\Lambda^*$  anche dalla conoscenza di  $\Lambda_1$ , sono individuate nel secondo grado di regionalizzazione; anche in questo livello si ipotizza che l'area indagata costituisca una zona omogenea. Si considerano solo le serie più numerose, in quanto la stima dei parametri suddetti è condizionata dalla presenza di dati di pioggia straordinari che hanno probabilità molto bassa di verificarsi in un periodo molto breve.

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 e delle rispettive curve di possibilità climatica.

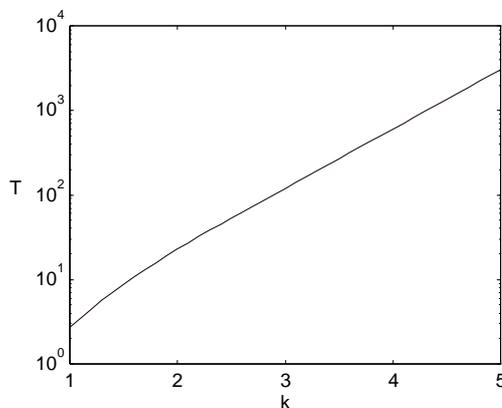
L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione è finalizzata alla determinazione delle curve regionali di crescita della grandezza in esame. In particolare per utilizzare al meglio le caratteristiche di omogeneità spaziale dei parametri della legge TCEV, è utile rappresentare la legge  $F(X_t)$  della distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata  $X_t$  come prodotto tra il suo valore medio  $\mu(X_t)$  ed una quantità  $K_{T,t}$ , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno  $T$  e della durata  $t$ , definito dal rapporto:

$$K_{t,T} = X_{t,T}/\mu(X_t)$$

La curva di distribuzione di probabilità del rapporto precedente corrisponde alla curva di crescita, che ha caratteristiche regionali in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i parametri della TCEV.

La dipendenza del fattore di crescita con la durata si può ritenere trascurabile, infatti, calcolando sulle stazioni disponibili le medie pesate dei coefficienti di asimmetria,  $C_a$ , e dei coefficienti di variazione,  $C_v$ , alle diverse durate, si osserva una variabilità inferiore a quella campionaria. L'indipendenza dalla durata di  $K_{t,T}$  (nel seguito indicato con  $K_T$ ), autorizza ad estendere anche alle piogge orarie, i risultati ottenuti con riferimento alle piogge giornaliere ai primi due livelli di regionalizzazione.

In base ai valori regionali dei parametri  $\Theta^*$ ,  $\Lambda^*$  e  $\Lambda_1$ , si ottiene la curva di crescita per la zona della Puglia centro – meridionale riportata in fig. 1.



**Fig. 4/2:** *fattore di crescita al variare del tempo di ritorno*

Il valore di  $K_T$  può essere calcolato in funzione di  $T$  attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita (Rossi e Villani, 1995):

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

in cui :

$$a = (\Theta_* \ln \Lambda_* + \ln \Lambda_1) / \eta ; b = \Theta_* / \eta$$

$$\eta = \ln \Lambda_1 + C - T_o$$

$$C = 0.5772, \text{ (costante di Eulero),}$$

$$T_o = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{(-1)^i \Lambda_*^i}{i!} \Gamma\left(\frac{i}{\theta_*}\right)$$

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri  $a$  e  $b$ , e i relativi valori  $\eta$  e  $T_o$ , che consentono di determinare le leggi di crescita relative all'area in esame:

Zona omogenea	a	b	$T_o$	$\eta$
Puglia centro-meridionale	0.1599	0.5166	-0.6631	4.1053

**Tab. 4/1:** Parametri dell'espressione asintotica

Va tuttavia osservato che l'uso di questa approssimazione comporta una sottostima del fattore di crescita, con valori superiori al 10% per  $T < 50$  anni e superiori al 5% per  $T < 100$  anni.

Per semplificare la valutazione del fattore di crescita, nella tabella 3 sono riportati i valori di  $K_T$  relativi ai valori del periodo di ritorno adottati nella determinazione delle aree soggette a rischio di inondazione.

anni	<b>30</b>	<b>200</b>	<b>500</b>
$K_T$	2	2.8	3.1

**Tab. 4/2:** Valori di  $K_T$  Puglia Settentrionale

#### 4.2 TERZO LIVELLO DI REGIONALIZZAZIONE

Nel terzo livello di analisi regionale viene analizzata la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali.

Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica, 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 relazione:

$$\mu(X_t) = a t^n$$

essendo  $a$  ed  $n$  due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di curva di probabilità pluviometrica.

La relazione che lega l'altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito viene generalizzata nella forma:

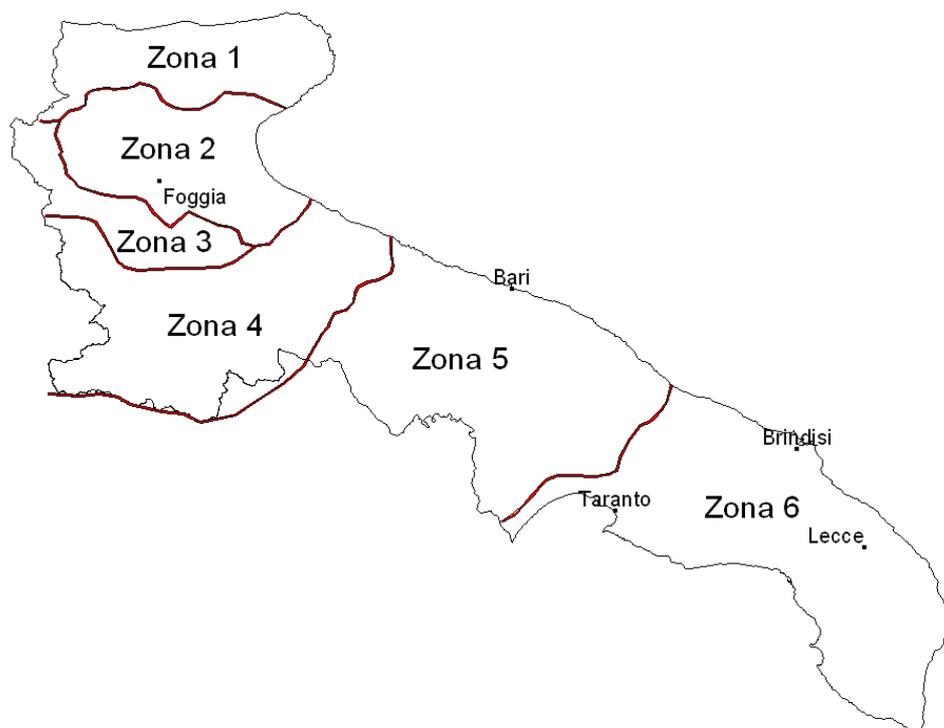
$$\mu(X_t) = a t^{(Ch+D+\log \alpha - \log a) / \log 24}$$

in cui  $\alpha$  è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di  $\mu(X_1)$  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. Per le zone di interesse i valori dei parametri sono riportati in tabella 4.

Zona	a	a	C	D	N
2	0.89	22.23	-	-	0.247
3	"	25.325	0.00531	3.811	-
4	"	24.7	-	-	0.256

**Tab. 1/3: Parametri delle curve di 3° livello**

Nella figura 4/2 si riporta la suddivisione della regione in aree omogenee.



*Fig. 4/3: Zone omogenee, 3° livello*

L'area in oggetto si inquadra, quindi, nell'ambito delle aree pluviometriche omogenee individuate nel territorio regionale, in zona 2, zona 3 e zona 4; pertanto, le equazioni da applicare sono le seguenti:

$$\text{Zona 2: } x(t, h) = 22.23t^{0.247}$$

$$\text{Zona 3: } x(t, h) = 25.325t^{\left(\frac{0.696+0.00531h}{3.178}\right)}$$

$$\text{Zona 4: } x(t, h) = 24.7t^{0.256}$$

Tali equazioni consentono di valutare i valori delle altezze di pioggia medi delle serie dei massimi considerata per queste zone per i differenti intervalli di precipitazione prescelti, in funzione del

solo parametro della quota assoluta sul livello del mare; per questo studio, per ciascuno dei bacini afferenti agli impluvi in esame si è utilizzata la rispettiva quota media.

Ai valori così ottenuti vanno applicati coefficienti moltiplicativi relativamente al fattore di crescita  $K_T$  (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni), ed al fattore di riduzione areale  $K_A$  (funzione della superficie del bacino espressa in  $Km^2$ , e della durata dell'evento di progetto, espressa in ore). La dimensione areale dei bacini in studio comporta che il relativo fattore di riduzione tenda all'unità; pertanto, a vantaggio di sicurezza, tale parametro non viene preso in considerazione nella valutazione della Curva di Possibilità Pluviometrica.

L'analisi delle altezze di pioggia con la suddetta metodologia è stata condotta per n.28 bacini (n.6 di tipo P e n.22 di tipo R) in cui è stata suddivisa l'area oggetto di studio (cfr. nell'allegato E.02). Di seguito si riporta una tabella analitica delle altezze di pioggia per i bacini in esame per eventi aventi tempo di ritorno di 200 anni. L'ordine in cui vengono rappresentati i bacini è orientato da nord verso sud, quindi partendo dal nodo di Foggia al km 61.170,00 del profilo sino al nodo di Canosa al km 0,00. I bacini sono stati discretizzati in due categorie: "P" ed "R". Con la dicitura "P" vengono indicati i bacini afferenti ad aree individuate dal PAI a "Pericolosità idraulica" ma non attraversate dal reticolo idrografico della carta idrogeomorfologica, mentre con la dicitura "R" vengono indicati i bacini afferenti al reticolo idrografico della carta idrogeomorfologica della Puglia. Nel complesso sono stati studiati n.6 bacini "P" e n.22 bacini "R", ai quali vanno aggiunti n.3 bacini afferenti al Torrente Cervaro (R8), al Torrente Carapelle (R10) e al Fiume Ofanto (R22) che saranno analizzati al paragrafo "4.3.2 Vapi".

Nella seguente tabella vengono esplicitate le altezze di pioggia espresse in mm per differenti durate, per eventi con tempo di ritorno di 200 anni. Come detto l'ordine in cui vengono rappresentati i bacini va da nord (nodo Foggia) a sud (Nodo Canosa). I bacini R8 Torrente Cervaro, R10, Torrente Carapelle e R22 Fiume Ofanto sono stati omessi dalla seguente tabella perché come detto saranno studiati nel paragrafo successivo "4.3.2 Vapi". Per i bacini ricadenti totalmente o maggiormente nella zona 3, le altezze di pioggia sono state espresse in funzione dell'altezza media del bacino secondo l'equazione "zona 3" mentre per i bacini ricadenti nelle zone 2 e 4 l'altezza di pioggia è determinata solo in funzione della durata così come espressa nelle equazioni della "zona 2" e della "zona 4". Nei casi in cui i bacini ricadono parzialmente in due aree con percentuali confrontabili (50%-50%; 60%-40%), a vantaggio di sicurezza nel calcolo è stata considerata la zona alla quale corrisponde il valore maggiore di altezza di pioggia per l'assegnato bacino.

Bacino	Tempo di ritorno (anni)	Zona omogenea	Altezze di pioggia in mm per durate di:				
			1	3	6	12	24
			(h)	(h)	(h)	(h)	(h)
P1	200	2	61,43	80,59	95,63	113,49	134,69
P2	200	2	61,43	80,59	95,63	113,49	134,69
P3	200	2	61,43	80,59	95,63	113,49	134,69
R1	200	3	69,99	111,72	150,07	201,58	270,76
R2	200	2	61,43	80,59	95,63	113,49	134,69
P4	200	2	61,43	80,59	95,63	113,49	134,69
R3	200	2	61,43	80,59	95,63	113,49	134,69
R4	200	3	69,99	99,78	124,80	156,10	195,25
P5	200	2	61,43	80,59	95,63	113,49	134,69
P6	200	2	61,43	80,59	95,63	113,49	134,69
R5	200	3	69,99	106,53	138,86	181,01	235,94
R6	200	3	69,99	98,27	121,73	150,80	186,81
R7	200	3	69,99	96,157	117,49	143,57	175,43
R9	200	2	61,43	80,59	95,63	113,49	134,69
R11	200	3	69,99	85,14	96,34	109,02	123,37
R12	200	2	61,43	80,59	95,63	113,49	134,69
R13	200	3	69,99	95,83	116,84	142,46	173,70
R14	200	2	61,43	80,59	95,63	113,49	134,69
R15	200	4	69,99	83,68	93,66	104,83	117,34
R16	200	4	69,99	101,61	128,56	162,65	205,79
R17	200	4	68,26	90,43	107,99	128,95	153,99
R18	200	4	68,26	90,43	107,99	128,95	153,99
R19	200	4	68,26	90,43	107,99	128,95	153,99
R20	200	4	68,26	90,43	107,99	128,95	153,99
R21	200	4	68,26	90,43	107,99	128,95	153,99
R23	200	4	68,26	90,43	107,99	128,95	153,99
R24	200	4	68,26	90,43	107,99	128,95	153,99
R25	200	4	68,26	90,43	107,99	128,95	153,99

**Tab. 4/4:** Altezze di pioggia in funzione del tempo di ritorno per gli impluvi

#### 4.3 ANALISI IDROLOGICA

Per la valutazione delle portate nelle sezioni di interesse sono state adottate le metodologie che meglio si adattano alle caratteristiche dei bacini in esame.

E' stato impiegato il metodo CN per la definizione delle portate al colmo di piena per i bacini oggetto di studio.

Per la definizione della piena di riferimento del Torrente Carapelle, al Torrente Cervaro ed al Fiume Ofanto, è stata applicata la metodologia di analisi regionale proposta nel VAPI – Puglia, che utilizza come modello probabilistico la distribuzione dei valori estremi a doppia componente (TCEV).

##### 4.3.1 METODO CN - SCS

Per giungere alla valutazione della portata nelle sezioni di interesse, congruentemente con la modellazione realizzata dalla AdB nella analisi del rischio idraulico, per i bacini "P" ed "R" si è utilizzato il metodo CN SCS.

Il metodo usualmente denominato "curve number" ed elaborato dal Soil Conservation Service assume che la produzione del volume di deflusso superficiale,  $Q$ , sia data dalla seguente espressione:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{(P - I)}$$

in cui:  $F$  = volume specifico infiltrato;

$S$  = volume specifico di saturazione di un terreno;

$P$  = precipitazione;

$I$  = assorbimento iniziale;

quindi, tenendo conto dell'equazione di continuità:

$$F = P - I - Q$$

dalla precedente, si ottiene :

$$Q = \frac{(P - I)^2}{(P - I + S)}$$

Il volume specifico di saturazione dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo, fattori che vengono espressi, per mezzo del CN, attraverso la seguente relazione:

$$S = S_0 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

in cui:

$S_0$  è un fattore di scala, pari a 254 se la pioggia viene espressa in mm;

CN è il parametro di cui sopra, che può essere un valore compreso fra zero e cento.

Tale modello, quindi, prende in considerazione le due variabili I ed S. In realtà, il termine I rappresenta un volume specifico di pioggia, generalmente sottratto a priori al bilancio in esame, che descrive in modo globale diversi processi, quali l'intercettazione, l'accumulo nelle depressioni superficiali, l'imbibimento iniziale del terreno. Nella procedura CN-SCS standard, I viene valutato come una quota parte di S, specificatamente il 20%.

Resta, infine, da definire come si determina il parametro CN. Tale parametro, come abbiamo già accennato, è funzione della permeabilità, dello stato di umidità del suolo al momento dell'evento meteorico in esame e dell'uso del suolo. Nel presente studio, la valutazione di tale parametro è stata eseguita secondo le indicazioni del Maione sia per quel che riguarda le espressioni matematiche, sia per la tabella uso del suolo-permeabilità, sia per la valutazione dell'umidità del suolo, supportate da valutazioni conseguenti ad indagini effettuate in loco. Riportiamo di seguito uno schema della metodologia adottata:

- 1) Classificazione del suolo secondo quattro classi di permeabilità ottenute dal confronto delle formazioni geologiche presenti nel bacino con tabelle di conversione estratte da studi precedenti:
  - A: molto permeabile,
  - B: poco permeabile,
  - C: quasi impermeabile,
  - D: impermeabile.
- 2) Determinazione dell'uso del suolo;
- 3) Determinazione dell'umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico e riconoscimento di tre classi (classi AMC, Antecedent Moisture Condition), in funzione della pioggia caduta nei cinque giorni precedenti.

- 4) Tenendo conto della stagione in cui ricade l'evento in esame, rispetto al periodo di crescita delle piante, si hanno le seguenti espressioni per la valutazione del CN:

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{10 - 0.058 \cdot CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

Il CN(II) è definito dalla tabella a doppio ingresso uso del suolo-permeabilità. Per lo studio in oggetto, attraverso l'utilizzo di tecniche GIS, sono stati calcolati i seguenti valori relativi alle diverse condizioni di umidità del suolo antecedenti l'evento (AMC I, II e III) per i diversi bacini in esame:

ID Bacino	CNI	CNII	CNIII
<b>P1</b>	54,92	72,29	<b>86,1</b>
<b>P2</b>	59,36	75,86	<b>88,4</b>
<b>P3</b>	55,25	72,56	<b>86,2</b>
<b>R1</b>	54,85	72,23	<b>88,0</b>
<b>R2</b>	57,94	74,73	<b>87,7</b>
<b>P4</b>	55,00	72,35	<b>86,1</b>
<b>R3</b>	53,56	71,17	<b>85,3</b>
<b>R4</b>	56,63	73,68	<b>87,0</b>
<b>P5</b>	59,24	75,76	<b>88,3</b>
<b>P6</b>	58,88	75,40	<b>88,1</b>
<b>R5</b>	55,26	72,57	<b>86,3</b>
<b>R6</b>	54,67	72,08	<b>85,9</b>
<b>R7</b>	55,58	72,83	<b>86,4</b>
<b>R9</b>	56,37	73,47	<b>86,9</b>
<b>R11</b>	60,78	76,98	<b>89,1</b>
<b>R12</b>	68,85	83,10	<b>92,9</b>
<b>R13</b>	56,10	73,30	<b>86,7</b>
<b>R14</b>	65,40	80,50	<b>91,3</b>
<b>R15</b>	66,90	81,70	<b>92,0</b>
<b>R16</b>	58,40	75,10	<b>87,9</b>
<b>R17</b>	60,26	76,57	<b>88,9</b>

<b>R18</b>	74,22	86,99	<b>95,2</b>
<b>R19</b>	62,09	77,99	<b>89,8</b>
<b>R20</b>	68,81	83,07	<b>92,9</b>
<b>R21</b>	66,96	81,70	<b>92,1</b>
<b>R23</b>	73,67	86,60	<b>95,0</b>
<b>R24</b>	73,90	86,76	<b>95,0</b>
<b>R25</b>	74,04	86,86	<b>95,1</b>

**Tab. 2/5:** Valore dei parametri CN per li bacino con riferimento alle diverse classi AMC

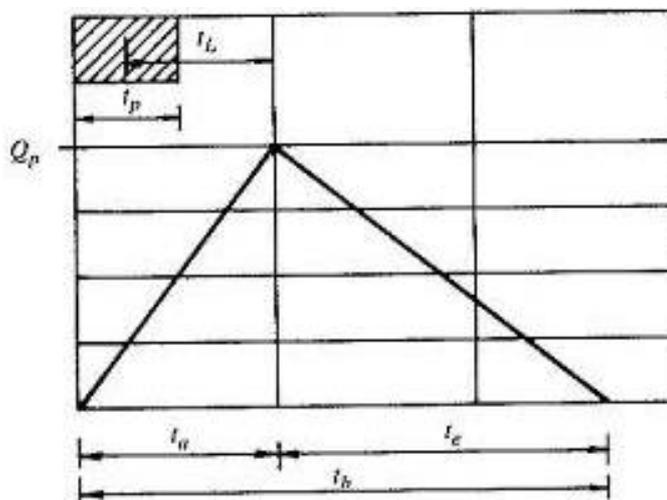
Tali valori consentono di ricavare il valore della pioggia netta e dell'afflusso nelle ipotesi di ietogramma rettangolare di durata pari al tempo di ritardo del bacino, nel seguito definito e determinato.

#### 4.3.1.1 L'idrogramma di Mockus.

Per il calcolo della portata al colmo, si è utilizzata la metodologia proposta dal Soil Conservation Service. Questo metodo considera un idrogramma approssimato di forma triangolare con una fase crescente di durata  $t_a$  (tempo di accumulo) ed una fase di esaurimento di durata  $t_e$  (tempo di esaurimento) e il cui volume  $V$ , in  $m^3$ , ha la seguente espressione:

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

con  $t_b$  durata dell'evento di piena.



**Fig. 4/3:** Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata al colmo con il metodo SCS

A seguito di analisi sperimentali dell'SCS è stato stabilito che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37.5% del volume totale V di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0.375 volte la durata dell'evento di piena  $t_b$  e pertanto:

$$t_b = 2.67 \cdot t_a$$

Di conseguenza è possibile esprimere la portata al colmo secondo la relazione qui di seguito riportata:

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

in cui:

V = volume di deflusso espresso in mm;

A = area del bacino espressa in Km<sup>2</sup>;

$t_a$  = tempo di accumulo espresso in h.

La determinazione di  $t_a$ , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante, di durata  $t_p$  e indicando con  $t_L$  il tempo di ritardo (distanza tra il baricentro dello istogramma ed il picco dell'idrogramma triangolare), si effettua con la semplice relazione:

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

Per la determinazione del tempo di ritardo, espresso in ore, si utilizza la formula di Mockus:

$$t_L = 0.342 \cdot \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

in cui s è la pendenza del bacino espressa in percentuale, L è la lunghezza dell'asta principale, prolungata fino alla displuviate espressa in Km.

Sulla base di determinazioni empiriche effettuate dall'SCS, è possibile affermare che il rapporto  $t_L/t_c$  è pari a 0,6, con  $t_c$  tempo di corrivazione del bacino.

#### 4.3.1.2 Determinazione della portata al colmo di piena col metodo CN SCS

La durata della precipitazione che è critica per il bacino, cioè che mette in crisi la rete idrografica perché per essa si raggiunge il valore più elevato di portata, dipende dall'estensione del bacino stesso. Questa circostanza è una logica conseguenza del fenomeno di trasferimento che impone che ogni particella liquida che cade in un punto del bacino deve seguire un suo percorso per giungere alla sezione di chiusura, impiegando, a parità di velocità di trasferimento, un tempo tanto maggiore quanto più lungo è il percorso da effettuare.

Un tempo caratteristico dell'evento di piena è il tempo di ritardo del bacino, generalmente definito come la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base, che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento di piena, ed il baricentro del pluviogramma netto. Coerentemente con la metodologia definita dal Soil Conservation Service per la definizione dell'idrogramma di piena, si è scelta, per la determinazione di questo parametro, la formulazione proposta da Mockus, sopra descritta.

La determinazione del tempo di ritardo consente di individuare la pioggia critica avente tempo di ritorno  $T_R$  200 anni. La pioggia critica per l'assegnato tempo di ritorno si definisce attraverso la curva di possibilità climatica precedentemente definita; quindi si ricava il valore della pioggia netta, dell'afflusso netto al bacino e della portata al colmo di piena attraverso l'applicazione del metodo Curve Number - SCS già descritto. A tale proposito va sottolineato che avendo utilizzato la pioggia critica per tempo di ritorno pari a 200 anni si ottengono le portate di piena aventi medesimo tempo di ritorno (200 anni).

Per la definizione delle portate di piena, si è scelto di utilizzare il valore del Curve Number relativo alle condizioni umide del suolo dei bacini antecedenti l'evento ovvero il **CN (III)**.

Attraverso la convoluzione di tale afflusso netto con l'idrogramma definito dall'SCS, precedentemente valutato per i bacini in esame, si ottengono i risultati contenuti nella seguente tabella, ove si precisa che l'ordine di rappresentazione è orientato da nord verso sud, così come individuato negli elaborati E.02 - Planimetrie Bacini idrografici:

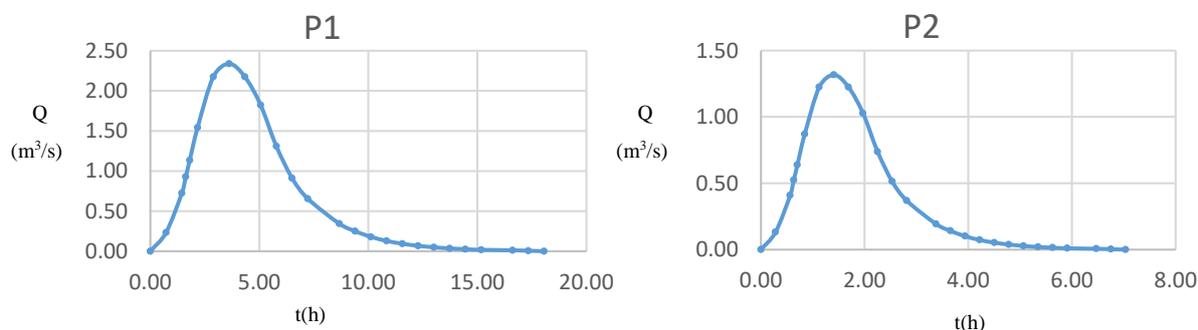
ID Bacino	Nome canale	Area	Tl	I	Q 200
		Km <sup>2</sup>	h	mm	m <sup>3</sup> /s
<b>P1</b>	-	1,2	3,25	85,03	<b>2,3</b>
<b>P2</b>	-	0,3	1,40	67,22	<b>1,3</b>
<b>P3</b>	-	1,0	2,65	82,65	<b>2,2</b>
<b>R1</b>	Canale Santa Giusta	33,6	5,13	166,20	<b>99,1</b>

<b>R2</b>	Affluente in destra Santa Giusta	1,4	2,77	82,47	<b>3,2</b>
<b>P4</b>	-	0,6	1,46	68,27	<b>1,9</b>
<b>R3</b>	Canale Salice	0,9	2,52	78,84	<b>2,1</b>
<b>R4</b>	Canale Posticchio	4,2	4,48	126,37	<b>10,3</b>
<b>P5</b>	-	2,5	2,89	83,91	<b>5,9</b>
<b>P6</b>	-	1,3	2,26	78,42	<b>3,5</b>
<b>R5</b>	Canale CDB Capitanata	18,0	5,08	150,26	<b>47,6</b>
<b>R6</b>	Canale Ovile	15,0	4,85	125,15	<b>33,0</b>
<b>R7</b>	-	12,9	4,58	118,02	<b>28,1</b>
<b>R9</b>	Canale Antico Cervaro	8,3	3,61	88,04	<b>15,9</b>
<b>R11</b>	Fiume Canale Ponticello	35,9	8,01	104,92	<b>41,2</b>
<b>R12</b>	Canale Trompello	2,9	3,13	88,52	<b>7,5</b>
<b>R13</b>	Fiume Fosso Manara la Pidocchiosa	67,1	9,68	147,27	<b>91,5</b>
<b>R14</b>	Canale CDB Capitanata	0,3	0,82	58,17	<b>1,8</b>
<b>R15</b>	Canale Marana Ficora	3,0	2,00	88,72	<b>10,8</b>
<b>R16</b>	Canale Marana Castello Superiore	88,4	10,14	175,73	<b>145,0</b>
<b>R17</b>	Canale Acquamela	36,1	6,06	117,04	<b>62,1</b>
<b>R18</b>	Canale Fosso La Pila	4,8	1,95	89,71	<b>22,0</b>
<b>R19</b>	Canale 8	0,2	0,93	70,49	<b>1,3</b>
<b>R20</b>	Canale CDB Capitanata	4,7	1,57	83,48	<b>22,9</b>
<b>R21</b>	Canale 8	5,9	1,79	85,91	<b>25,4</b>
<b>R23</b>	Canale Lamapopoli	15,8	1,63	85,52	<b>80,7</b>
<b>R24</b>	Canale CDB Capitanata	0,3	0,38	58,06	<b>3,7</b>
<b>R25</b>	Canale CDB Capitanata	4,2	0,75	69,74	<b>36,7</b>

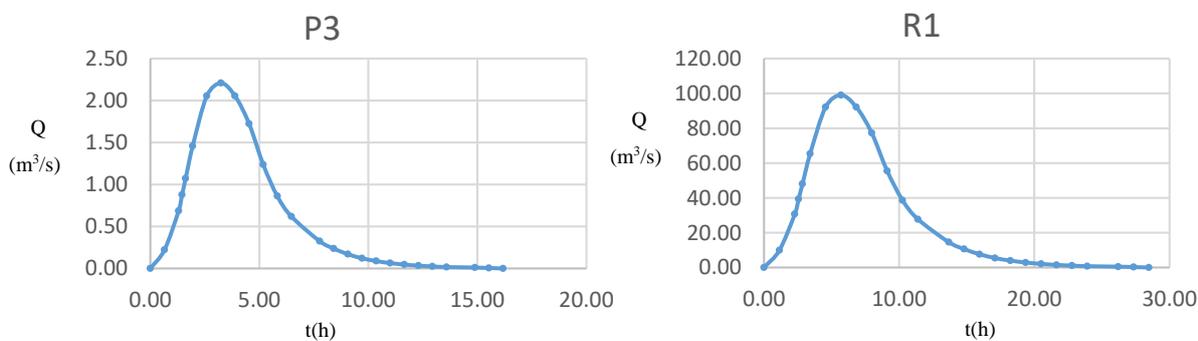
**Tab. 3/6:** Superficie bacino, tempo di ritardo, pioggia netta e portata al colmo di piena per il bacino in esame e per i tempi di ritorno di riferimento

I valori di portata così determinati, sono stati utilizzati nelle analisi idrauliche finalizzate alla definizione delle condizioni effettive di pericolosità idraulica dell'area.

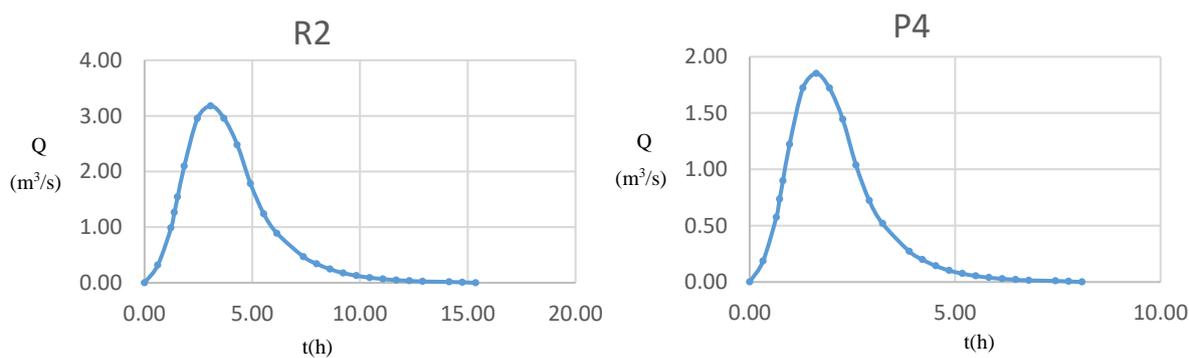
Di seguito si riportano gli idrogrammi di piena impiegati nelle simulazioni per i bacini oggetto di studio secondo lo stesso ordine riportato in tabella 4/6:



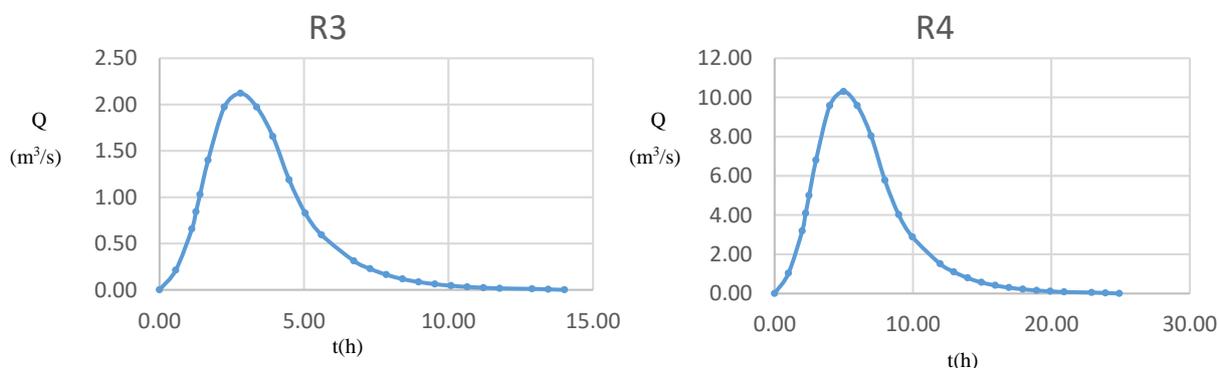
**Fig. 4/4:** Idrogrammi di Mokus utilizzati nelle simulazioni per i bacini P1 e P2



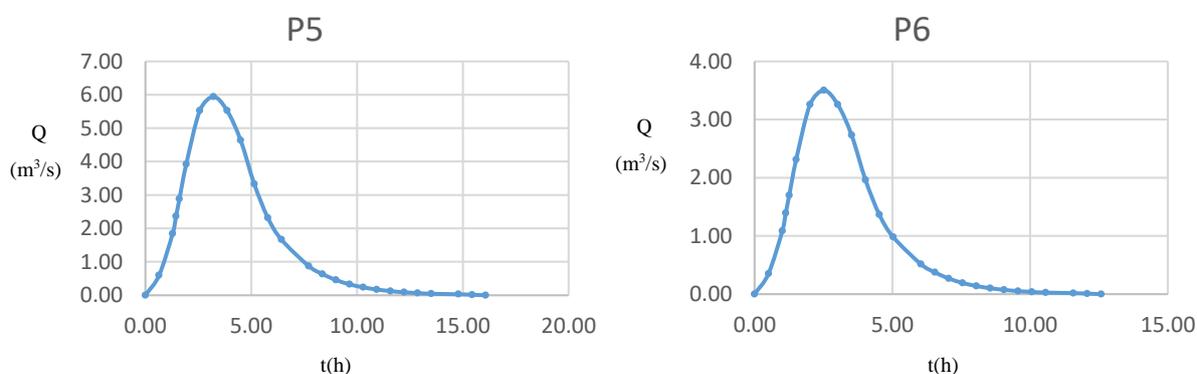
**Fig. 4/5:** Idrogrammi di Mokus utilizzati nelle simulazioni per i bacini P3 e R1



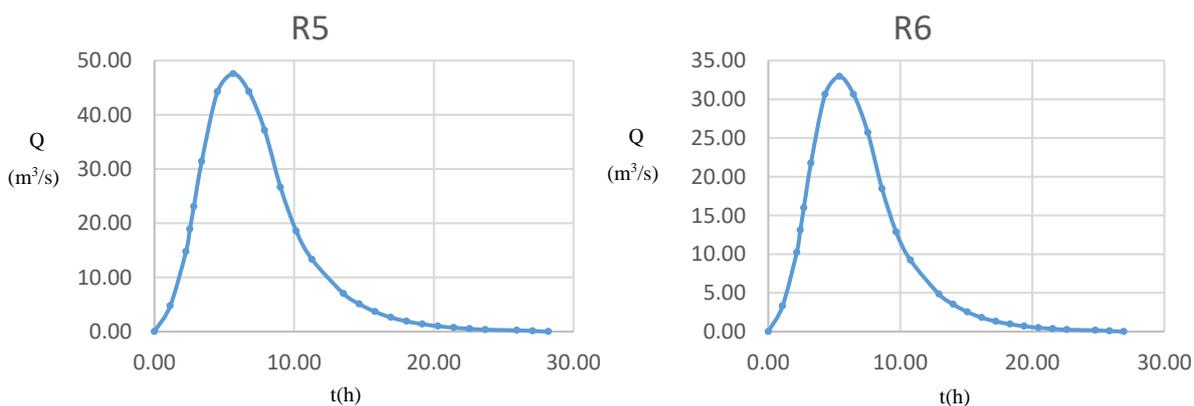
**Fig. 4/6:** Idrogrammi di Mokus utilizzati nelle simulazioni per i bacini R2 e P4



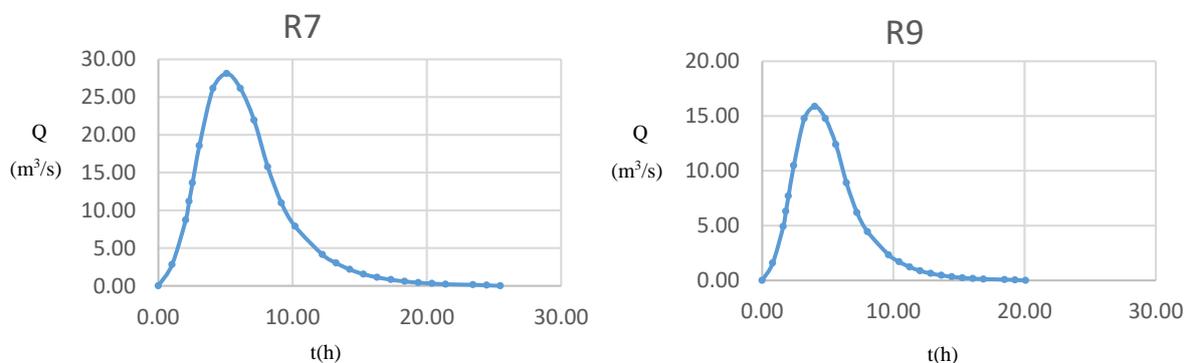
**Fig. 4/7:** Idrogrammi di Mokus utilizzati nelle simulazioni per i bacini R3 e R4



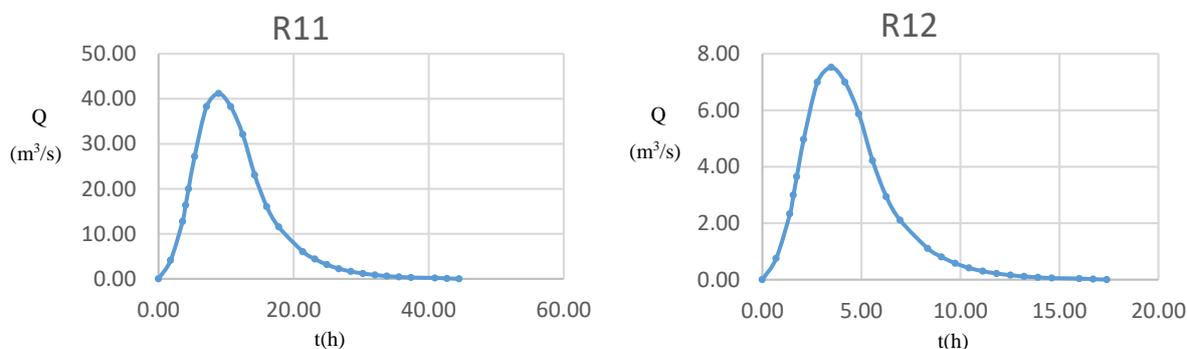
**Fig. 4/8:** Idrogrammi di Mokus utilizzati nelle simulazioni per i bacini P5 e P6



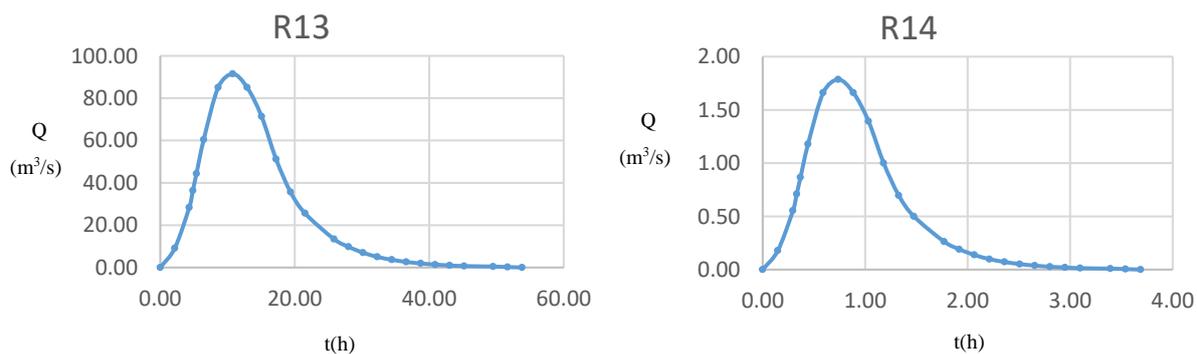
**Fig. 4/9:** Idrogrammi di Mokus utilizzati nelle simulazioni per i bacini R5 e R6



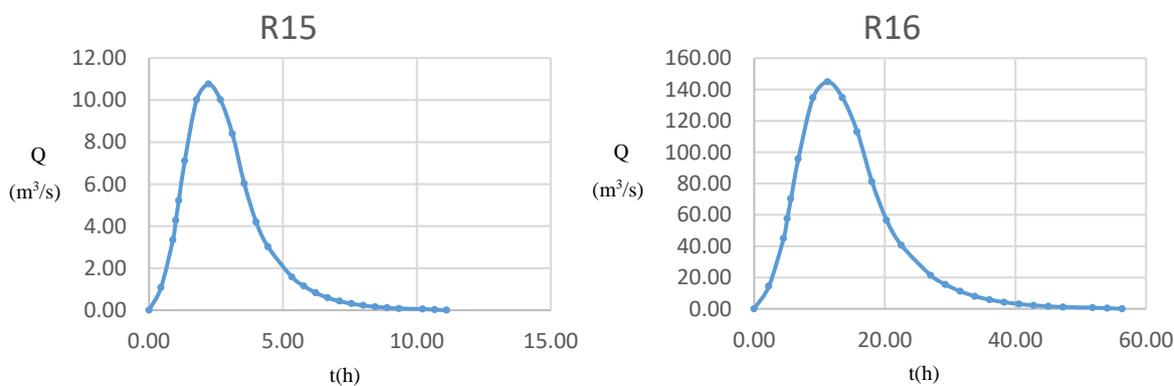
**Fig. 4/10:** Idrogrammi di Mokus utilizzati nelle simulazioni per i bacini R7 e R9



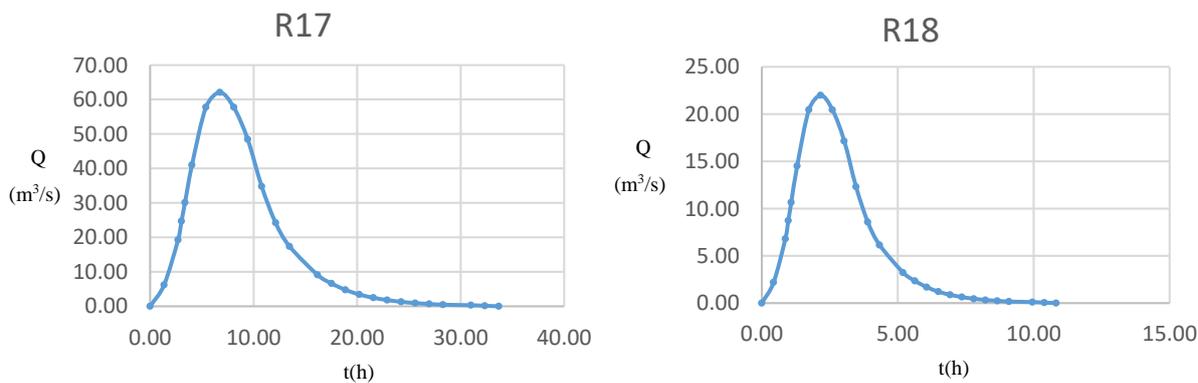
**Fig. 4/11:** Idrogrammi di Mokus utilizzati nelle simulazioni per i bacini R11 e R12



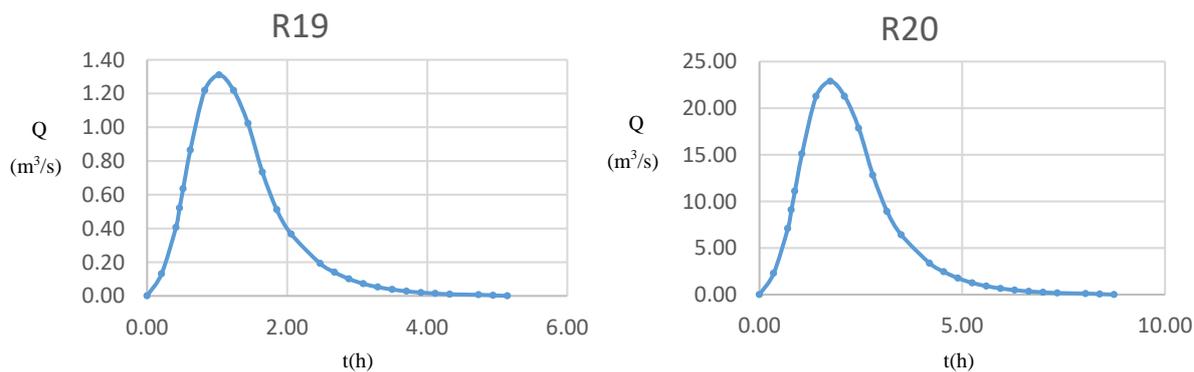
**Fig. 4/12:** Idrogrammi di Mokus utilizzati nelle simulazioni per i bacini R13 e R14



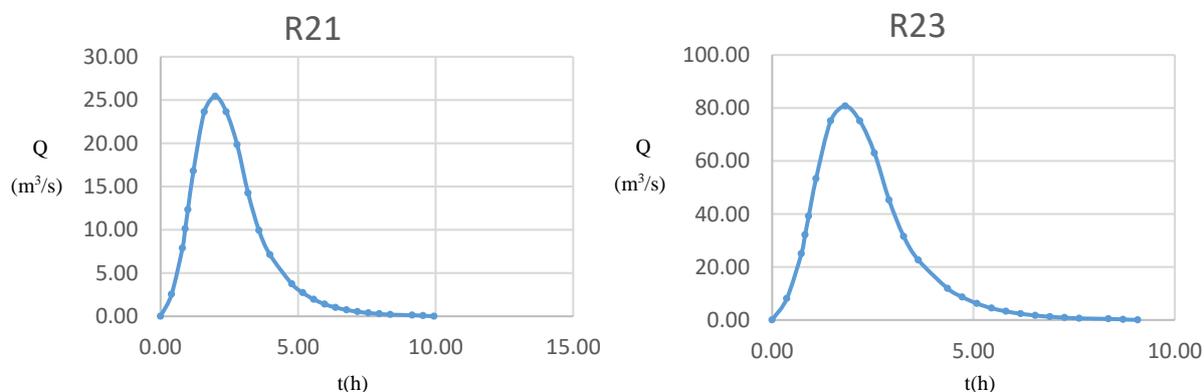
**Fig. 4/13:** Idrogrammi di Mokus utilizzati nelle simulazioni per i bacini R15 e R16



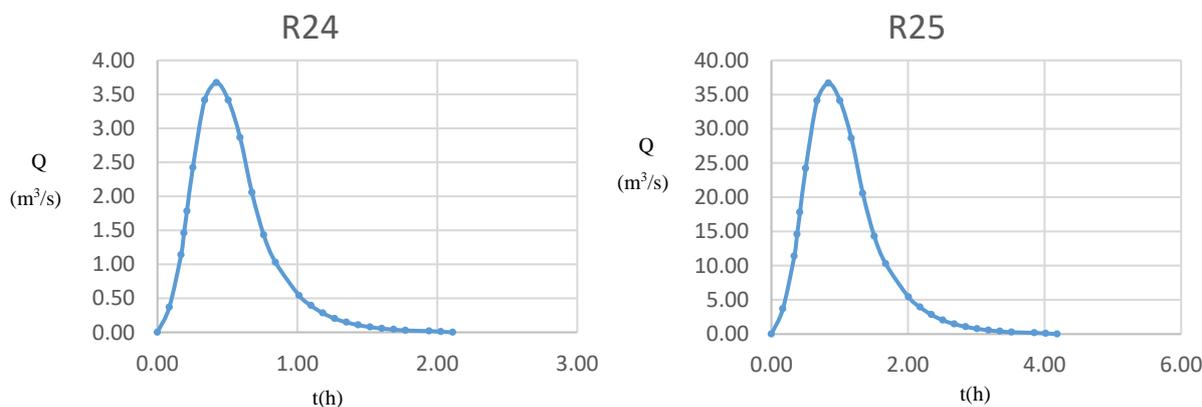
**Fig. 4/14:** Idrogrammi di Mokus utilizzati nelle simulazioni per i bacini R17 e R18



**Fig. 4/15:** Idrogrammi di Mokus utilizzati nelle simulazioni per i bacini R19 e R20



**Fig. 4/16:** Idrogrammi di Mokus utilizzati nelle simulazioni per i bacini R21 e R23



**Fig. 4/17:** Idrogrammi di Mokus utilizzati nelle simulazioni per i bacini R24 e R25

#### 4.3.2 VAPI

Le procedure metodologiche adottate per la determinazione degli eventi estremi sono indicate dal D.P.C.M. del 29 settembre 1998 che così recita: *“Comunque, ove possibile, è consigliabile che gli esecutori traggano i valori di riferimento della portata al colmo di piena con assegnato tempo di ritorno dalle elaborazioni eseguite dal Servizio idrografico e mareografico nazionale oppure dai rapporti tecnici del progetto VAPI messo a disposizione dal GNDICI-CNR”*.

Per la definizione della piena di riferimento, così come indicato nella relazione di piano, per i bacini dei Torrenti Cervaro, Carapelle e del Fiume Ofanto, si è proceduto ad una stima indiretta della piena media annua nella sezione di chiusura del bacino oggetto dello studio, attraverso l'utilizzo opportuno di un modello concettuale (formula razionale), sulla base della seguente equazione:

$$Q = \frac{C_* K_A(t_r) I(t_r) A}{3.6}$$

in cui:

- Q è la piena media annua espressa in m<sup>3</sup>/s;
- C\* è il coefficiente di piena, così definito:  $C_* = 0,09 + 0,47 (1 - pp)$

con pp frazione ad elevata permeabilità del bacino (rapporto tra area ad elevata permeabilità e l'area complessiva del bacino);

- $t_r$ , in ore, è il tempo di ritardo del bacino, così definito:  
 $t_r = 0,344 A^{0.5}$ , con A superficie del bacino in km<sup>2</sup>;
- I( $t_r$ ), espressa in mm/h, è la intensità di precipitazione calcolata con riferimento alla zona 4 (nel quale ricadono principalmente o quasi totalmente i bacini di interesse): ottenuta come  $h(t_r)/t_r$ .

$$x(t) = 24 t^{0.247}$$

Al valore così ottenuto va applicato il coefficiente moltiplicativo relativamente al Fattore di Crescita  $K_T$  (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni),

$$K_T = -0,4007 + 0,904 \ln T$$

Con riferimento alla frazione ad elevata permeabilità del bacino (rapporto tra area ad elevata permeabilità e l'area complessiva del bacino) si è proceduto tramite tecniche GIS alla sua determinazione. Di seguito si riportano i parametri impiegati per la determinazione delle portate per i tre corsi d'acqua:

	<b>Tr 200</b>
<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	485,9
<b>C*</b>	0,344
<b>pp</b>	0,46
<b>K<sub>A</sub></b>	0,735
<b>K<sub>T</sub></b>	4,389
<b>Tr</b>	7,583

<b>I(Tr)</b>	24,014
<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>818,58</b>

**Tab. 4/7:** Portata di massima piena per Tr 200 relativa al Torrente Cervaro (R8)

	<b>Tr 200</b>
<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	662,8
<b>C*</b>	0,325
<b>pp</b>	0,50
<b>K<sub>A</sub></b>	0,699
<b>K<sub>T</sub></b>	4,389
<b>Tr</b>	8,856
<b>I(Tr)</b>	21,395
<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>894,64</b>

**Tab. 5/8:** Portata di massima piena per Tr 200 relativa al Torrente Carapelle (R10)

	<b>Tr 200</b>
<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	2687
<b>C*</b>	0,325
<b>pp</b>	0,50
<b>K<sub>A</sub></b>	0,665
<b>K<sub>T</sub></b>	4,389
<b>Tr</b>	17,832
<b>I(Tr)</b>	12,711
<b>Q (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>2049,43</b>

**Tab. 6/9:** Portata di massima piena per Tr 200 relativa al Fiume Ofanto (R22)

Definite le portate al colmo di piena si è passati a definire la forma dell'idrogramma di piena. Nella definizione della forma dell'idrogramma di piena risulta importante determinare la relazione intercorrente tra i picchi di piena e i volumi transitanti in periodi di durata variabile. Dette relazioni sono di solito espresse ricorrendo alle cosiddette curve di riduzione dei colmi di piena che esprimono il rapporto tra la portata indice su durate variabili e la portata al picco:

$$\varepsilon_{D,T} = \frac{Q_{D,T}}{Q_T}$$

ove:

- $\varepsilon_{D,T}$  rappresenta il coefficiente di riduzione del colmo di piena;
- $Q_{D,T}$  è la massima portata media per il fissato tempo di ritorno e transitante nella finestra temporale  $D$ ;
- $Q_T$  è la portata al colmo.

Nel caso in questione si è fatto riferimento alla formulazione della curva di riduzione proposta da Fiorentino (1985<sup>1</sup>) e ottenuta in base all'ipotesi di invaso lineare per la trasformazione afflussi – deflussi:

$$\varepsilon_D = \left( \frac{k}{D} \right) \left[ 1 - e^{-\frac{D}{k}} \right]$$

ove:

- $D$  è la durata dell'evento di piena espressa in ore;
- $k$  è un parametro, espresso in ore, legato all'esponente  $n$  della curva di possibilità climatica pluviometrica ed al tempo di ritardo  $t_R$  tramite la seguente espressione:
- 

$$k = 1.027 \cdot t_R \cdot e^{2.277 \cdot n}$$

A sua volta il tempo di ritardo  $t_R$  è legato al tempo di corrivazione  $t_c$  dalla relazione  $\frac{t_R}{t_c} = 0,6$ .

La valutazione del volume di piena è poi possibile tramite la seguente espressione:

$$V_{D,T} = Q_{D,T} \cdot D$$

Sostituendo l'espressione di  $\varepsilon_{D,T}$  nella relazione precedente, per la valutazione del volume risulta la seguente:

$$V_{D,T} = \varepsilon_{D,T} \cdot Q_T \cdot D$$

---

<sup>1</sup> La Valutazione dei volumi di piena nelle reti di drenaggio urbano. Idrotecnica, n.3, 141-152, 1985 – M.Fiorentino

Applicando la formula suddetta al variare della durata dell'evento  $D$  il volume di piena tende ad aumentare sino a raggiungere un asintoto il quale rappresenterà il volume transitante durante il passaggio della piena.

	tc (ore)	tr (ore)	n	k (ore)	$Q_{200}$ (m <sup>3</sup> /s)
<b>R8 - Torrente Cervaro</b>	12,64	7,58	0,256	13,77	818,58
<b>R10 - Torrente Carapelle</b>	14,76	8,86	0,256	16,08	894,64
<b>R22 - Fiume Ofanto</b>	29,72	17,83	0,256	32,39	2.049,43

**Tab. 4/10:** tempo di corrivazione, tempo di ritardo, coefficiente  $n$ , parametro  $k$ , portata al colmo di piena per i bacini in esame e per i tempi di ritardo impiegati nello studio e valori dei volumi all'asintoto.

I volumi corrispondenti agli eventi di piena valutati con suddetta formulazione sono riportati nella seguente tabella.

	<b>Formulazione Fiorentino</b>
	<b><math>V_{200}</math> (m<sup>3</sup>/s)</b>
R8 - Torrente Cervaro	40.606.387
R10 - Torrente Carapelle	51.823.894
R22 - Fiume Ofanto	238.947.517

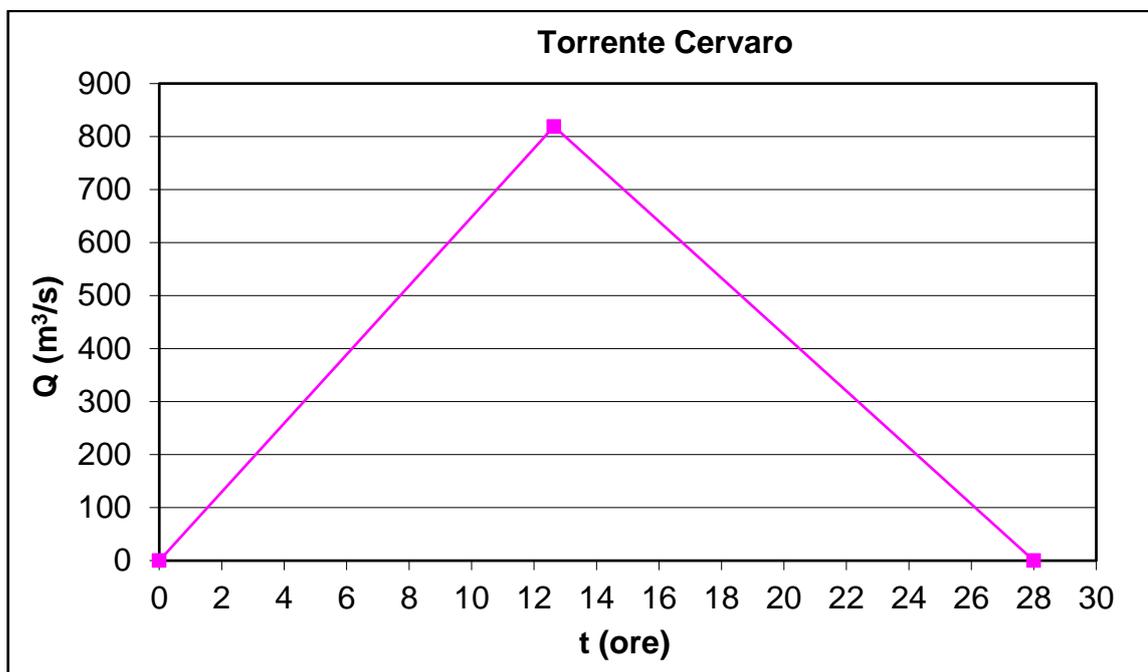
**Tab. 4/11 - Volumi di piena calcolati con la formulazione di Fiorentino**

Valutati i volumi di piena si è definita come forma dell'idrogramma di piena quella bitriangolare con portata al colmo al tempo  $t_c$ , che fornisce un valore del volume di piena maggiore di quello valutato con la formulazione di Fiorentino sopra riportata.

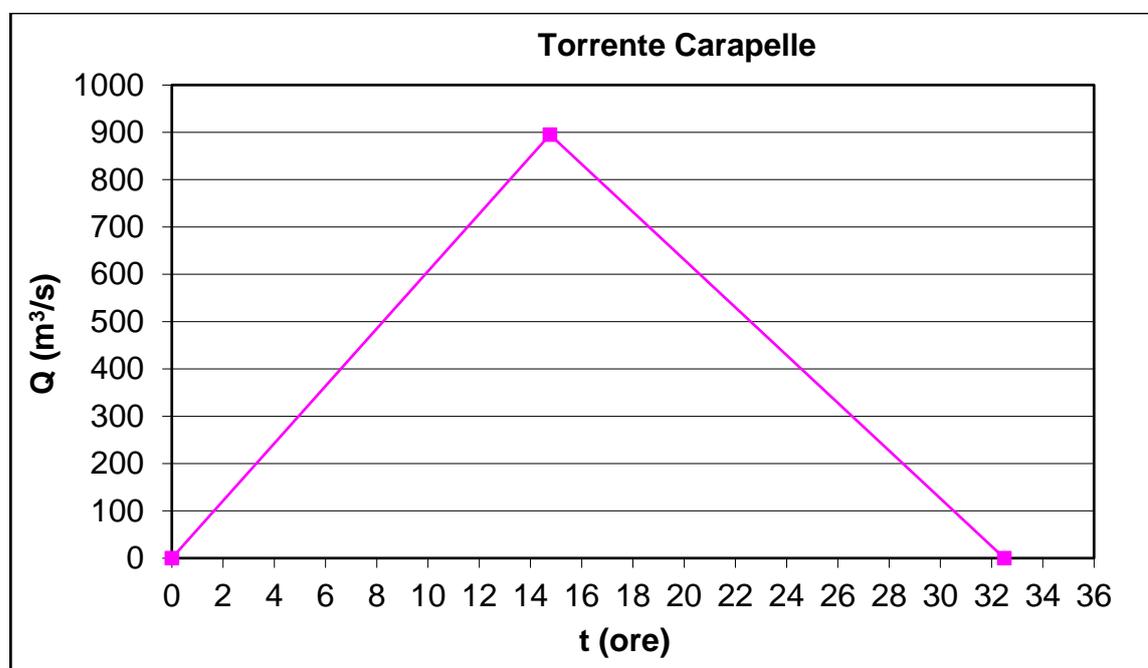
Nella seguente tabella si riportano i volumi di piena valutati assumendo l'idrogramma di piena bitriangolare:

	<b>Idrogramma bitriangolare</b>
	<b><math>V_{200}</math> (m<sup>3</sup>/s)</b>
R8 - Torrente Cervaro	41.277.600
R10 - Torrente Carapelle	52.357.500
R22 - Fiume Ofanto	239.783.310

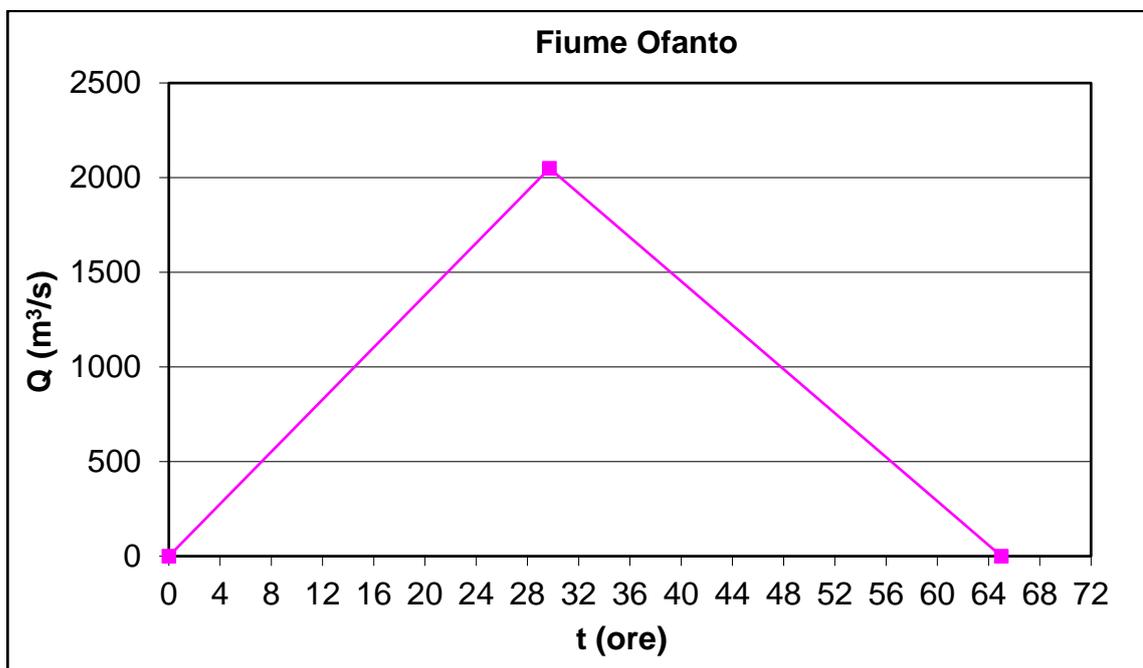
**Tab. 4/12:** volumi di piena calcolati ipotizzando un idrogramma di piena bi triangolare



*Fig. 4/18: Idrogramma di piena impiegato nella simulazione per il Torrente Cervaro*



*Fig. 4/19: Idrogramma di piena impiegato nella simulazione per il Torrente Carapelle*



*Fig. 4/20: Idrogramma di piena impiegato nella simulazione per il Fiume Ofanto*

## **5. ANALISI IDRAULICA – STATO DI FATTO**

Definiti i valori delle portate massime, ovvero i picchi degli idrogrammi di piena relativamente al tempo di ritorno di 200 anni, si è proceduto alla analisi idraulica dei tratti di impluvio oggetto del presente studio.

Per la definizione dei tiranti massimi, delle velocità massime e dell'estensione della propagazione dell'onda di piena per tutti i tronchi di reticolo analizzati e per le aree perimetrate a pericolosità idraulica, si è fatto ricorso ad un modello bidimensionale di calcolo HEC-RAS 2D che ben si adatta a simulare le caratteristiche delle aree oggetto di studio in quanto il solo studio monodimensionale non permette di riprodurre lo stato effettivo del sistema (presenza di strade, muretti di recinzione, marciapiedi, ecc.).

Nei punti che seguono si riportano in dettaglio i modelli impiegati ed i relativi risultati.

### **5.1 TEORIA DEL MODELLO IDRAULICO HEC-RAS 2D**

Per la definizione delle aree di allagamento, dei tiranti massimi e delle velocità massime per le aree di intervento ricadenti all'interno delle perimetrazioni del PAI o comunque intersecanti la carta idrogeomorfologica della Puglia, per eventi con tempi di ritorno di 200 anni si è utilizzato, quale programma di calcolo e modellazione, HEC RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) software prodotto dallo US ARMY engineering corps, e reso freeware attraverso internet. Di seguito si illustrano brevemente i contenuti del modello, rimandando ad ogni approfondimento, ai documenti presenti sul sito ufficiale ([www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil)). HEC-RAS è un programma realizzato per effettuare calcoli idraulici sia monodimensionali che bidimensionali per reticoli idrografici (indifferentemente naturali ed artificiali); il software può lavorare in regime di moto permanente o vario.

Le simulazioni effettuate, per il caso di studio, sono state condotte mediante modellazione bidimensionale in regime di moto vario.

#### **5.1.1 TEORIA DEL MODELLO IDRAULICO**

Il modello di calcolo HEC-RAS 2D 5.0.7 è un software per la modellazione idraulica bidimensionale utilizzato per diversi tipi di verifiche idrauliche come la propagazione delle piene anche quando siano interessate le golene, deflussi in zone non confinate, deflussi in aree urbane, trasformazione afflussi-deflussi e deflusso delle piene in aree costiere.

Esso permette di simulare un'inondazione su una topografia complessa e con una data scabrezza basando il suo funzionamento sulla conservazione del volume, che è fondamentale per avere una esatta distribuzione della piena.

Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare step temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi agli elementi finiti.

Il modello usa di default l'equazione completa del moto di un'onda dinamica o se settato dall'utente, le equazioni di Saint Venant (opzionale).

Nel primo caso il software utilizza **l'equazione di diffusione dell'onda di piena** secondo le seguenti impostazioni:

$$C=V\Delta T/\Delta X \leq 2.0 \text{ (con } C=5.0) \quad \text{o} \quad \Delta T \leq \Delta X/v \text{ (con } C=2.0)$$

Dove:

- C = Courant Number
- C = Velocità dell'onda di Piena (celerità dell'onda) (m/s)
- $\Delta T$  = Step temporale computazionale (s)
- $\Delta X$  = Dimensione media della cella (m)

Nel secondo caso le equazioni di **Saint Venant**

$$C=V\Delta T/\Delta X \leq 1.0 \text{ (con } C=3.0) \quad \text{o} \quad \Delta T \leq \Delta X/v \text{ (con } C=1.0)$$

Dove:

- C = Courant Number
- C = Velocità dell'onda di Piena (celerità dell'onda) (m/s)
- $\Delta T$  = Step temporale computazionale (s)
- $\Delta X$  = Dimensione media della cella (m)

Le modellazioni oggetto del presente studio sono state eseguite con l'equazione di diffusione dell'onda di piena.

Il modello viene impostato mediante l'applicativo RAS Mapper, ove grazie a una base DTM viene ricostruita l'orografia dell'area oggetto di modellazione con la funzione *Terrain*. Detta funzione permette quindi di implementare nel modello la base di calcolo sulla quale verrà modellata la mesh di calcolo ed assegna le quote ove sarà fatto defluire l'idrogramma di piena. La mesh ha prevalentemente elementi quadrati ma che mediante modifiche dell'utente con l'impiego di break lines possono essere infittite per incrementarne la risoluzione di calcolo arrivando localmente ad avere fino a 8 vertici per singolo elemento della mesh.

Questo software è una combinazione tra modello idrologico e modello idraulico e richiede per ogni simulazione di inondazione principalmente due tipi di informazione: quella associata alle quote (modello digitale del terreno, DTM) e quella pluviometrica distribuita.

Agli elementi della mesh sono assegnati le quote ricavate da un'interpolazione dei punti del DTM.

Esso genera automaticamente il "piano di piena" (che rappresenterà schematicamente la nostra superficie di inondazione) e gli altri dati per cominciare una simulazione di inondazione.

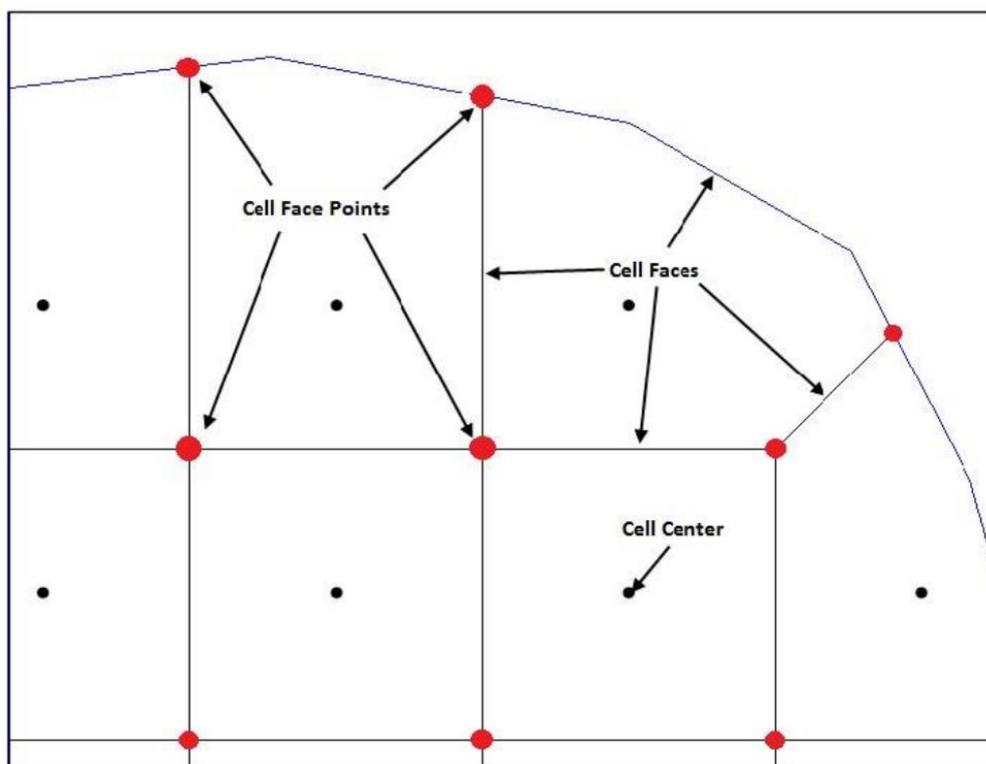
Il procedere dell'onda di piena sul dominio di flusso è controllato dalla topografia e dalla resistenza al deflusso.

**Creazione della mesh di calcolo.** Definito e generato lo "sfondo" per il progetto in analisi, cioè l'andamento digitale del terreno e del corpo idrico, si passa alla creazione del grigliato di calcolo che costituirà il corpo dell'area 2D, per lo sviluppo della simulazione vera e propria. Lo schema risolutivo della versione HEC-RAS 5.0.7. è basato su un algoritmo ai volumi finiti che permette di utilizzare per il calcolo una maglia computazionale strutturata e non strutturata che può essere composta da celle con 3, 4, 5, 6 lati fino ad un massimo di 8.

Ogni singola cella che compone le aree 2D è descritta dalle seguenti caratteristiche:

- Cell Center: è dove il pelo idrico è computato;

- Cell Face: sono le linee di contorno. Le facce sono generalmente segmenti lineari eccetto lungo il bordo dove possono essere spezzate;
- Cell Face Point: questi face point saranno il punto di collegamento tra le lateral structures e l'area 2D.



*Fig. 5/1: "Cell Face Point"*

**Condizioni al contorno.** Mediante la funzione *boundary conditions* vengono implementate nel modello le condizioni al contorno. Al riguardo vengono assegnate le caratteristiche della modalità di immissione della portata (se a parametri concentrati o distribuiti) e le caratteristiche dell'outflow (se esterna o interna al dominio computazione).

**Geometric data.** Mediante la funzione *geometric data*, vengono implementati nel modello eventuali elementi puntuali quali sbarramenti, attraversamenti ecc. che hanno effetti sull'esito della propagazione dell'onda di piena.

**Unsteady flow data.** Mediante la funzione *Unsteady flow data* viene implementato nel modello l'idrogramma di piena o la curva caratteristica pluviometrica in funzione se si procede con una modellazione a parametri concentrati o distribuiti).

**Risultati.** Mediante il RAS Mapper è possibile a posteriori eseguire l'analisi dei risultati della modellazione che permette di definire l'estensione della propagazione dell'onda di piena, i tiranti nelle varie sezioni del dominio computazionale, le relative velocità ed è possibile controllare il bilancio di volume tra inflow e l'outflow finalizzato alla verifica del buon funzionamento del modello.

## 5.1.2 APPLICAZIONE MODELLO IDRAULICO

### 5.1.2.1 Geometria dei modelli

Come primo passo per l'applicazione del modello idraulico, si è proceduto a definire il modello digitale del terreno con riferimento all'area in esame.

Sono stati approntati n.19 modelli schematizzati come segue:

- Modello P1-P6
- Modello R1-R2
- Modello R3-R4
- Modello R5
- Modello R6
- Modello R7-R8 Cervaro
- Modello R9
- Modello R10 Carapelle
- Modello R11-R12
- Modello R13
- Modello R14-R15
- Modello R16
- Modello R17-R18
- Modello pertinenza fluviale
- Modello R19
- Modello R20
- Modello R21
- Modello R22 Fiume Ofanto
- Modello R23-R25

### **Modello P1-P6**

Nel "Modello P1-P6" è stata studiata l'area nord compresa tra la chilometrica 61.170 e la chilometrica 56.242. Nello specifico sono state studiate tutte le n.6 interferenze della condotta con le aree perimetrate a pericolosità idraulica ma non interessata dal reticolo idrografico.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 5 x 5 m. Mediante la funzione break lines sono state ricalcate le aree depresse delle n.6 zone P1-P6 ed è stata infittita la mesh (assegnando 2m in "near spacing" e 4m in "far spacing") al fine di determinare con la massima precisioni i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

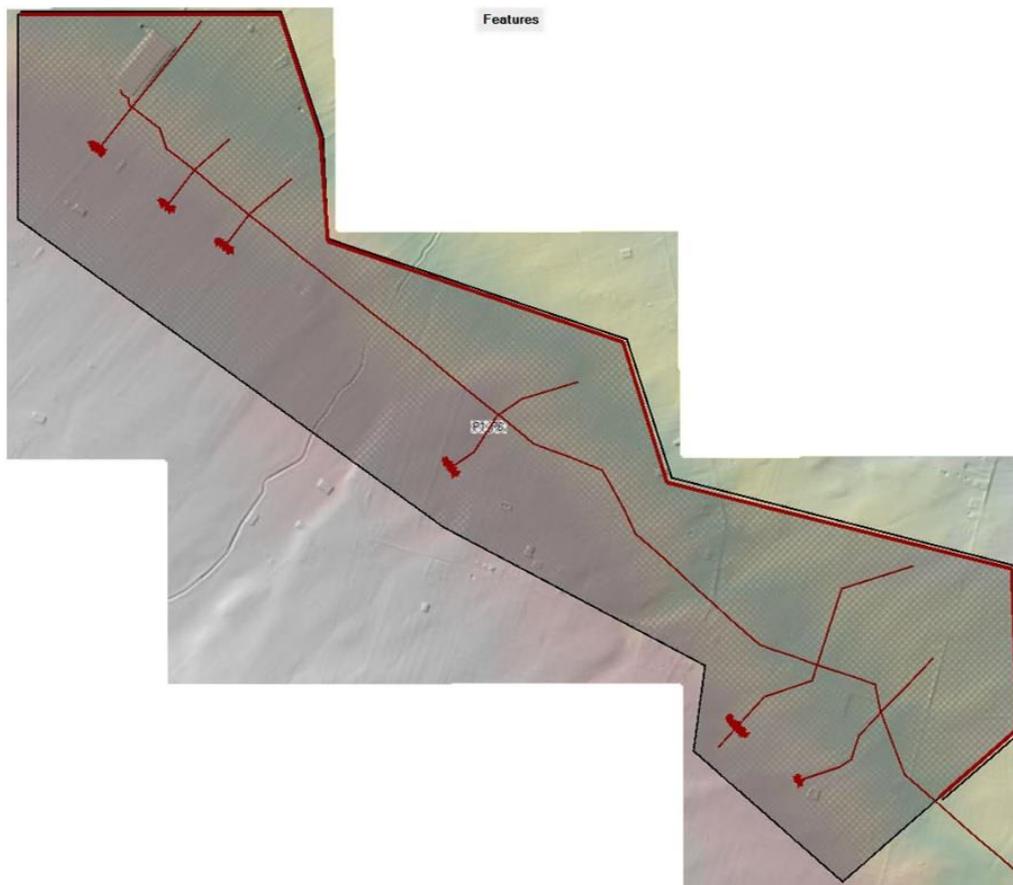
Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow P1*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino P1;
- *Inflow P2*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino P2;
- *Inflow P3*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino P3;
- *Inflow P4*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino P4;
- *Inflow P5*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino P5;
- *Inflow P6*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino P6;
- *Outflow P1-P6*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo.

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena ottenuti dall'analisi idrologica dei bacini P1, P2, P3, P4, P5 e P6, riportati nel paragrafo 4.3.1.2. Le break lines di inflow sono state poste a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con le aree a pericolosità idraulica.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 18 ore corrispondente alla durata dell'idrogramma più lungo P1 dell'intero evento di piena. In figura 5/2 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/2: Dominio computazionale "modello P1-P6"*

### **Modello R1-R2**

Nel "Modello R1-R2" è stata studiata l'area nord compresa tra la chilometrica 59.112 e la chilometrica 59.571. Nello specifico sono state studiate tutte le n.2 interferenze della condotta con le aree perimetrate a pericolosità idraulica ed interessate dai reticoli idrografici rispettivamente **R1 Canale Santa Giusta** e **R2 Affluente destro Canale Santa Giusta**.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 3 x 3 m. Mediante la funzione break lines sono stati ricalcati i tracciati dei n.2 reticoli idrografici interferenti con il tracciato della condotta ed è stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 2m in "far spacing") al fine di determinare con la massima precisione i valori di tiranti e velocità ricercati.

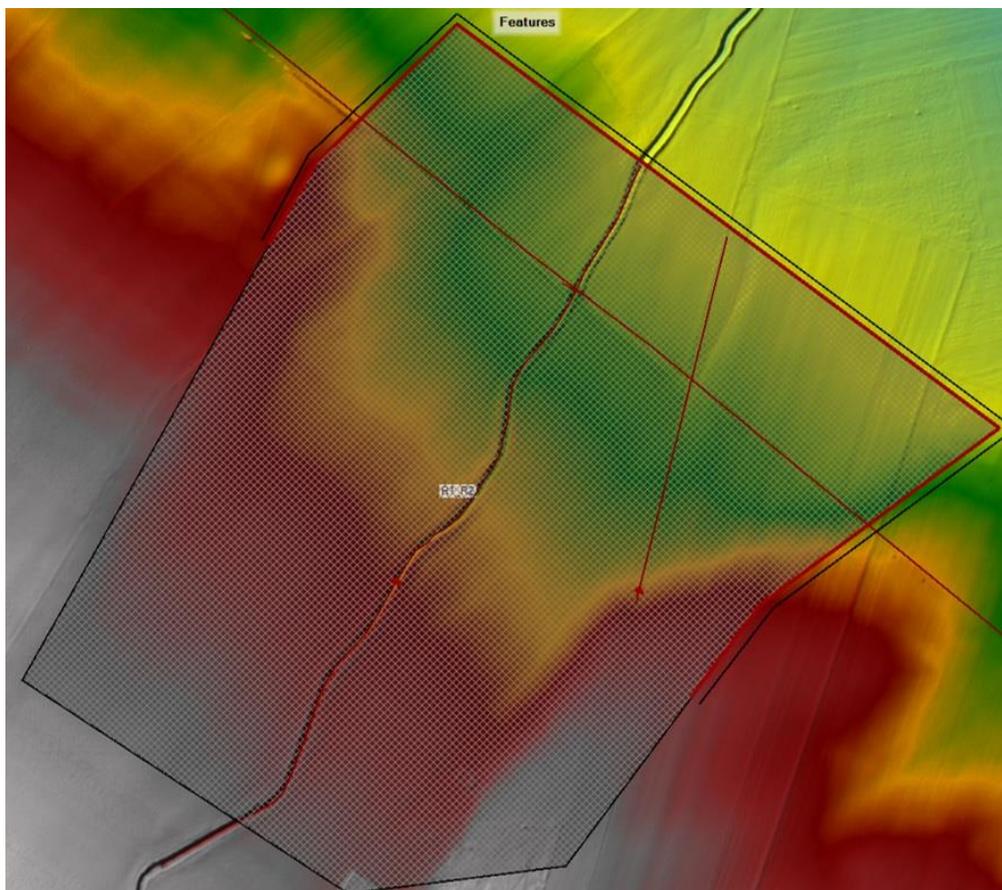
Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow R1*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R1;
- *Inflow R2*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R2;
- *Outflow R1-R2*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo;
- *Attraversamento R1*: è stato inserito l'attraversamento poderale in corrispondenza del reticolo R1 e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto riportato nell'elaborato "E.03 – Rilievo attraversamento R1".

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena ottenuti dall'analisi idrologica dei bacini R1 e R2, riportati nel paragrafo 4.3.1.2. Le break lines di inflow sono state poste a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con le aree a pericolosità idraulica e con i due tronchi di reticolo idrografico rispettivamente R1 Canale Santa Giusta e R2 Affluente destro canale Santa Giusta. La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 28 ore e 30 minuti corrispondente alla durata dell'idrogramma più lungo R1 dell'intero evento di piena. In figura 5/3 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/3: Dominio computazionale "Modello R1-R2"*

### **Modello R3-R4**

Nel "Modello R3-R4" è stata studiata l'area nord compresa tra la chilometrica 57.317,63 e la chilometrica 57.528,84. Nello specifico sono state studiate tutte le n.2 interferenze della condotta con le aree perimetrate a pericolosità idraulica ed interessate dai reticoli idrografici rispettivamente **R3 Canale Salice** e **R4 Canale Posticchio**.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 5 x 5 m. Mediante la funzione break lines sono stati ricalcati i tracciati dei n.2 reticoli idrografici interferenti con il tracciato della condotta ed è stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 2m in "far spacing") al fine di determinare con la massima precisione i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

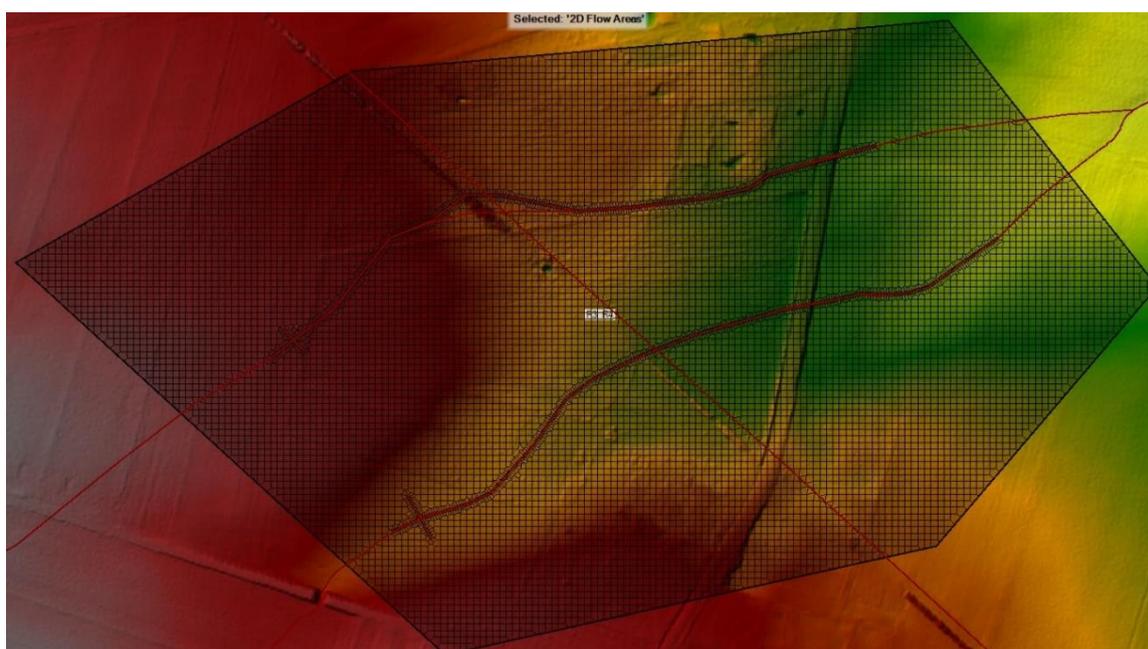
Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow R3*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R3;
- *Inflow R4*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R4;
- *Outflow R3-R4*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo.

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena ottenuti dall'analisi idrologica dei bacini R3 e R4, riportati nel paragrafo 4.3.1.2. Le break lines di inflow sono state poste a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con le aree a pericolosità idraulica e con i due tronchi di reticolo idrografico rispettivamente R3 Canale Salice e R4 Canale Posticchio.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 24 ore e 54 minuti corrispondente alla durata dell'idrogramma più lungo R4 dell'intero evento di piena. In figura 5/4 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/4: Dominio computazionale "Modello R3-R4"*

### **Modello R5**

Nel "Modello R5" è stata studiata l'area nord compresa tra la chilometrica 53.806,52 e la chilometrica 53.960,02. Nello specifico è stata studiata l'interferenza della condotta con le aree perimetrate a pericolosità idraulica ed interessate anche dal reticolo idrografico **R5 Canale CDB Capitanata**.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 5 x 5 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il tracciato del reticolo idrografico interferente con il tracciato della condotta ed è stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 3m in "far spacing") al fine di determinare con la massima precisione i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

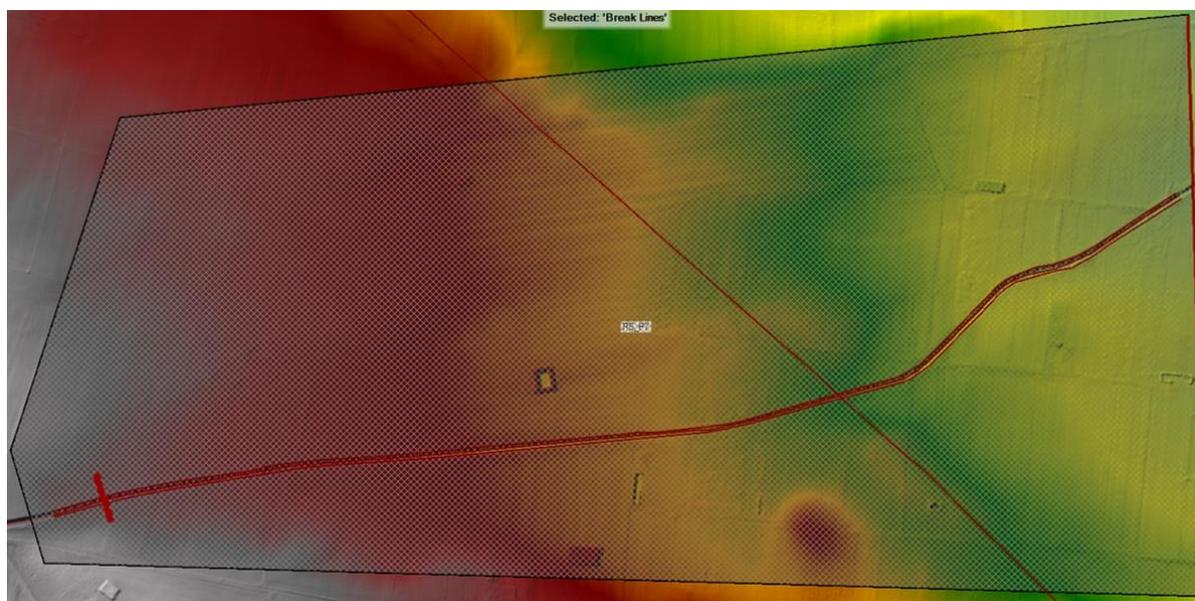
Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow R5*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R5;
- *Outflow R5*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo.

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione è stato utilizzato l'idrogramma di piena ottenuto dall'analisi idrologica del bacino R5 riportato nel paragrafo 4.3.1.2. La break lines di inflow è stata posta a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con le aree a pericolosità idraulica e con il tronco di reticolo idrografico R5 Canale CDB Capitanata.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 28 ore e 12 minuti corrispondente alla durata dell'idrogramma R5 dell'intero evento di piena. In figura 5/5 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/5: Dominio computazionale "Modello R5"*

### **Modello R6**

Nel "Modello R6" è stata studiata l'area nord compresa tra la chilometrica 52.835,02 e la chilometrica 52.867,52. Nello specifico è stata studiata l'interferenza della condotta con le aree perimetrate a pericolosità idraulica ed interessate anche dal reticolo idrografico **R6 Canale Ovile**.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 5 x 5 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il tracciato del reticolo idrografico e delle due sponde del canale Ovile interferente con il tracciato della condotta ed è stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 2m in "far spacing") al fine di determinare con la massima precisione i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

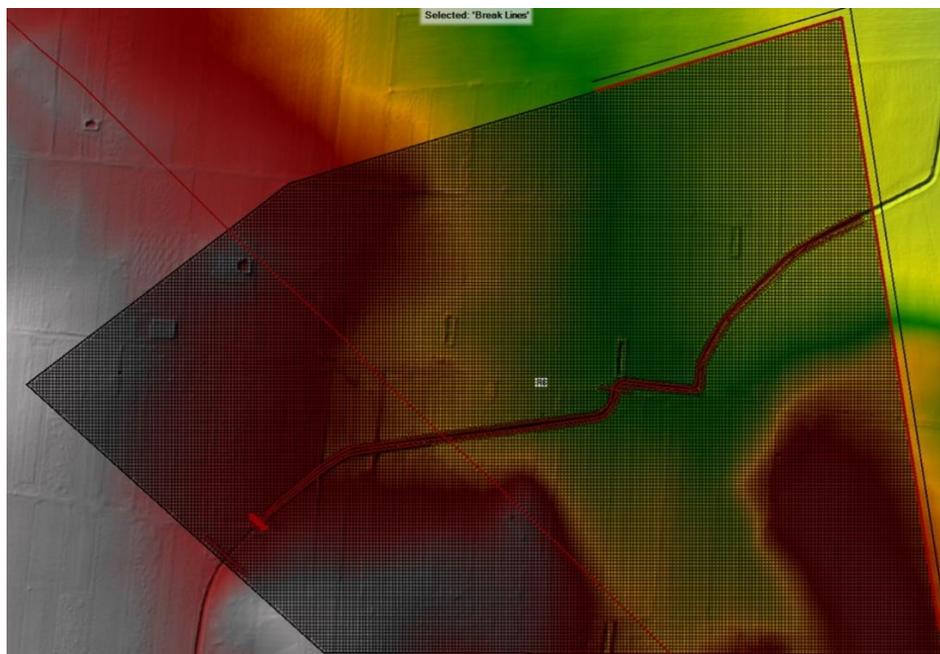
- *Inflow R6*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R6;
- *Outflow R6*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo;

- *Attraversamento R6*: è stato inserito l'attraversamento poderale in corrispondenza del reticolo R6 e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto riportato nell'elaborato "E.03 – Rilievo attraversamento R6".

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione è stato utilizzato l'idrogramma di piena ottenuto dall'analisi idrologica del bacino R6 riportato nel paragrafo 4.3.1.2.

La break lines di inflow è stata posta a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con le aree a pericolosità idraulica e con il tronco di reticolo idrografico R6 Canale Ovile. La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 26 ore e 54 minuti corrispondente alla durata dell'idrogramma R6 dell'intero evento di piena. In figura 5/6 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/6: Dominio computazionale "Modello R6"*

### **Modello R7-R8 Cervaro**

Nel "Modello R7-R8 Cervaro" è stata studiata l'area compresa tra la chilometrica 49.789,59 e la chilometrica 50.290,99. Nello specifico è stata studiata l'interferenza della condotta con le aree perimetrate a pericolosità idraulica ed interessate dai reticoli idrografici **R7 e R8 Torrente Cervaro**.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 5 x 5 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il tracciato dei due reticoli idrografici, delle strade e delle sponde del Torrente Cervaro interferente con il tracciato della condotta ed è stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 3m in "far spacing") in corrispondenza degli argini del Torrente Cervaro e in corrispondenza delle strade (in questo secondo caso assegnando 2m in "near spacing" e 5m in "far spacing") al fine di determinare con la massima precisione i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

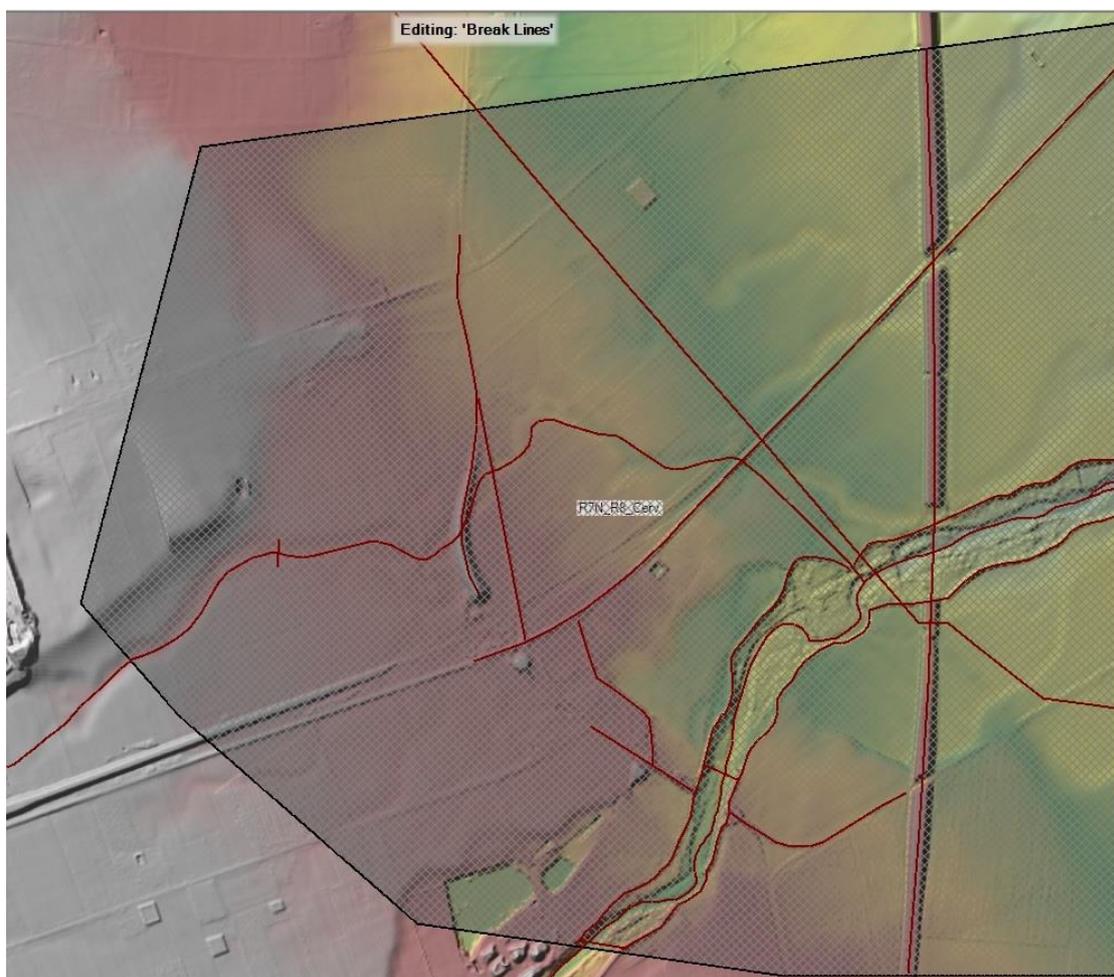
- *Inflow R7*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R7;
- *Inflow R8 Cervaro*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R8 del Torrente Cervaro;
- *Outflow R7-R8*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo;
- *Attraversamento R7N1*: è stato inserito l'attraversamento della variante della S.P. n.105 in corrispondenza del reticolo R7N e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto riportato nell'elaborato "E.03 – Rilievo attraversamento R7N1";
- *Attraversamento R7N2*: è stato inserito l'attraversamento della S.P. n.105 in corrispondenza del reticolo R7N e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto riportato nell'elaborato "E.03 – Rilievo attraversamento R7N2";
- *Attraversamento R7N3*: è stato inserito l'attraversamento della linea ferroviaria in corrispondenza del reticolo R7N e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto riportato nell'elaborato "E.03 – Rilievo attraversamento R7N3".
- *Attraversamento R8*: è stato inserito l'attraversamento della S. S. n.655 in destra idraulica del reticolo R8 Torrente Cervaro e mediante la funzione "Add new connection between 2D

areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto riportato nell'elaborato "E.03 – Rilievo attraversamento R8".

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena ottenuti dall'analisi idrologica del bacino R7 riportato nel paragrafo 4.3.1.2 e del Bacino R8 Torrente Cervaro riportato nel paragrafo 4.3.2. Le break lines di inflow sono state poste a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con le aree a pericolosità idraulica e con il tronco di reticolo idrografico R7 ed R8 Torrente Cervaro.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 28 ore corrispondente alla durata dell'idrogramma R8 Cervaro dell'intero evento di piena. In figura 5/7 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



**Fig. 5/7:** *Dominio computazionale "Modello R7-R8 Torrente Cervaro"*

### **Modello R9**

Nel "Modello R9" è stata studiata l'area compresa tra la chilometrica 46.525,44 e la chilometrica 46.638,44. Nello specifico è stata studiata l'interferenza della condotta con le aree perimetrata a pericolosità idraulica ed interessate dal reticolo idrografico **R9 Canale Antico Cervaro**.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 5 x 5 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il tracciato del reticolo idrografico del canale Antico Cervaro interferente con il tracciato della condotta ed è stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 2m in "far spacing") al fine di determinare con la massima precisione i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

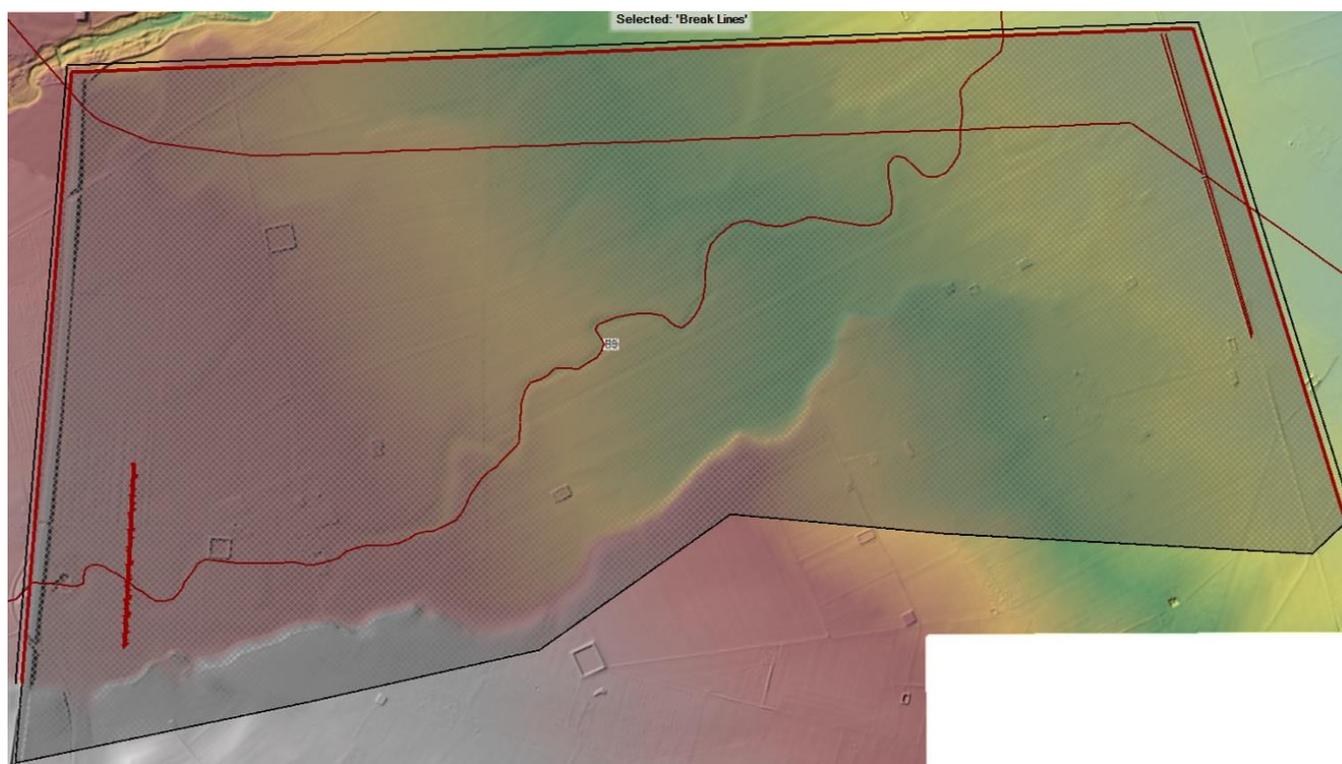
- *Inflow R9*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R9;
- *Outflow R9*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo;
- *Attraversamento R9.1*: è stato inserito l'attraversamento podereale in corrispondenza del reticolo R9 e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto riportato nell'elaborato "E.03 – Rilievo attraversamento R9.1";
- *Attraversamento R9.2*: è stato inserito l'attraversamento ferroviario in corrispondenza del reticolo R9 e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto riportato nell'elaborato "E.03 – Rilievo attraversamento R9.2".

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione è stato utilizzato l'idrogramma di piena ottenuto dall'analisi idrologica del bacino R9 riportato nel paragrafo 4.3.1.2. La break lines di inflow è

stata posta a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con le aree a pericolosità idraulica e con il tronco di reticolo idrografico R9 Canale Antico Cervaro.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 20 ore e 6 minuti corrispondente alla durata dell'idrogramma R9 dell'intero evento di piena. In figura 5/8 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/8: Dominio computazionale "Modello R9"*

### **Modello R10 Carapelle**

Nel "Modello R10 Carapelle" è stata studiata l'area compresa tra la chilometrica 40.210,74 e la chilometrica 40.385,33. Nello specifico è stata studiata l'interferenza della condotta con le aree perimetrate a pericolosità idraulica ed interessate dal reticolo idrografico **R10 Torrente Carapelle**.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 5 x 5 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il tracciato dei due reticoli idrografici nelle aree a monte dell'intersezione della condotta e del reticolo inerente il Torrente Carapelle in corrispondenza dell'intersezione con la condotta. La funzione break lines è stata impiegata anche in corrispondenza delle

sponde del Torrente Carapelle interferenti con il tracciato della condotta ed è stata infittita la mesh (assegnando 2m in "near spacing" e 4m in "far spacing") in corrispondenza degli argini del torrente al fine di determinare con la massima precisione i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

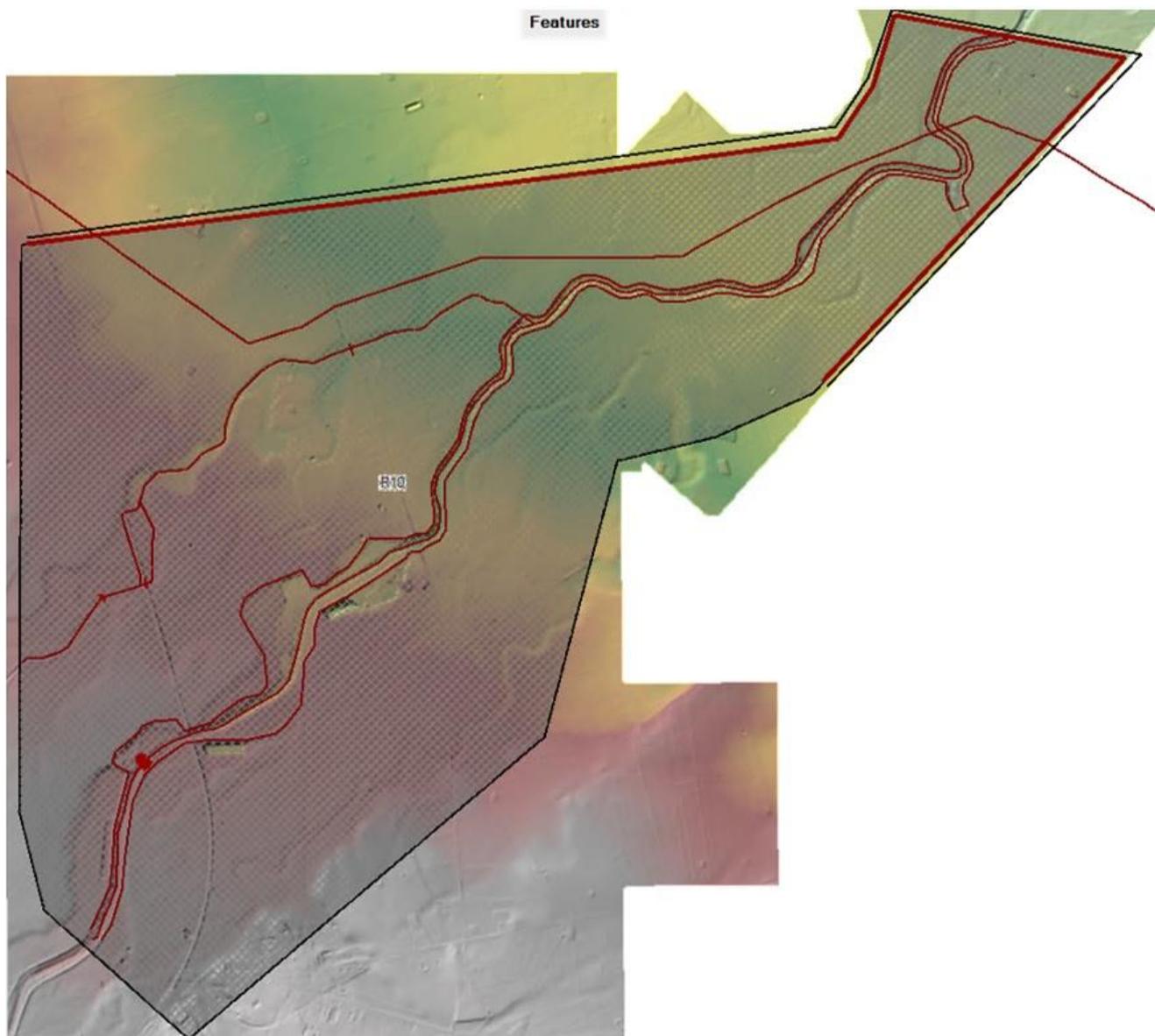
Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow R10 Carapelle*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R10. È stato suddiviso in due punti in forma proporzionata atteso che la modellazione è stata originata in un punto di monte ove il reticolo è suddiviso in due parti;
- *Outflow R10*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo;
- *Attraversamento ferrovia*: è stato inserito l'attraversamento della ferrovia in corrispondenza del reticolo in sinistra idraulica del Torrente Carapelle e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto rilevato;
- *Attraversamento S.P.n.86*: è stato inserito l'attraversamento della S.P. n.86 in corrispondenza del reticolo in sinistra idraulica del Torrente Carapelle e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto rilevato.

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione è stato utilizzato l'idrogramma di piena ottenuto dall'analisi idrologica del bacino R10 Torrente Carapelle riportato nel paragrafo 4.3.2. In particolare il 17% della portata è stata assegnata al reticolo in sinistra idraulica del Torrente Carapelle, mentre l'83% è stata assegnata al torrente Carapelle. La break line di inflow è stata posta a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con le aree a pericolosità idraulica e con il tronco di reticolo idrografico R10 Torrente Carapelle.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 32 ore e 30 minuti corrispondente alla durata dell'idrogramma R10 Carapelle dell'intero evento di piena. In figura 5/9 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/9: Dominio computazionale "Modello R10 Torrente Carapelle"*

### **Modello R11-R12**

Nel "Modello R11-R12" è stata studiata l'area compresa tra la chilometrica 33.944,75 e la chilometrica 35.268,52. Nello specifico è stata studiata l'interferenza della condotta con le aree

perimetrate a pericolosità idraulica ed interessate dai reticoli idrografici **R11 Fiume Canale Ponticello** e **R12 Canale Trompello**.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 3 x 3 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il tracciato dei due reticoli idrografici interferenti con il tracciato della condotta ed è stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 2m in "far spacing") in corrispondenza dei due canali al fine di determinare con la massima precisione i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

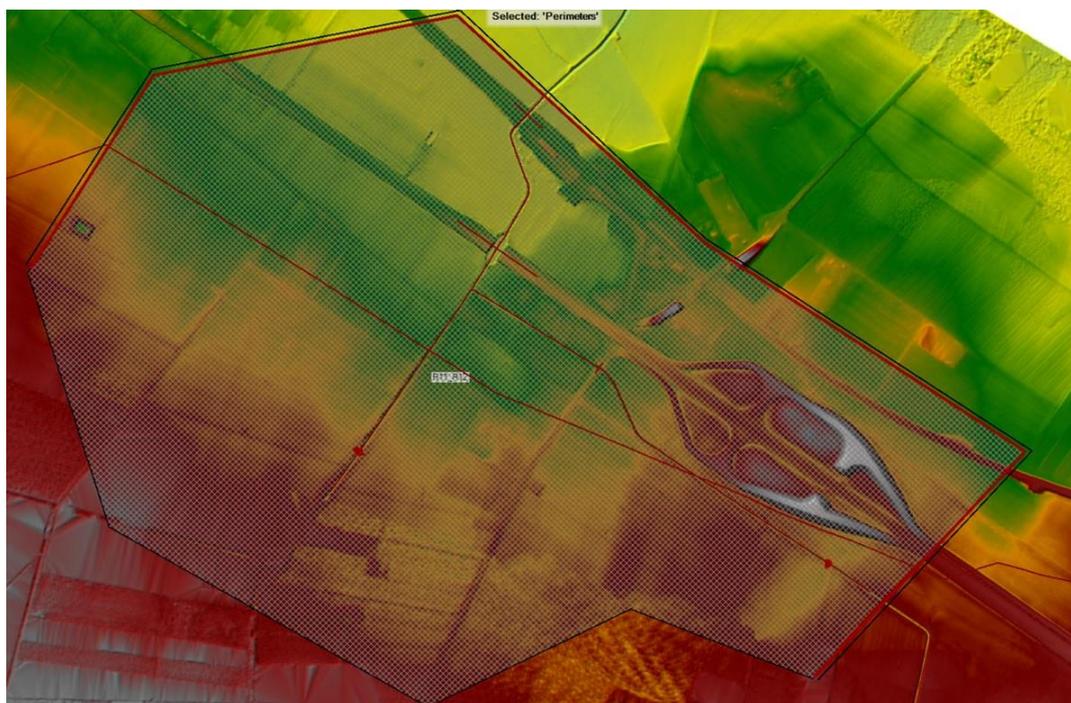
Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow R11*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R11;
- *Inflow R12*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R12;
- *Outflow R11-R12*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo;
- *Attraversamento R11.1*: è stato inserito l'attraversamento della S.S. n.16 in corrispondenza del reticolo R11 e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto riportato nell'elaborato "E.03 – Rilievo attraversamento R11.1";
- *Attraversamento R11.2*: è stato inserito l'attraversamento della linea ferroviaria Foggia Cerignola in corrispondenza del reticolo R11 e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto riportato nell'elaborato "E.03 – Rilievo attraversamento R11.2";
- *Attraversamento R12*: è stato inserito l'attraversamento della Strada Provinciale n.80 in corrispondenza del reticolo R12 e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto riportato nell'elaborato "E.03 – Rilievo attraversamento R12".

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena ottenuti dall'analisi idrologica del bacino R11 e del bacino R12 riportato nel paragrafo 4.3.1.2. Le break lines di inflow sono state poste a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con le aree a pericolosità idraulica e con il tronco di reticolo idrografico R11 ed R12.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 44 ore e 30 minuti corrispondente alla durata dell'idrogramma R11 dell'intero evento di piena. In figura 5/10 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/10: Dominio computazionale "Modello R11-R12"*

### **Modello R13**

Nel "Modello R13" è stata studiata l'area compresa tra la chilometrica 34.359,75 e la chilometrica 35.556,25. Nello specifico è stata studiata l'interferenza della condotta con le aree interessate dal reticolo idrografico **R13 Fiume Fosso Marana La Pidocchiosa**. Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 4 x 4 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il

tracciato del reticolo idrografico partendo dalle aree a monte dell'intersezione sino a valle dell'intersezione. E' stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 2m in "far spacing") in corrispondenza del reticolo R13 al fine di determinare con la massima precisioni i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

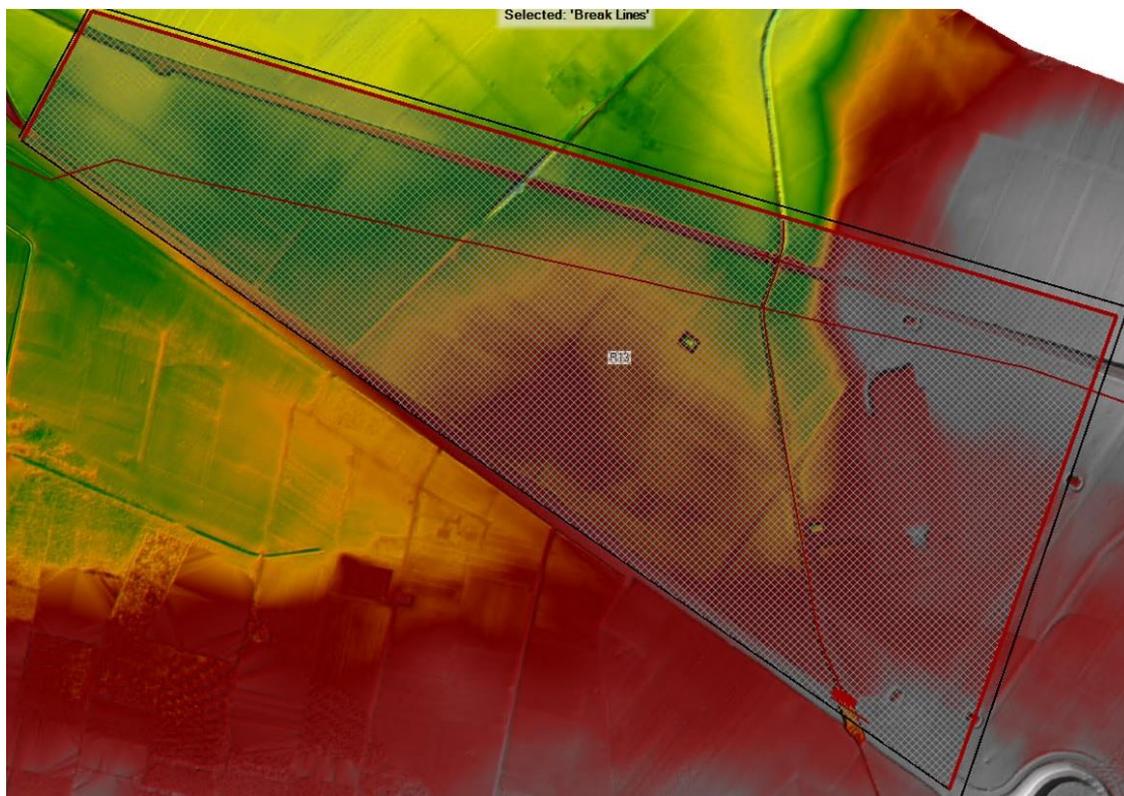
Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow R13*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R13;
- *Outflow R13*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo;
- *Attraversamento ferrovia*: è stato inserito l'attraversamento della ferrovia in corrispondenza del reticolo a valle dell'intersezione con la condotta e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto riportato nell'elaborato "E.03 – Rilievo attraversamento R13".

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione è stato utilizzato l'idrogramma di piena ottenuto dall'analisi idrologica del bacino R13 riportato nel paragrafo 4.3.1.2. La break line di inflow è stata posta a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con il tronco di reticolo idrografico R13.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 53 ore e 48 minuti corrispondente alla durata dell'idrogramma R13 dell'intero evento di piena. In figura 5/11 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/11: Dominio computazionale "Modello R13 "*

### **Modello R14-R15**

Nel "Modello R14-R15" è stata studiata l'area compresa tra la chilometrica 27.980,66 e la chilometrica 28.804,57. Nello specifico è stata studiata l'interferenza della condotta con le aree interessate dai reticoli idrografici **R14 Canale CDB Capitanata** e **R15 Canale Marana Ficora**.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 4 x 4 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il tracciato dei due reticoli idrografici interferenti con il tracciato della condotta ed è stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 2m in "far spacing") in corrispondenza dei due canali al fine di determinare con la massima precisione i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

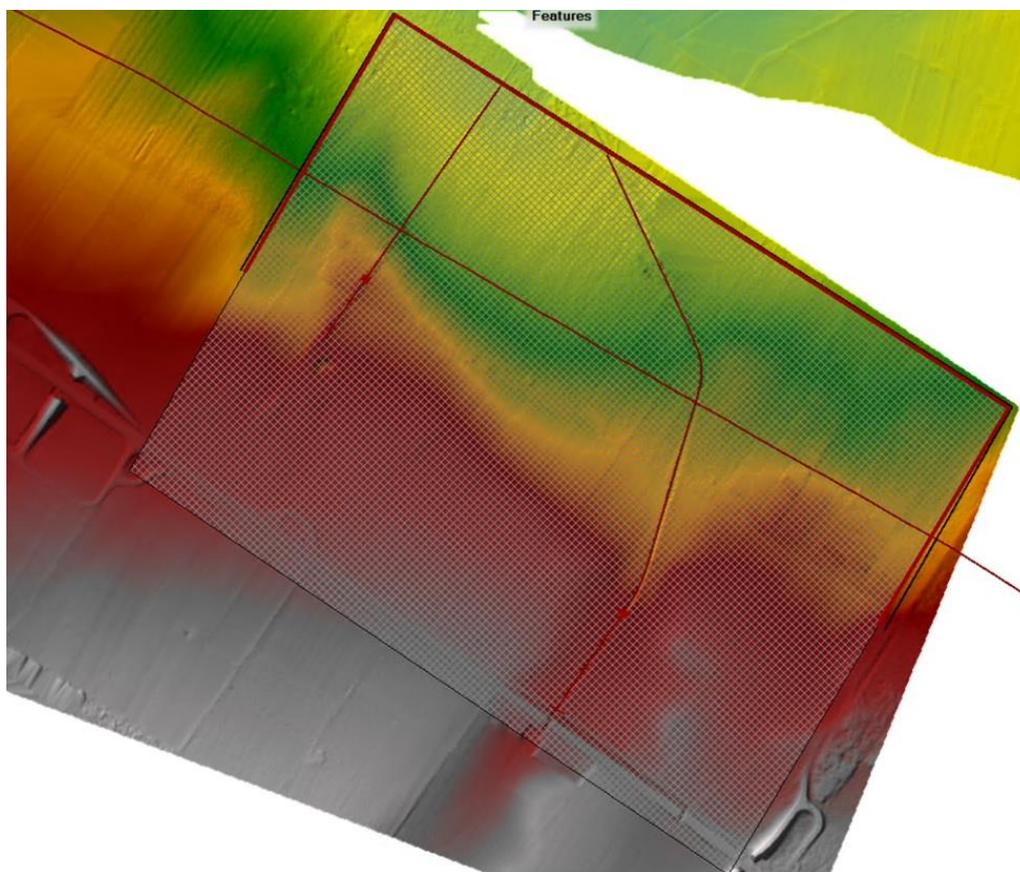
Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow R14*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R14;
- *Inflow R15*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R15;
- *Outflow R14-R15*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo.

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena ottenuti dall'analisi idrologica del bacino R14 e del Bacino R15 riportato nel paragrafo 4.3.1.2. Le break lines di inflow sono state poste a monte rispetto al tracciato della condotta in corrispondenza del tronco dei reticoli idrografici R14 ed R15.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 11 ore e 6 minuti corrispondente alla durata dell'idrogramma R15 dell'intero evento di piena. In figura 5/12 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/12: Dominio computazionale "Modello R14-R15"*

### **Modello R16**

Nel "Modello R16" è stata studiata l'area compresa tra la chilometrica 24.771,51 e la chilometrica 25.371,51. Nello specifico è stata studiata l'interferenza della condotta con le aree interessate dal reticolo idrografico **R16 Canale Marana Castello Superiore**. Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 5 x 5 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il tracciato del reticolo idrografico partendo dalle aree a monte dell'intersezione sino a valle dell'intersezione. E' stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 2m in "far spacing") in corrispondenza del reticolo R16 al fine di determinare con la massima precisioni i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

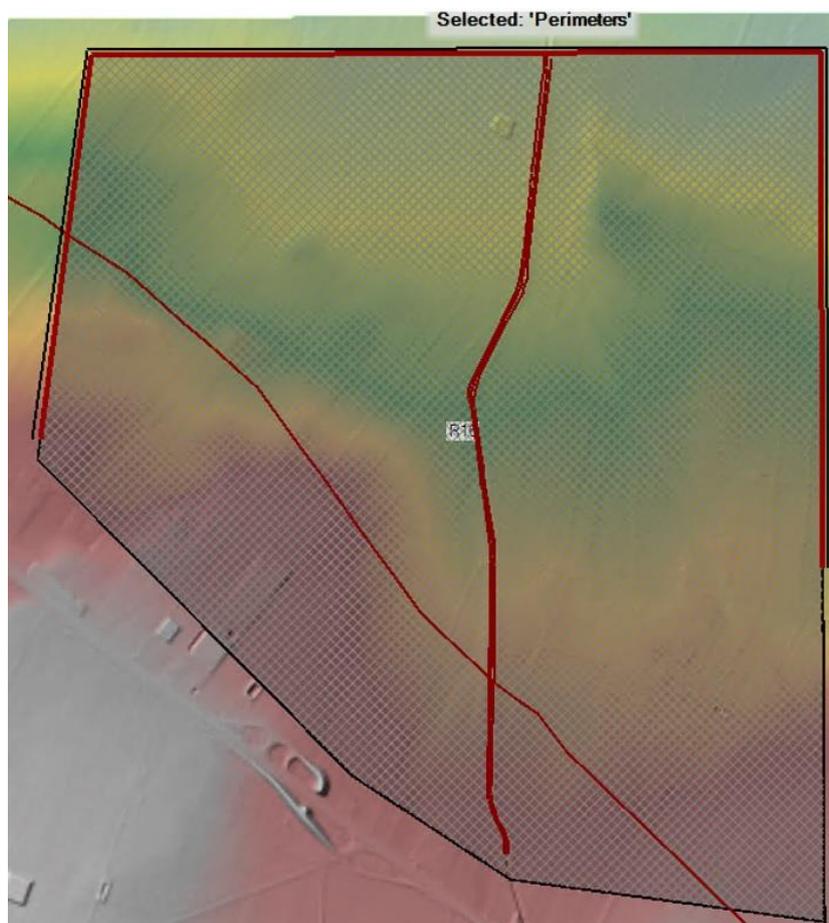
Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow R16*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R16;
- *Outflow R16*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo.

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione è stato utilizzato l'idrogramma di piena ottenuto dall'analisi idrologica del bacino R16 riportato nel paragrafo 4.3.1.2. La break line di inflow è stata posta a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con il tronco di reticolo idrografico R16.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 56 ore e 18 minuti corrispondente alla durata dell'idrogramma R16 dell'intero evento di piena. In figura 5/13 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/13: Dominio computazionale "Modello R16 "*

### **Modello R17-R18**

Nel "Modello R17-R18" è stata studiata l'area compresa tra la chilometrica 17.315,67 e la chilometrica 17.687,18. Nello specifico è stata studiata l'interferenza della condotta con le aree interessate dai reticoli idrografici **R17 Canale Acquamela** e **R18 Canale Fossa La Pila**.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 3 x 3 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il tracciato dei due reticoli idrografici interferenti con il tracciato della condotta ed è stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 2m in "far spacing") in corrispondenza dei due canali al fine di determinare con la massima precisione i valori di tiranti e velocità ricercati.

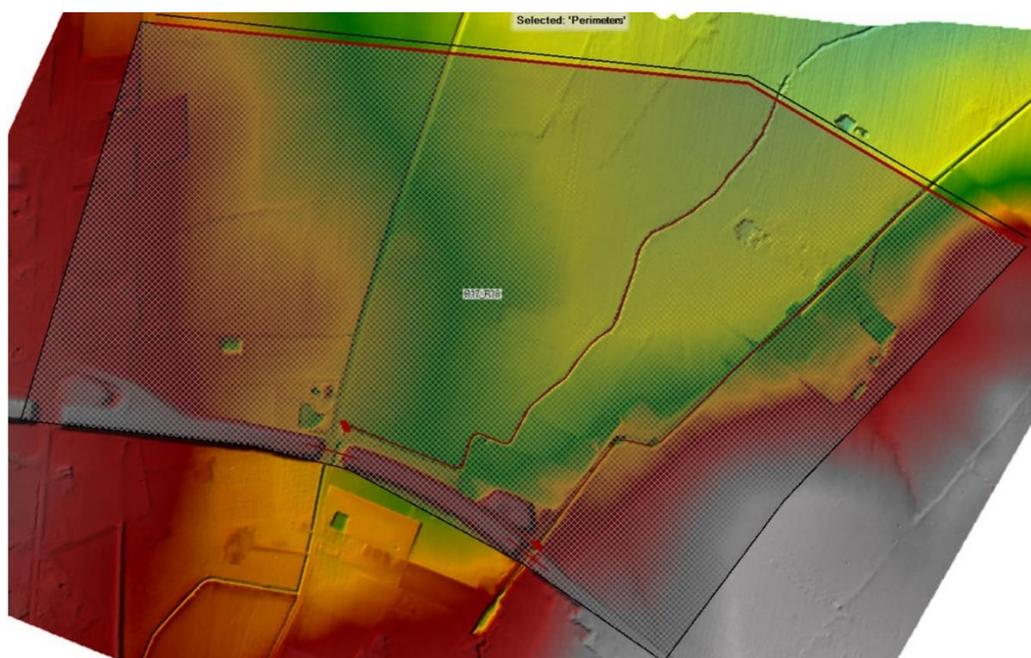
Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow R17*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R17;
- *Inflow R18*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R18;
- *Outflow R17-R18*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo.

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade. Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena ottenuti dall'analisi idrologica del bacino R17 e del Bacino R18 riportato nel paragrafo 4.3.1.2. Le break lines di inflow sono state poste a monte rispetto al tracciato della condotta in corrispondenza del tronco dei reticoli idrografici R17 ed R18.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 33 ore e 42 minuti corrispondente alla durata dell'idrogramma R17 dell'intero evento di piena. In figura 5/14 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



**Fig. 5/14:** *Dominio computazionale "Modello R17-R18"*

### **Modello pertinenza fluviale**

Nel "Modello pertinenza fluviale" è stata studiata l'area compresa tra la chilometrica 6.359,80 e la chilometrica 7.317,25. Nello specifico, poiché il tracciato della condotta ricade nella fascia di pertinenza fluviale del reticolo idrografico del **Canale CDB Capitanata**, ad una distanza inferiore a 75 m dall'asse dell'asta fluviale, è stata condotta una verifica atta ad accertare che non vi sia la propagazione dell'onda di piena nella fascia di pertinenza della condotta a farsi.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati la Carta Tecnica Regionale a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 5 x 5 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il tracciato del reticolo idrografico partendo dalle aree a monte dell'intersezione sino a valle dell'intersezione. E' stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 2m in "far spacing") in corrispondenza del reticolo al fine di determinare con la massima precisioni i valori di tiranti e velocità ricercati in prossimità della condotta.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

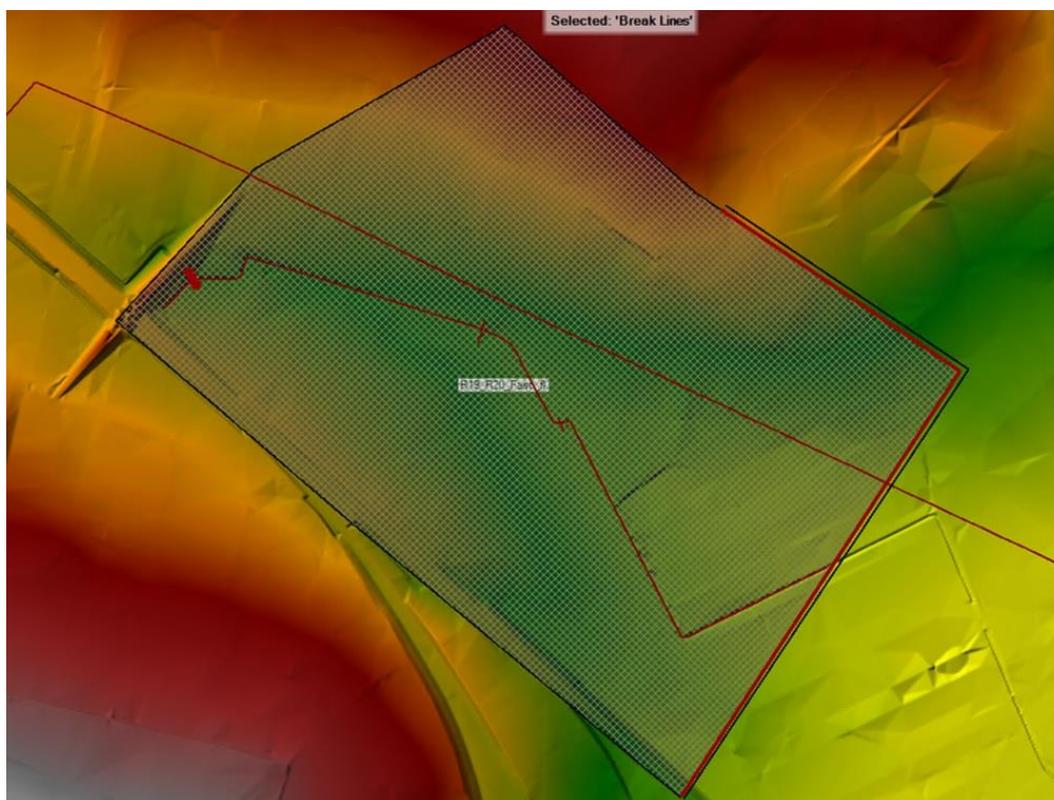
Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow*: per assegnare l'idrogramma di piena. A vantaggio di sicurezza è stato impiegato l'idrogramma di piena relativo al bacino R20;
- *Outflow*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo.

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione è stato utilizzato l'idrogramma di piena ottenuto dall'analisi idrologica del bacino R21 riportato nel paragrafo 4.3.1.2. La break line di inflow è stata posta a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'autostrada A14.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 9 ore e 54 minuti corrispondente alla durata dell'idrogramma R20 dell'intero evento di piena. In figura 5/15 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/15: Dominio computazionale "Modello Pertinenza Fluviale "*

### **Modello R19**

Nel "Modello R19" è stata studiata l'area compresa tra la chilometrica 6284,49 e la chilometrica 6382,8. Nello specifico è stata studiata l'interferenza della condotta con le aree interessate dal reticolo idrografico **R19 Canale 8**. Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 5 x 5 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il tracciato del reticolo idrografico partendo dalle aree a monte dell'intersezione sino a valle dell'intersezione. E' stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 2m in "far spacing") in corrispondenza del reticolo R19 al fine di determinare con la massima precisioni i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

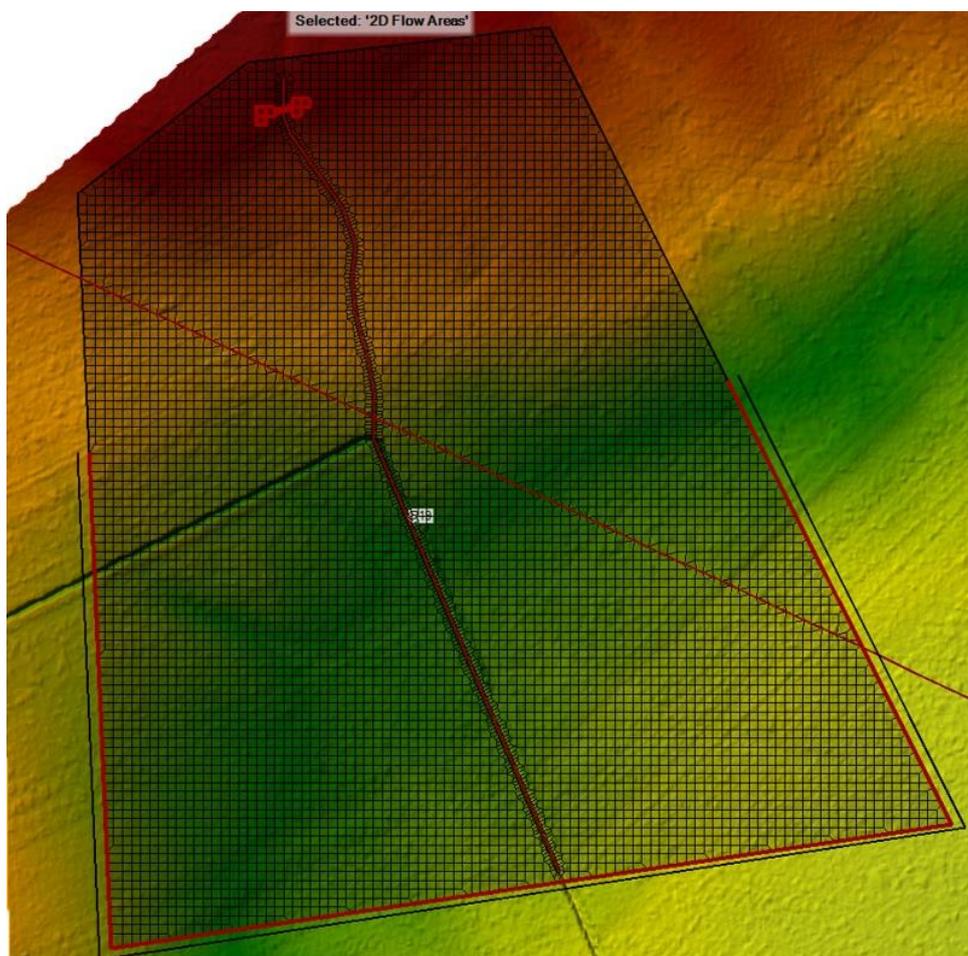
Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow R19*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R19;
- *Outflow R19*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo.

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione è stato utilizzato l'idrogramma di piena ottenuto dall'analisi idrologica del bacino R19 riportato nel paragrafo 4.3.1.2. La break line di inflow è stata posta a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con il tronco di reticolo idrografico R19.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 9 ore e 54 minuti corrispondente ad una durata doppia rispetto alla durata dell'idrogramma R19 dell'intero evento di piena. In figura 5/16 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/16: Dominio computazionale "Modello R19 "*

### **Modello R20**

Nel "Modello R20" è stata studiata l'area compresa tra la chilometrica 5.793,65 e la chilometrica 5.825,65. Nello specifico è stata studiata l'interferenza della condotta con le aree interessate dal reticolo idrografico **R20 Canale CDB Capitanata**. Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 5 x 5 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il tracciato del reticolo idrografico partendo dalle aree a monte dell'intersezione sino a valle dell'intersezione. E' stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 2m in "far spacing") in corrispondenza del reticolo R20 al fine di determinare con la massima precisioni i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow R20*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R20;
- *Outflow R20*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo.

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione è stato utilizzato l'idrogramma di piena ottenuto dall'analisi idrologica del bacino R20 riportato nel paragrafo 4.3.1.2. La break line di inflow è stata posta a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con il tronco di reticolo idrografico R20.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 8 ore e 42 minuti corrispondente alla durata dell'idrogramma R20 dell'intero evento di piena. In figura 5/17 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/17: Dominio computazionale "Modello R20 "*

### **Modello R21**

Nel "Modello R21" è stata studiata l'area compresa tra la chilometrica 5.102,75 e la chilometrica 5.682,85. Nello specifico è stata studiata l'interferenza della condotta con le aree interessate dal reticolo idrografico **R21 Canale 8**. Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 4 x 4 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il tracciato del reticolo

idrografico partendo dalle aree a monte dell'intersezione sino a valle dell'intersezione. E' stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 2m in "far spacing") in corrispondenza del reticolo R21 al fine di determinare con la massima precisioni i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

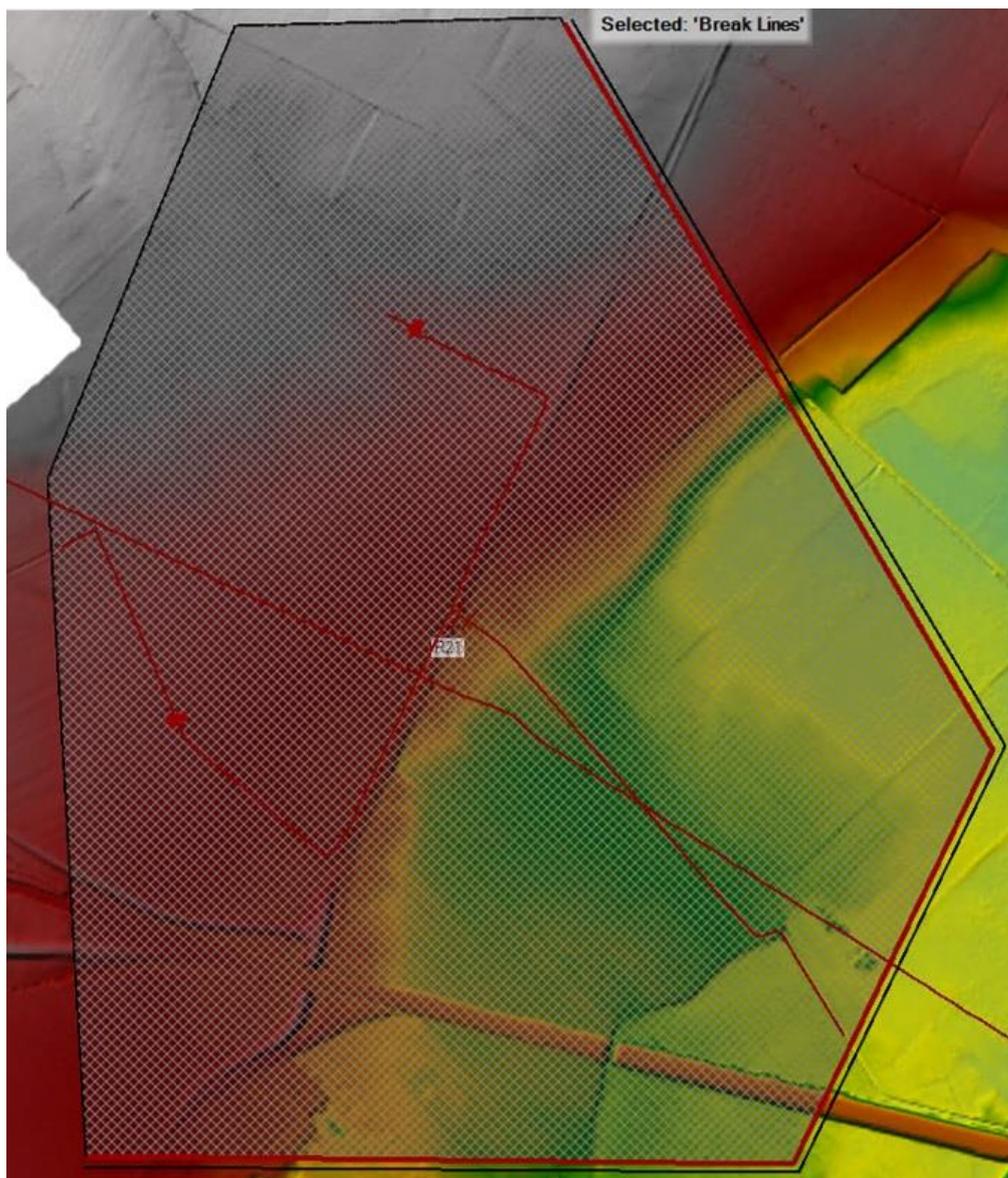
Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow R21*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R21;
- *Outflow R21*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo;
- *Attraversamento S.P. n.64*: è stato inserito l'attraversamento della S.P. n.64 in corrispondenza del reticolo a valle dell'intersezione con la condotta e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto riportato nell'elaborato "E.03 – Rilievo attraversamento R21.1";
- *Attraversamento Strada poderale*: è stato inserito l'attraversamento della strada poderale adiacente la S.P. n.64 in corrispondenza del reticolo a valle dell'intersezione con la condotta e mediante la funzione "Add new connection between 2D areas/storage areas" è stato possibile ricostruirne la geometria in *Geometric data*, secondo quanto riportato nell'elaborato "E.03 – Rilievo attraversamento R21.2".

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione è stato utilizzato l'idrogramma di piena ottenuto dall'analisi idrologica del bacino R21 riportato nel paragrafo 4.3.1.2. Poiché a monte dei due attraversamenti il canale è suddiviso in due rami che convergono nel Canale 8, l'idrogramma di piena è stato suddiviso in due aliquote uguali e pertanto sono state applicate due break lines di inflow. Le predette break lines di inflow sono state poste a monte degli attraversamenti e quindi a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con il tronco di reticolo idrografico R21.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 9 ore e 54 minuti corrispondente alla durata dell'idrogramma R21 dell'intero evento di piena. In figura 5/18 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/18: Dominio computazionale "Modello R21"*

### **Modello R22 Ofanto**

Nel "Modello R22 Cervaro" è stata studiata l'area compresa tra la chilometrica 3.332,75 e la chilometrica 5.102,75. Nello specifico è stata studiata l'interferenza della condotta con le aree perimetrate a pericolosità idraulica ed interessate dall'asta fluviale R22 Fiume Ofanto.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 10 x 10 m. Mediante la funzione break lines è stato ricalcato il tracciato dell'asta fluviale e delle sponde del Fiume Ofanto, nonché dell'autostrada A14 interferenti con il tracciato della condotta ed è stata infittita la mesh (assegnando 2m in "near spacing" e 4m in "far spacing") in corrispondenza degli argini del Fiume Ofanto e in corrispondenza della predetta autostrada al fine di determinare con la massima precisioni i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

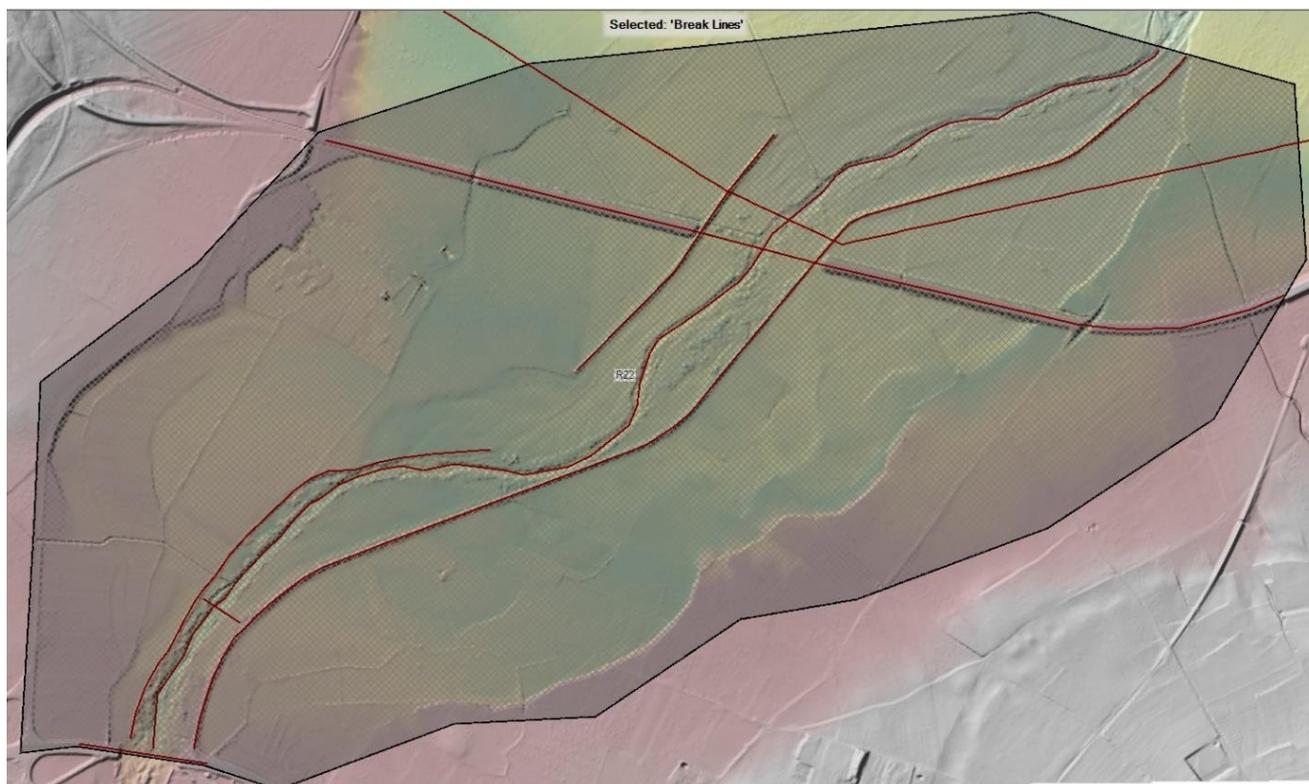
Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow R22*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R22 Ofanto;
- *Outflow R22*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo.

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione è stato utilizzato l'idrogramma di piena ottenuti dall'analisi idrologica del bacino R22 Fiume Ofanto riportato nel paragrafo 4.3.2. La break line di inflow è stata posta a monte rispetto al tracciato della condotta a circa 2,5 km da quest'ultima, in corrispondenza dell'interferenza con le aree a pericolosità idraulica e con il tronco di reticolo idrografico R22 Fiume Ofanto.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 65 ore corrispondente alla durata dell'idrogramma R22 Ofanto dell'intero evento di piena. In figura 5/19 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/19: Dominio computazionale "Modello R22 Fiume Ofanto"*

### **Modello R23-R24-R25**

Nel "Modello R23-R24-R25" è stata studiata l'area nord compresa tra la chilometrica 1.145,87 e la chilometrica 3.307,07. Nello specifico sono state studiate tutte le n.3 interferenze della condotta con le aree interessate dai reticoli idrografici rispettivamente **R23 Canale Lamapopoli**, **R24 Canale CDB Capitanata** e **R25 Canale CDB Capitanata**.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il rilievo LIDAR dell'area di interesse a cui si è accompagnata una campagna di rilievi in sito. In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con mesh di calcolo aventi dimensioni di 5 x 5 m. Mediante la funzione break lines sono stati ricalcati i tracciati dei n.3 reticoli idrografici interferenti con il tracciato della condotta ed è stata infittita la mesh (assegnando 1m in "near spacing" e 2m in "far spacing") al fine di determinare con la massima precisione i valori di tiranti e velocità ricercati.

Definito il modello digitale del terreno si è ricostruita la conformazione dei luoghi attraverso l'impiego di alcune funzioni del modello di calcolo.

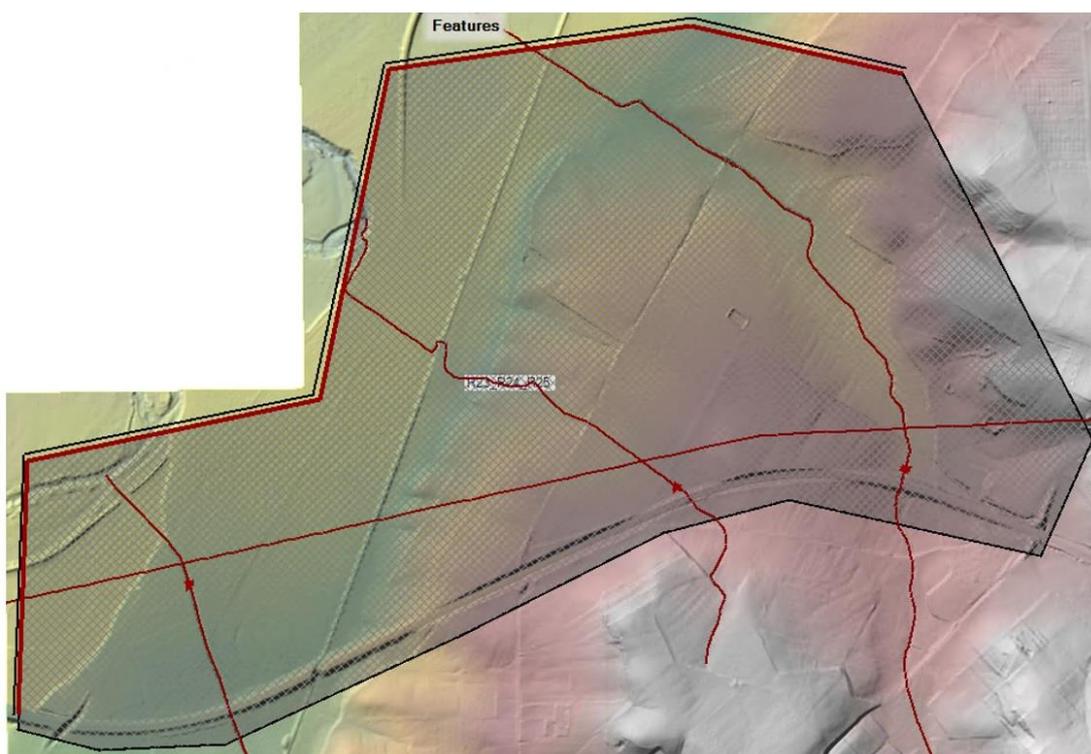
Mediante la funzione break lines sono stati implementati nel modello di calcolo i seguenti elementi:

- *Inflow R23*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R23;
- *Inflow R24*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R24;
- *Inflow R25*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino R25;
- *Outflow R23-R25*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo.

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,06 \text{ s/m}^{1/3}$  per il terreno e per le strade.

Per quanto attiene la portata immessa per la simulazione sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena ottenuti dall'analisi idrologica dei bacini R23, R24 e R25, riportati nel paragrafo 4.3.1.2. Le break lines di inflow sono state poste a monte rispetto al tracciato della condotta in prossimità dell'interferenza con le aree interessate dai tre tronchi di reticolo idrografico rispettivamente R23 Canale Lamapopoli, e R24 Canale CDB Capitanata e R25 Canale CDB Capitanata.

La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 9 ore corrispondente alla durata dell'idrogramma più lungo R23 dell'intero evento di piena. In figura 5/20 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Fig. 5/20: Dominio computazionale "Modello R23-R24-R25"*

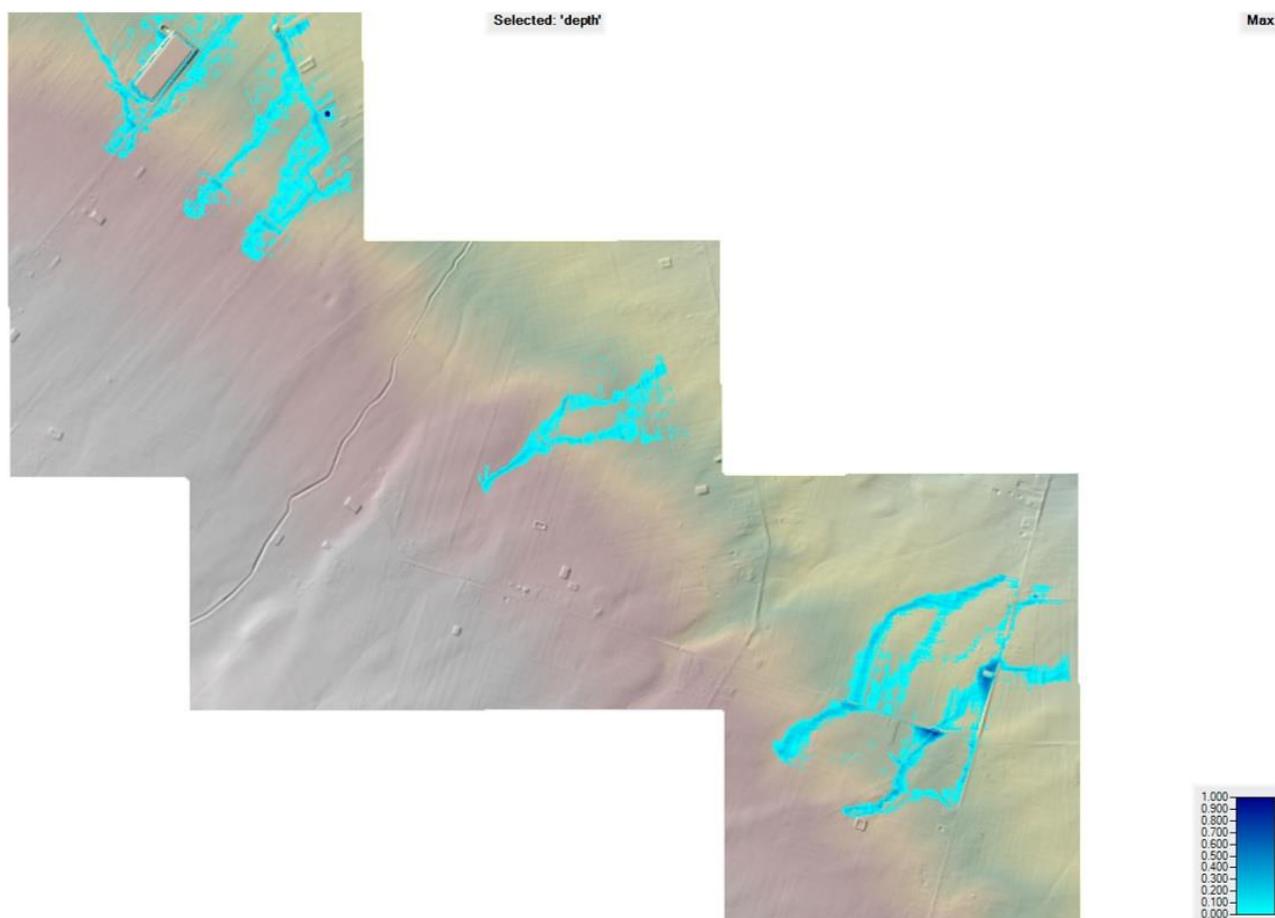
Nell'elaborato *E.04 - Planimetrie input HEC RAS* sono stati riportati tutti i dati di input inseriti nelle modellazioni.

### 5.1.3 RISULTATI

Definite le geometrie dei modelli si è proceduto con le simulazione attraverso l'impiego del software HEC-RAS 2D.

#### **Modello P1-P6**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello P1-P6 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/21).



**Fig. 5/21:** Risultati modellazione "modello P1-P6"  $Tr=200$  anni

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena in accordo con le perimetrazioni del PAI. In particolare è stato riscontrato che i tiranti sono contenuti e inferiori al metro di profondità. Anche le velocità di propagazione dei sei fronti di piena si mantengono molto basse e inferiori a 0,6 m/s. In particolare:

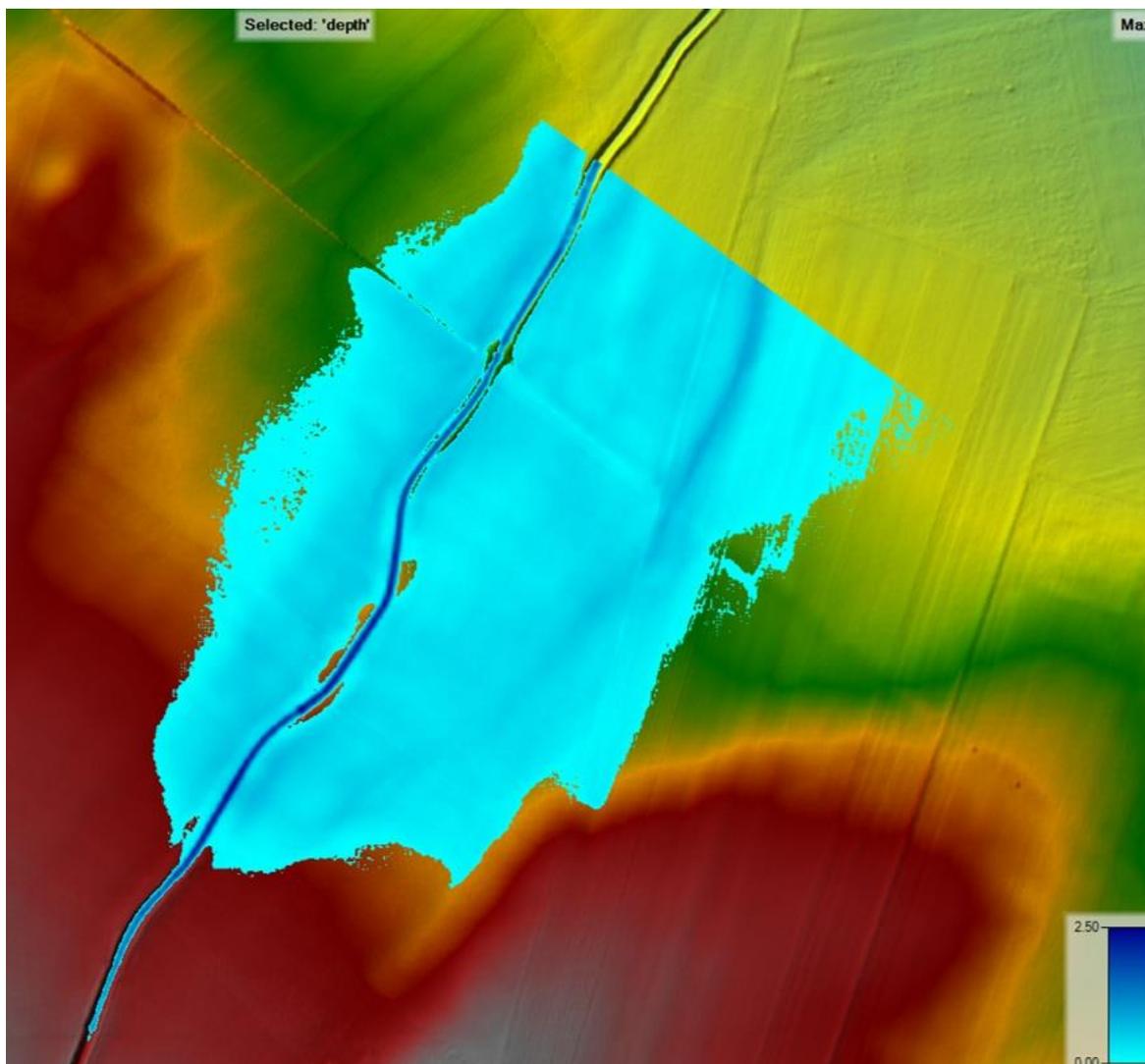
- l'intersezione della condotta con la pericolosità idraulica **P1** (da km 61.019,27 al km 61.079,87) si riscontra un **tirante di 0,25 m ed una velocità di propagazione di 0,34 m/s**;
- l'intersezione della condotta con la pericolosità idraulica **P2** (da km 60.569,66 al km 60.624,27) si riscontra un **tirante di 0,13 m ed una velocità di propagazione di 0,56 m/s**;
- l'intersezione della condotta con la pericolosità idraulica **P3** (da km 60.212,92 al km 60.360,25) si riscontra un **tirante di 0,12 m ed una velocità di propagazione di 0,60 m/s**;
- l'intersezione della condotta con la pericolosità idraulica **P4** (da km 58.575,11 a 58.707,76) si riscontra un **tirante di 0,20 m ed una velocità di propagazione di 0,51 m/s**;
- l'intersezione della condotta con la pericolosità idraulica **P5** (da km 56.655,17 a 56.730,47) si riscontra un **tirante di 0,18 m ed una velocità di propagazione di 0,54 m/s**;
- l'intersezione della condotta con la pericolosità idraulica **P6** (da km 56.204,44 a 56.282,84) si riscontra un **tirante di 0,84 m ed una velocità di propagazione di 0,22 m/s**;

In definitiva i risultati del modello P1-P6 evidenziano che nelle fasce di propagazione delle onde di piena i tiranti e le velocità hanno valori molto modesti e non palesano particolari situazioni di criticità. In corrispondenza della fascia a pericolosità idraulica P1 sono presenti i pozzetti per l'attraversamento mediante tecnica di spingitubo della S.P. n.115 che costeggia il serbatoio di Foggia. Pertanto la fascia individuata con la dicitura P1 sarà attraversata mediante tecnica No-Dig. La simulazione ha mostrato che laddove saranno realizzati i pozzetti i tiranti sono nell'ordine di qualche centimetro pertanto trascurabili. Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.1.1*, *E.05.1.2*, *E.05.1.3 - Planimetria Aree inondabili - Modello P1-P6*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 – Quaderno Sezioni*.

### **Modello R1-R2**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R1-R2 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con

indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/22).



*Fig. 5/22: Risultati modellazione "modello R1-R2"  $Tr=200$  anni*

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena in accordo con le perimetrazioni del PAI. In particolare:

- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R1 Canale Santa Giusta** (km 59.434,86) si riscontra un **tirante di 1,16 m ed una velocità di propagazione di 2,63 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R2 Affluente in dx Santa Giusta** (km 59.247,81) si riscontra un **tirante di 0,74 m ed una velocità di propagazione di 1,32 m/s**;

Nel complesso l'estensione delle aree allagabili in corrispondenza dell'intersezione con l'asse della condotta si estendono per circa 400 m. In sinistra idraulica al Canale Santa Giusta sarà posizionato un pozzetto di scarico che sebbene secondo le perimetrazioni PAI rientra in area perimetrata ad alta pericolosità idraulica, lo steso si troverà in un punto dove l'orografia del terreno risulta sopraelevata rispetto all'area circostante e pertanto con tiranti trascurabili. Si rimanda al capitolo successivo per la definizione degli interventi di protezione dell'alveo. Si precisa che nel caso in questione per il reticolo R1 sarà ripristinata la sezione in calcestruzzo esistente nel punto di attraversamento con la condotta a farsi. Nella seguente immagine si ripropone la sezione del canale in corrispondenza dell'intersezione della condotta a farsi con il reticolo R1.



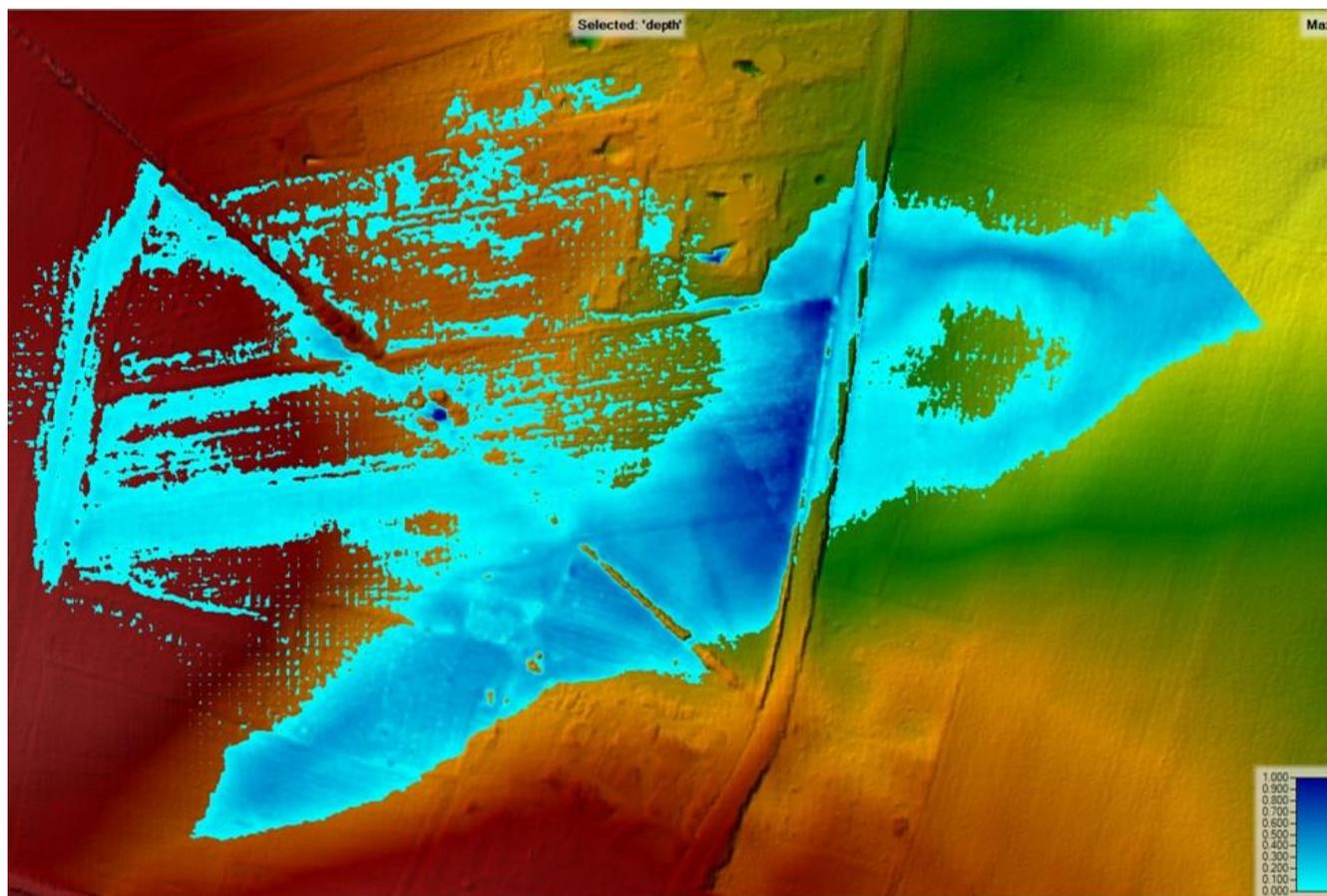
*Fig. 5/23: Canale Santa Giusta (R1) in corrispondenza del punto di attraversamento della condotta*

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.2 - Planimetria Aree inondabili - Modello R1-R2*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 – Quaderno Sezioni*.

### **Modello R3-R4**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R3-R4 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con

indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/24).



*Fig. 5/24: Risultati modellazione "modello R3-R4" Tr=200 anni*

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena in accordo con le perimetrazioni del PAI.

In particolare è stato riscontrato che i tiranti sono contenuti e inferiori al metro di profondità.

Anche le velocità di propagazione dei due fronti di piena si mantengono molto basse e inferiori a 1,0 m/s. In particolare:

- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R3 Canale Salice** (km 57.558,48) si riscontra un **tirante di 0,16 m ed una velocità di propagazione di 0,24 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R4 Canale Posticchio** (km 57.401,18) si riscontra un **tirante di 0,45 m ed una velocità di propagazione di 0,79 m/s**;

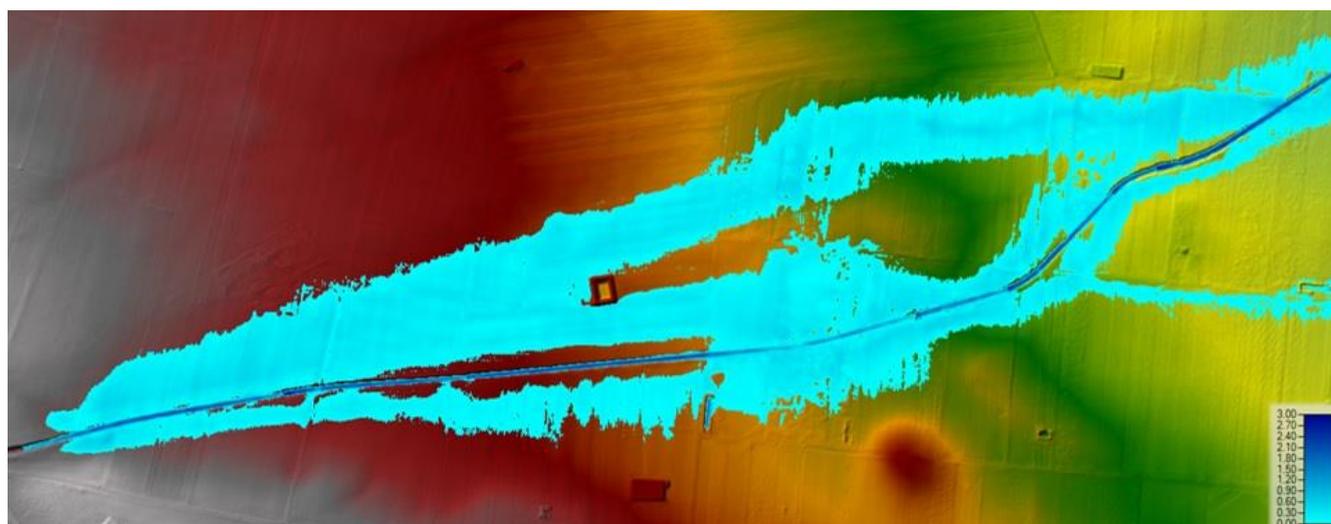
In definitiva i risultati del modello R3-R4 evidenziano che nelle fasce di propagazione delle onde di piena i tiranti e le velocità hanno valori molto modesti e non palesano particolari situazioni di criticità. In particolare si possono ritenere trascurabili le azioni dell'onda di piena in corrispondenza del Reticolo R3 Canale Salice peraltro non regimentato. In corrispondenza del Canale Posticchio (R4) in sinistra idraulica è presente un pozzetto di scarico che ricade in area perimetrata a media pericolosità idraulica. I risultati della modellazione evidenziano in quel punto tiranti nell'ordine di 10 cm.

Nel complesso l'estensione delle aree allagabili in corrispondenza dell'intersezione con l'asse della condotta si estendono per circa 200 m. Nel capitolo successivo si procederà all'analisi degli interventi di protezione degli alvei.

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.3 - Planimetria Aree inondabili - Modello R3-R4*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 - Quaderno Sezioni*.

### **Modello R5**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R5 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/25).



*Fig. 5/25: Risultati modellazione "modello R5" Tr=200 anni*

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena in accordo con le perimetrazioni del PAI.

In particolare è stato riscontrato che i tiranti sono contenuti e inferiori al metro di profondità. Anche le velocità di propagazione dei due fronti di piena si mantengono molto basse e inferiori a 1,0 m/s. In particolare:

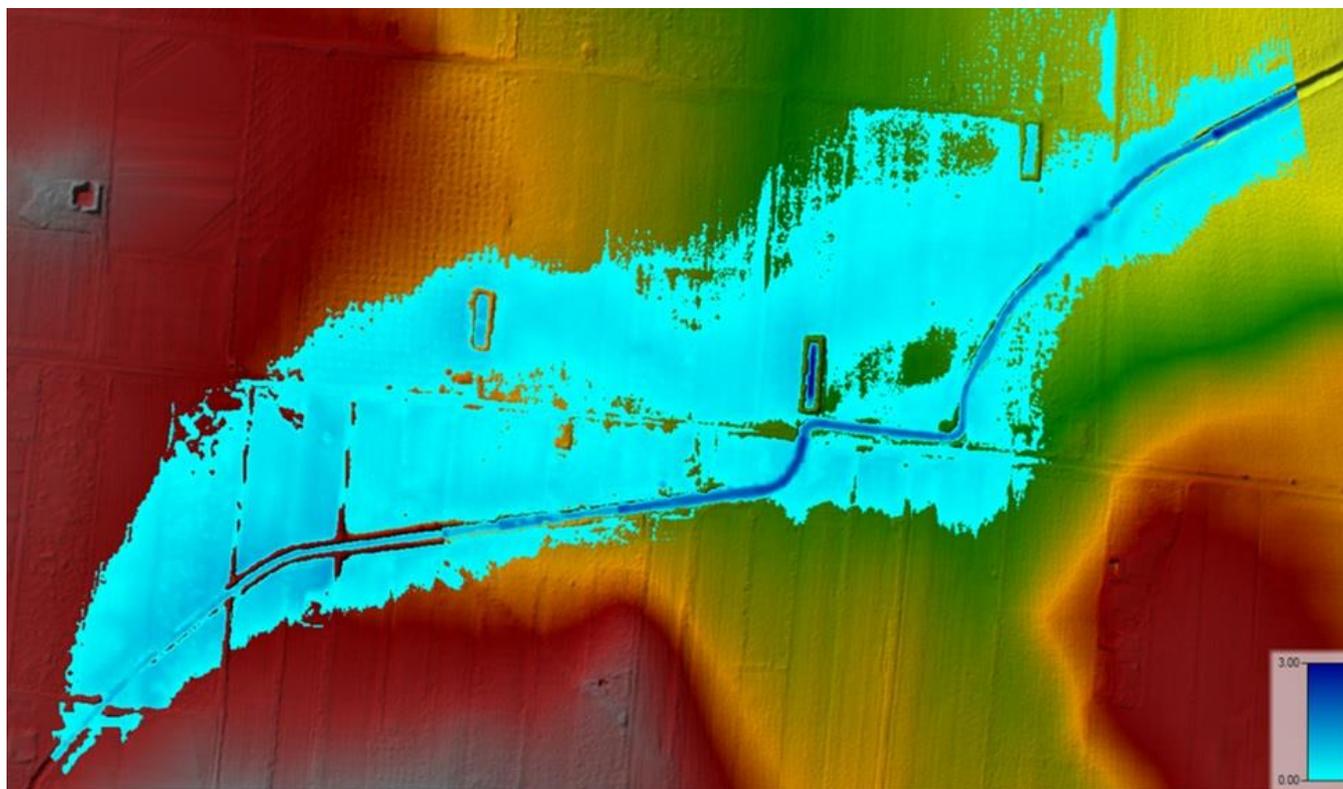
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R5 Canale CDB Capitanata** (km 53.856,92) si riscontra un **tirante di 1,99 m ed una velocità di propagazione di 1,51 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con l'area perimetrata a **pericolosità idraulica P7** (da km 54.000,17 a km 54.186,20) si riscontra un **tirante di 0,52 m ed una velocità di propagazione di 0,74 m/s**;

Nel complesso l'estensione delle aree allagabili in corrispondenza dell'intersezione con l'asse della condotta si estendono per circa 440 m. Si rimanda al capitolo successivo per la definizione degli interventi di protezione dell'alveo.

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.4 - Planimetria Aree inondabili - Modello R5*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 - Quaderno Sezioni*.

### **Modello R6**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R6 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/26).



*Fig. 5/26: Risultati modellazione "modello R6"  $Tr=200$  anni*

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena in accordo con le perimetrazioni del PAI.

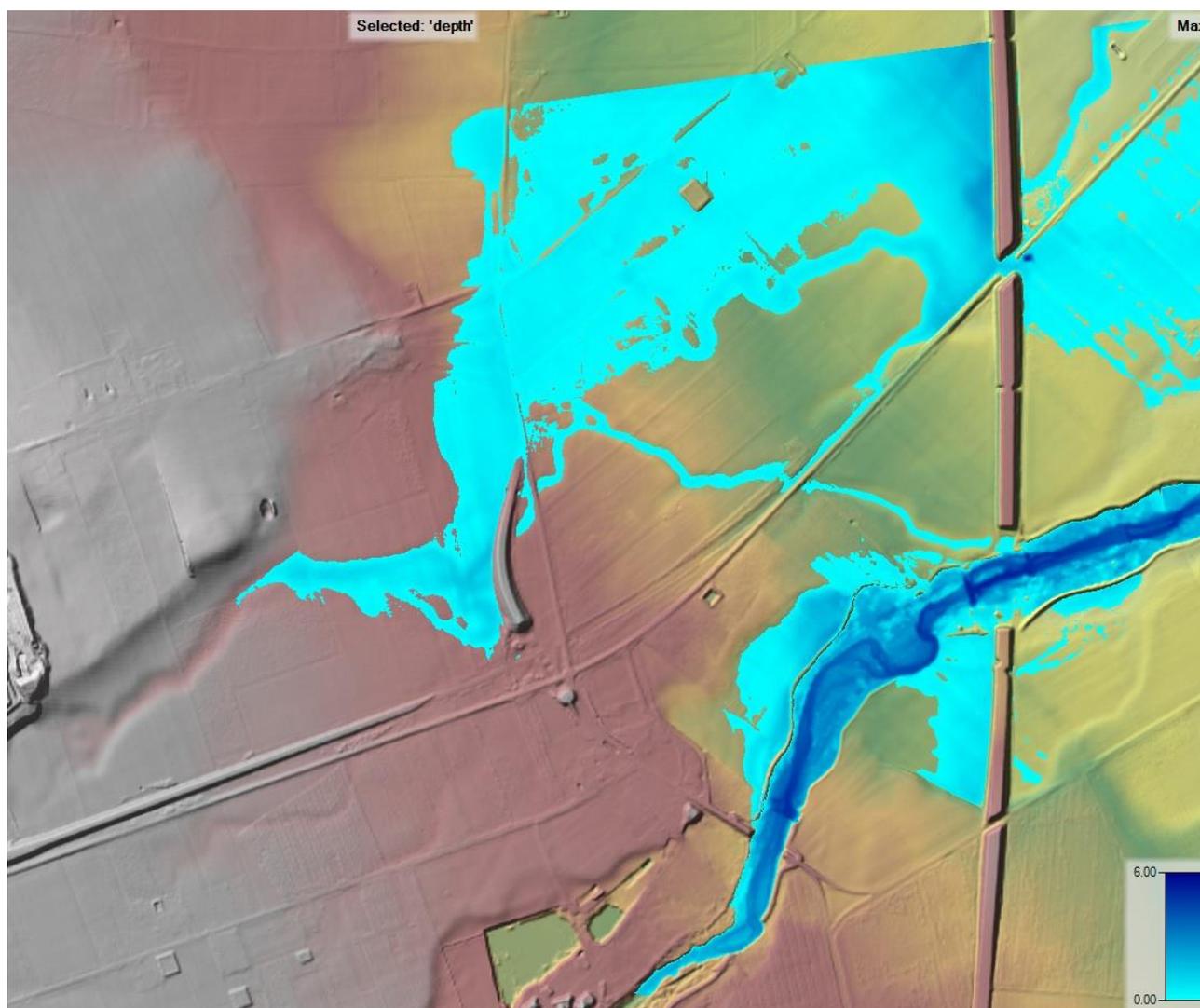
In particolare in corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo R6 Canale Ovile (km 52.874,22) si riscontra un **tirante di 0,90 m ed una velocità di propagazione di 1,72 m/s**; Nel complesso l'estensione delle aree allagabili in corrispondenza dell'intersezione con l'asse della condotta si estendono per circa 240 m. In sinistra idraulica del Canale Ovile (R6) è presente un pozzetto di scarico che ricade in area perimetrata a media pericolosità idraulica. I risultati della modellazione evidenziano in quel punto tiranti nell'ordine di 20 cm.

Si rimanda al capitolo successivo per la definizione degli interventi di protezione dell'alveo.

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.5 - Planimetria Aree inondabili - Modello R6*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 - Quaderno Sezioni*.

### Modello R7-R8 Cervaro

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R7-R8 Cervaro simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/27).



*Fig. 5/27: Risultati modellazione "modello R7-R8 Cervaro"  $Tr=200$  anni*

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena in accordo con le perimetrazioni del PAI. In particolare:

- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R7** (km 50.278,93) si riscontra un **tirante di 0,17 m ed una velocità di propagazione di 0,44 m/s**;

- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R8 Torrente Cervaro** (km 49.953,65) si riscontra un **tirante di 4,01 m ed una velocità di propagazione di 5,90 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con l'area a media pericolosità idraulica identificata con la dicitura **P8** (dal km 50.699,20 al km 51.299,80) si riscontra un **tirante di 0,41 m ed una velocità di propagazione di 0,57 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con l'area a media pericolosità idraulica identificata con **P9.1** (dal km 50.361,99 al km 50.378,49) si riscontra un **tirante di 0,47 m ed una velocità di propagazione di 0,23 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con l'area ad alta pericolosità idraulica in **destra idraulica al Torrente Cervaro** (dal km da 49.789,59 al km 49.858,82) si riscontra un **tirante di 0,59 m ed una velocità di propagazione di 0,52 m/s**;

In riferimento alle aree individuate con la dicitura P9, P10 e P10.1 perimetrata dal PAI, la simulazione non ha prodotto risultati in termini di aree allagabili, tuttavia, considerata la conformazione dei luoghi, per dette fasce gli effetti dell'onda di piena possono ritenersi trascurabili (cfr. all. E.05.6 – Planimetrie Aree inondabili – Modello R7 – R8 Cervaro).

L'attraversamento del Torrente Cervaro sarà eseguita con tecnica NO-DIG mediante la tecnologia di microtunneling secondo quanto riportato nell'elaborato progettuale "G.14.7 – Particolari costruttivi: Attraversamento tipo incisioni e lame – Posa microtunneling (Torrente Cervaro)". Di seguito uno stralcio dell'elaborato esplicativo dell'attraversamento in microtunneling.

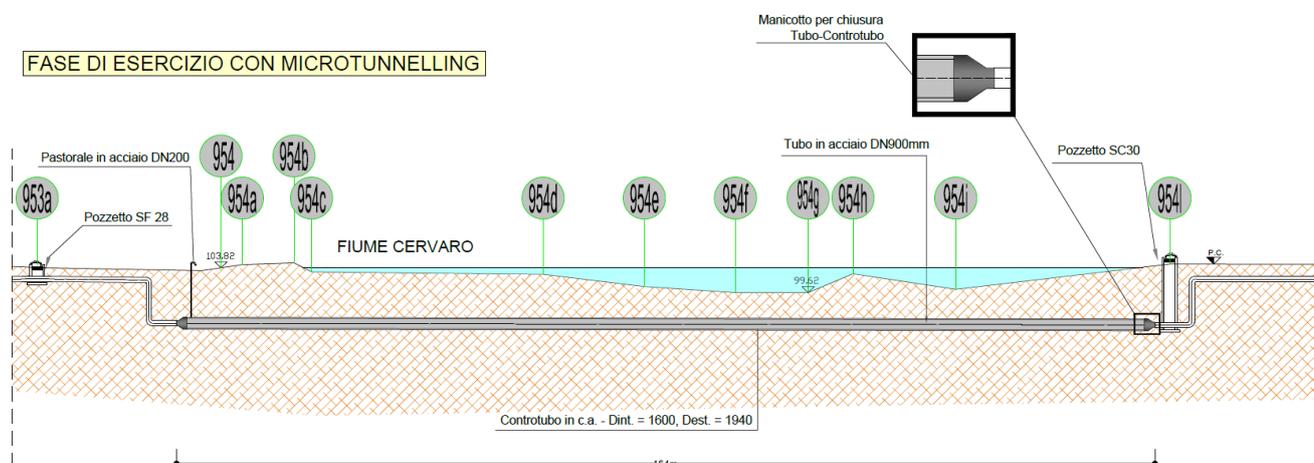


Fig. 5/28: Sezione attraversamento mediante microtunneling Torrente Cervaro

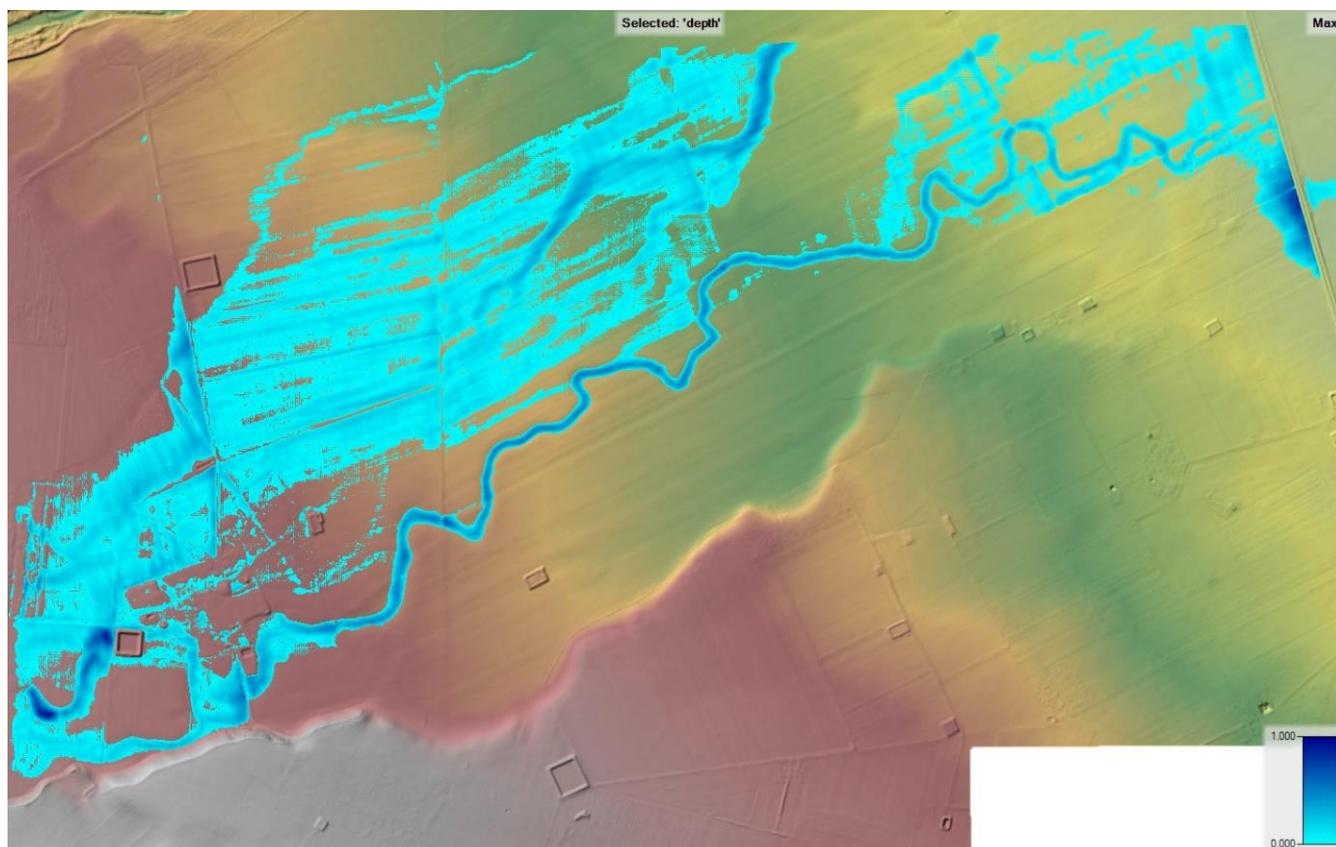
La profondità di attraversamento in subalveo del Torrente sarà corrispondente a circa n.2.5 volte il DN del controtubo avente DN 1.940 mm. Pertanto il cielo del controtubo sarà posto ad una profondità di circa 5,00 m dal fondo dell'alveo. Nel complesso l'estensione del tratto a farsi con microtunneling ammonta a circa 130 metri.

I **pozzetti** di spinta avranno la seguente disposizione: **Il pozzetto in sinistra idraulica sarà posto al limite dell'area perimetrata ad alta pericolosità idraulica** lungo l'asse della condotta quindi oltre il rilevato arginale, mentre **in destra idraulica il pozzetto sarà posto in un'area esterna alla fascia fluviale** ma comunque perimetrata ad alta pericolosità idraulica, **dove i risultati delle simulazioni hanno evidenziato un tirante di circa 0,50 m e velocità massime di 0,70 m/s. In quest'ultima area ricade anche uno dei due pozzetti per l'attraversamento mediante tecnica spingitubo della S.S. n.655. Per la tipologia di opera, i pozzetti in parola non sono delocalizzabili.**

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.6 - Planimetria Aree inondabili - Modello R7-R8 Cervaro*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 - Quaderno Sezioni*.

### **Modello R9**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R9 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/29).



*Fig. 5/29: Risultati modellazione "modello R9"  $Tr=200$  anni*

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena in accordo con le perimetrazioni del PAI.

In particolare:

- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R9 Canale Antico Cervaro** (km 46.638,70) si riscontra un **tirante di 0,25 m ed una velocità di propagazione di 0,32 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con le aree perimetrare a pericolosità idraulica identificata con la dicitura **P11** (dal km 47.421,44 al km 48.049,44) si riscontra un **tirante di 0,42 m ed una velocità di propagazione di 0,60 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con le aree perimetrare a pericolosità idraulica identificata con la dicitura **P12** (dal km 46.042,44 al km 46.318,44) si riscontra un **tirante di 0,27 m ed una velocità di propagazione di 0,45 m/s**;

- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con le aree perimetrare a pericolosità idraulica identificata con la dicitura **P13** (dal km 45.734,44 al km 46.042,44) si riscontra un **tirante massimo di 0,90 m ed una velocità massima di propagazione di 0,50 m/s;**

Nel complesso l'estensione delle aree allagabili in corrispondenza dell'intersezione con l'asse della condotta si estendono per circa 1250 m. Le aree interessate dalla piena, per la maggior parte presentano valori di tiranti e velocità molto contenute.

La linea ferroviaria Foggia – Potenza posizionata sul margine destro del dominio di calcolo, sarà attraversata con tecnica no-dig mediante spingitubo. Pertanto a monte e a valle della ferrovia saranno presenti i pozzetti dell'opera di attraversamento non delocalizzabili. Dal lato di monte i tiranti registrati dalla simulazione sono di circa 65 cm e velocità pressoché nulle, tuttavia va precisato che in detto punto l'acqua tende ad accumularsi e a ristagnare a causa dello sbarramento dovuto proprio alla presenza del rilevato ferroviario poiché il tombino di attraversamento probabilmente non è sufficiente a consentire un rapido deflusso delle acque. Nella seguente immagine si riporta il dettaglio del tombino in parola (fig. 5/30)



*Fig. 5/30: Particolare attraversamento linea ferroviaria Foggia - Potenza*

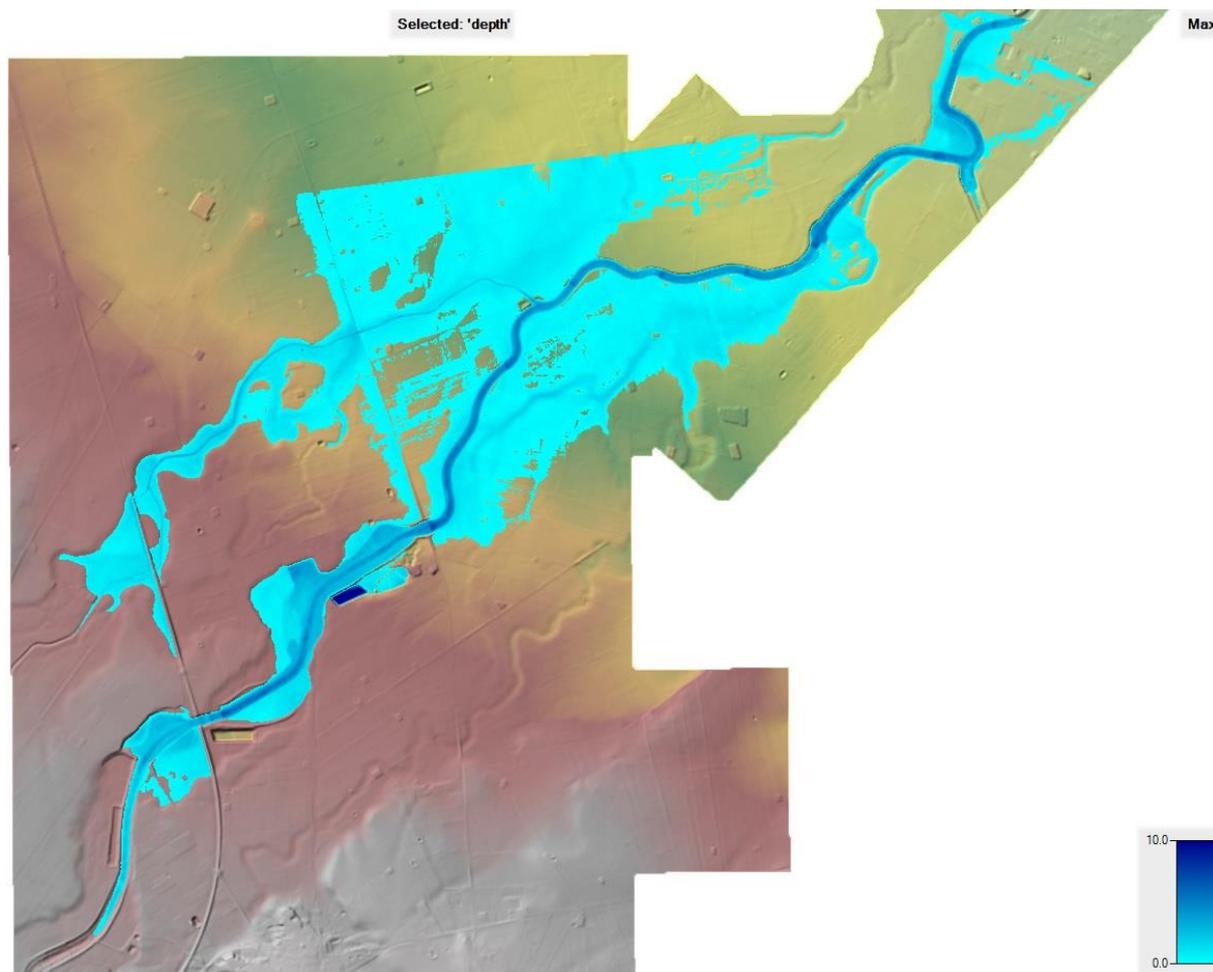
In corrispondenza del pozzetto di valle invece i tiranti sono trascurabili nell'ordine di 12 cm.

Si rimanda al capitolo successivo per la definizione degli interventi di protezione dell'alveo.

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.7 - Planimetria Aree inondabili - Modello R9*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 - Quaderno Sezioni*.

### **Modello R10 Carapelle**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R10 Carapelle simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/31).

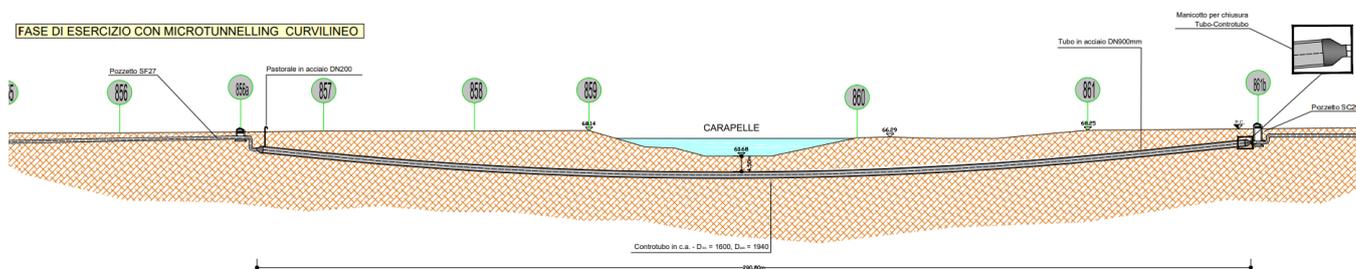


**Fig. 5/31:** Risultati modellazione "modello R10 Carapelle"  $Tr=200$  anni

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena in accordo con le perimetrazioni del PAI. In particolare:

- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R10** (km 40.270,18) si riscontra un **tirante di 5,92 m ed una velocità di propagazione di 2,31 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con l'area classificata a pericolosità idraulica e identificata con la dicitura **P14.1** (dal km 43.605,09 al km 43.824,09) si riscontra un **tirante di 2,63 m ed una velocità di propagazione di 1,11 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con l'area classificata a pericolosità idraulica e identificata con la dicitura **P15** (dal km 42.903,08 al km 43.265,08) si riscontra un **tirante di 0,56 m ed una velocità di propagazione di 0,74 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con l'area classificata a pericolosità idraulica e identificata con la dicitura **P16** (dal km da 42.293,08 al 42.903,08) si riscontra un **tirante di 0,93 m ed una velocità di propagazione di 1,03 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con l'area classificata a pericolosità idraulica e identificata con la dicitura **P17** (dal km 39.641,74 al km 39.972,74) si riscontra un **tirante di 0,24 m ed una velocità di propagazione di 0,16 m/s**;

L'attraversamento del Torrente Carapelle sarà eseguita con tecnica NO-DIG mediante la tecnologia di microtunneling secondo quanto riportato nell'elaborato progettuale "G.14.6 – Particolari costruttivi: Attraversamento tipo incisioni e lame – Posa microtunneling (Torrente Carapelle)". Di seguito uno stralcio dell'elaborato esplicativo dell'attraversamento in microtunneling.



*Fig. 5/32: Sezione attraversamento mediante microtunneling Torrente Carapelle*

La profondità di attraversamento in subalveo del Torrente sarà corrispondente a circa n.2.5 volte il DN del controtubo avente DN 1.940 mm. Pertanto il cielo del controtubo sarà posto ad una profondità

di almeno 4,5 m dal fondo dell'alveo. Nel complesso l'estensione del tratto a farsi con microtunneling ammonta a circa 280 metri. Per attraversare il Torrente Carapelle, stante la notevole profondità, sarà realizzata la tecnica di microtunneling curvo. I **pozzetti** di spinta avranno la seguente disposizione: **Il pozzetto in sinistra idraulica sarà posto oltre il limite dell'area perimetrata a bassa pericolosità idraulica** lungo l'asse della condotta. **In destra idraulica il pozzetto di arrivo sarà posto esternamente alle aree perimetrata ad alta pericolosità idraulica.**

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.8 - Planimetria Aree inondabili - Modello R10 Carapelle*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 - Quaderno Sezioni*.

### Modello R11-R12

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R11-R12 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/33).

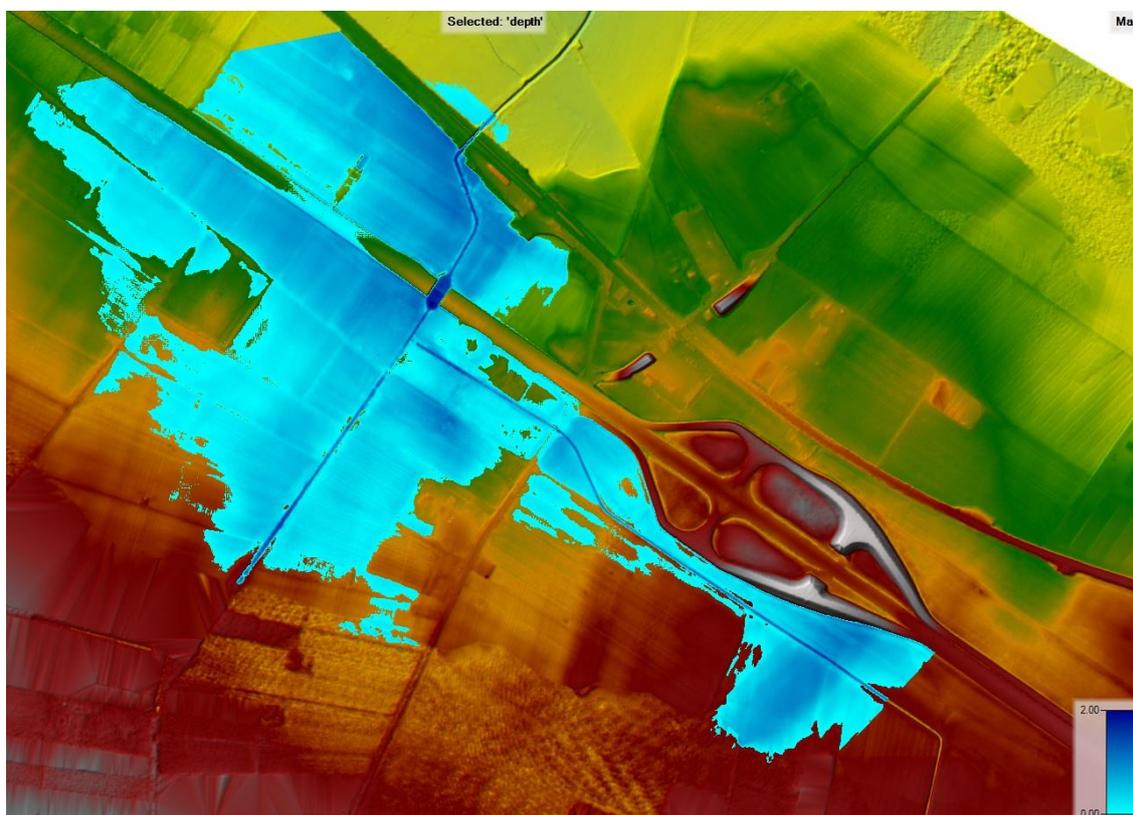


Fig. 5/33: Risultati modellazione "modello R11-R12"  $Tr=200$  anni

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena in accordo con le perimetrazioni del PAI. In particolare:

- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R11 Fiume Canale Ponticello** (km 35.030,12) si riscontra un **tirante di 1,11 m ed una velocità di propagazione di 1,27 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R12 Canale Trompello** (km 34.455,75) si riscontra un **tirante di 1,08 m ed una velocità di propagazione di 0,92 m/s**;

Nel complesso l'estensione delle aree allagabili in corrispondenza dell'intersezione con l'asse della condotta si estendono per circa 1240 m. Nelle aree esterne agli alvei fluviali l'onda di piena si propaga con velocità molto basse, mediamente contenute in valori compresi tra 0.3 – 0.4 m/s, con punte massime di 0.6 m/s e tiranti mediamente contenuti in 0.20 m di altezza con punte massime di circa 0.7 m.

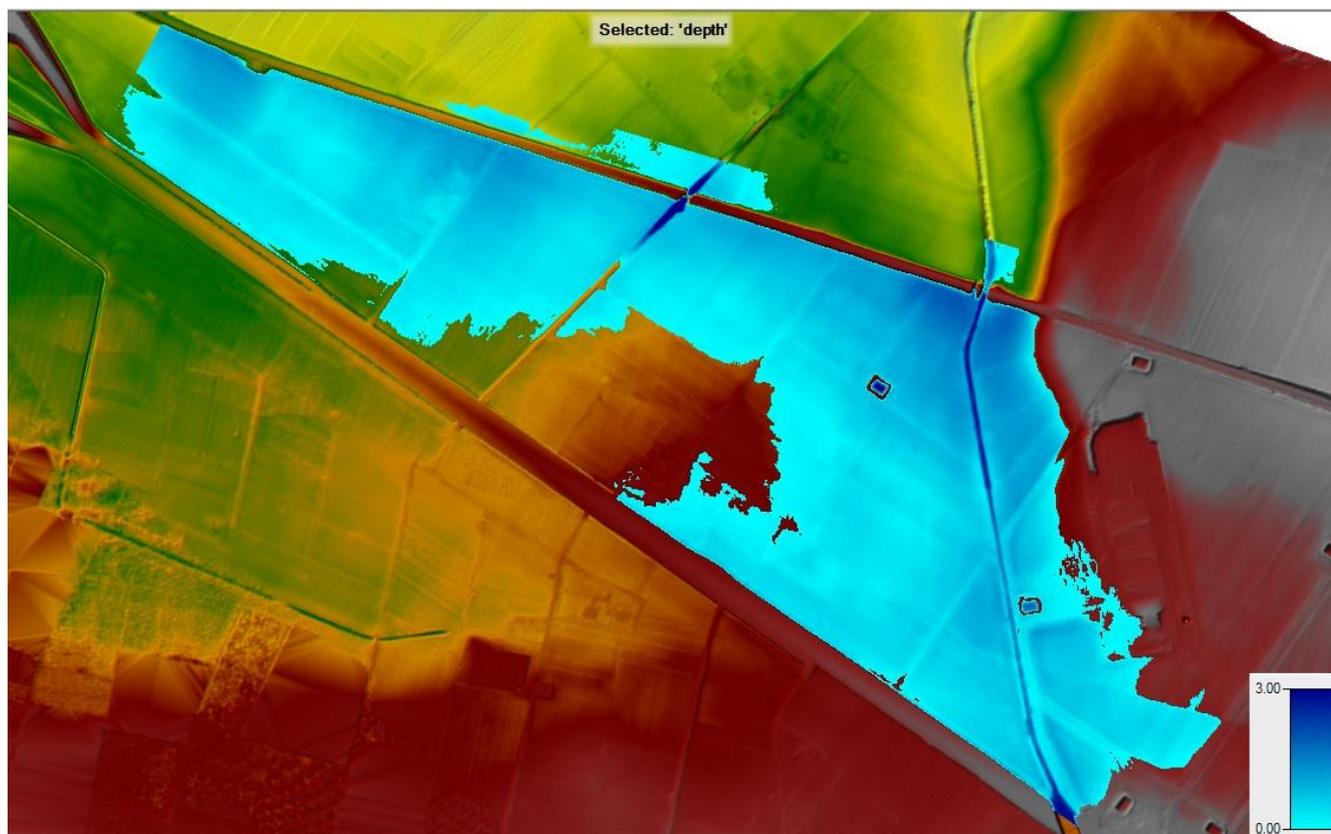
In sinistra idraulica del Fiume Canale Ponticello (R11) sarà posizionato un pozzetto di scarico che ricade in area ad alta pericolosità idraulica. I risultati della simulazione mostrano in detto punto che i tiranti raggiungono valori nell'ordine di 30 cm e velocità di circa 0.45 m/s.

Si rimanda al capitolo successivo per la definizione degli interventi di protezione degli alvei.

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.9 - Planimetria Aree inondabili - Modello R11-R12*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 – Quaderno Sezioni*.

### **Modello R13**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R13 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/34).



*Fig. 5/34: Risultati modellazione "modello R13"  $Tr=200$  anni*

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena in forma diffusa in un'ampia fascia superficiale compresa tra la S.S. n.16 e la linea ferroviaria Foggia – Cerignola. In particolare in corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R13 Fiume Fosso Marana la Pidocchiosa** (km 32.782,73) si riscontra un **tirante di 3,05 m ed una velocità di propagazione di 1,04 m/s**;

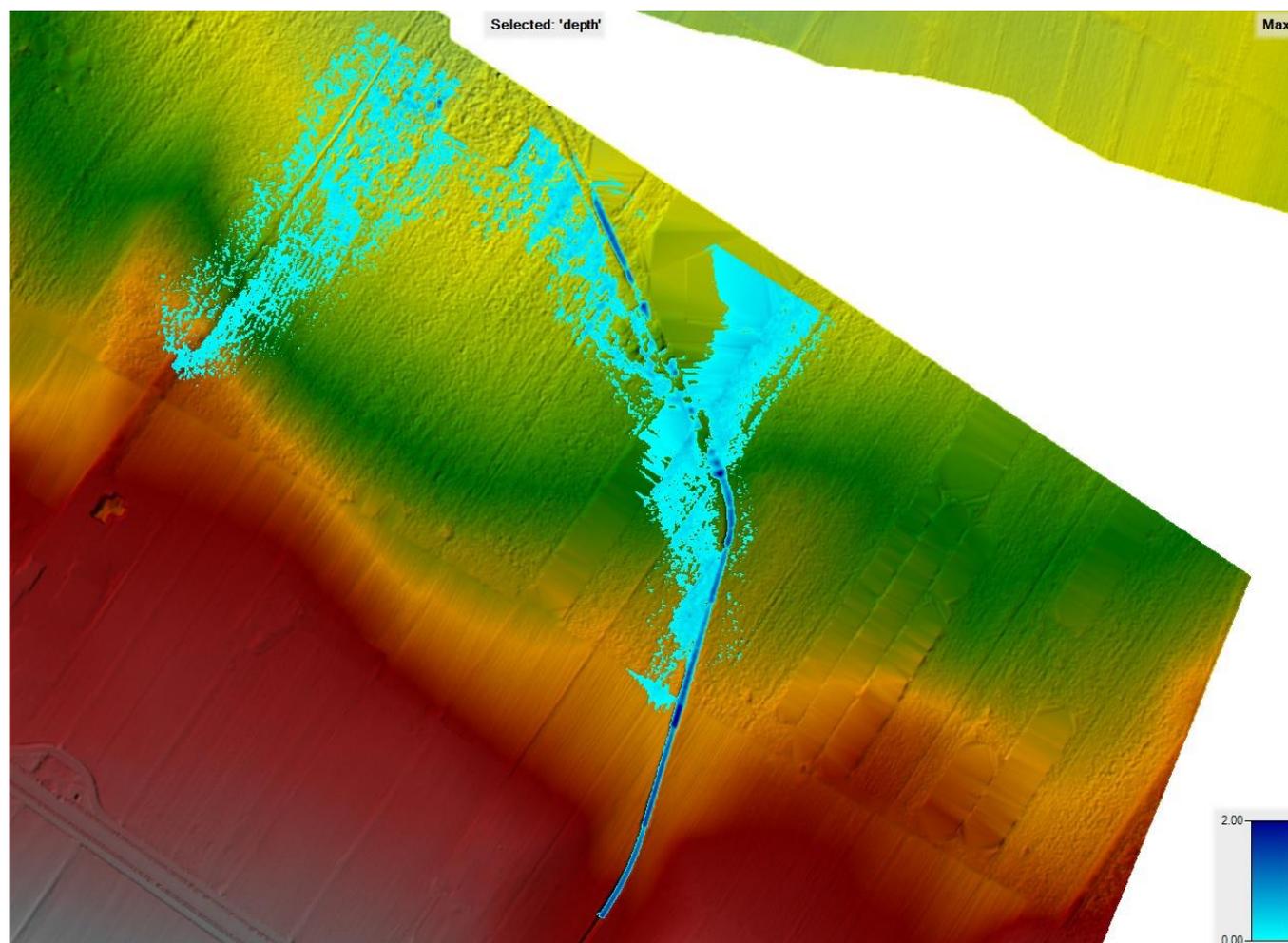
Nel complesso l'estensione delle aree allagabili in corrispondenza dell'intersezione con l'asse della condotta si estendono per circa 1200 m. Nelle aree esterne all'alveo del reticolo Fiume Fosso Marana la Pidocchiosa e in particolare in sinistra idraulica del canale, l'onda di piena si propaga con velocità molto basse, mediamente contenute in valori compresi tra 0.25 – 0.35 m/s, con punte massime di 0.65 m/s e tiranti mediamente contenuti in 0.50 m di altezza con punte massime di circa 1.4 m.

Nelle aree allagabili rientra anche il manufatto del Cloratore. In corrispondenza di questo elemento i tiranti raggiungono valori di circa 30 cm e velocità di circa 0.35 m/s. Inoltre in destra idraulica del Fiume Fosso Marana la Pidocchiosa (R13) sarà posizionato un pozzetto di scarico. I risultati della modellazione evidenziano per questo pozzetto un tirante di 1.35 m e velocità di 0.33 m/s. Come per il modello R9, anche in questo caso la presenza del rilevato della linea ferroviaria comporta un ristagno d'acqua che quindi raggiunge valori elevati di tiranti e velocità molto basse. Si rimanda al capitolo successivo per la definizione degli interventi di protezione dell'alveo del Fiume Fosso Marana la Pidocchiosa.

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.10 - Planimetria Aree inondabili - Modello R13*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 - Quaderno Sezioni*.

### **Modello R14-R15**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R14-R15 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/35).



*Fig. 5/35: Risultati modellazione "modello R14-R15"  $Tr=200$  anni*

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena prevalentemente contenuta all'interno del Canale Marana Ficora. In particolare:

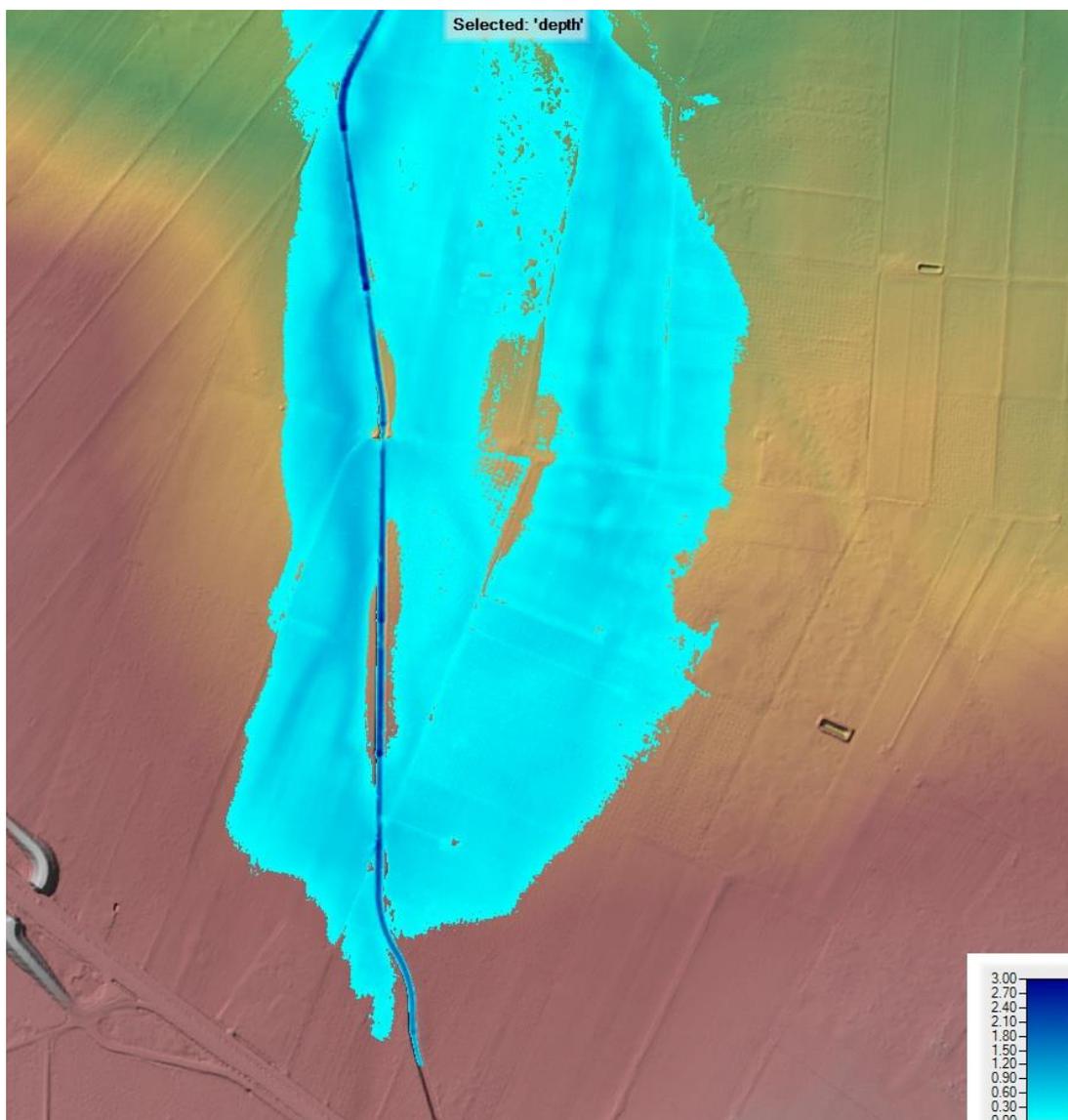
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R14 Canale CDB Capitanata** (km 28.769,57) si riscontra un **tirante di 0,27 m ed una velocità di propagazione di 0,76 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R15 Canale Marana Ficora** (km 28.014,86) si riscontra un **tirante di 2,51 m ed una velocità di propagazione di 2,16 m/s**;

Nel complesso l'estensione delle aree allagabili in corrispondenza dell'intersezione con l'asse della condotta si estendono per circa 200 m. Nelle aree esterne agli alvei fluviali l'onda di piena si propaga con velocità molto basse, mediamente contenute in valori compresi tra 0.3 – 0.4 m/s, con punte massime di 0.8 m/s e tiranti mediamente contenuti in 0.20 m di altezza con punte massime di circa 0.55 m. Si rimanda al capitolo successivo per la definizione degli interventi di protezione degli alvei.

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.9 - Planimetria Aree inondabili - Modello R14-R15*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 – Quaderno Sezioni*.

### **Modello R16**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R16 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/36).



*Fig. 5/36: Risultati modellazione "modello R16"  $Tr=200$  anni*

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena in forma diffusa in un'ampia fascia superficiale oltre che nell'alveo del canale.

In particolare in corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R16 Canale Marana Castello Superiore** (km 25.008,44) si riscontra un **tirante di 2,64 m** ed una **velocità di propagazione di 2,29 m/s**;

Nel complesso l'estensione delle aree allagabili in corrispondenza dell'intersezione con l'asse della condotta si estendono per circa 600 m. Nelle aree esterne all'alveo del reticolo Canale Marana Castello Superiore, l'onda di piena si propaga con velocità basse, mediamente contenute in valori compresi tra 0.4 – 0.5 m/s, con punte massime di 1.2 m/s e tiranti mediamente contenuti in 0.40 m di

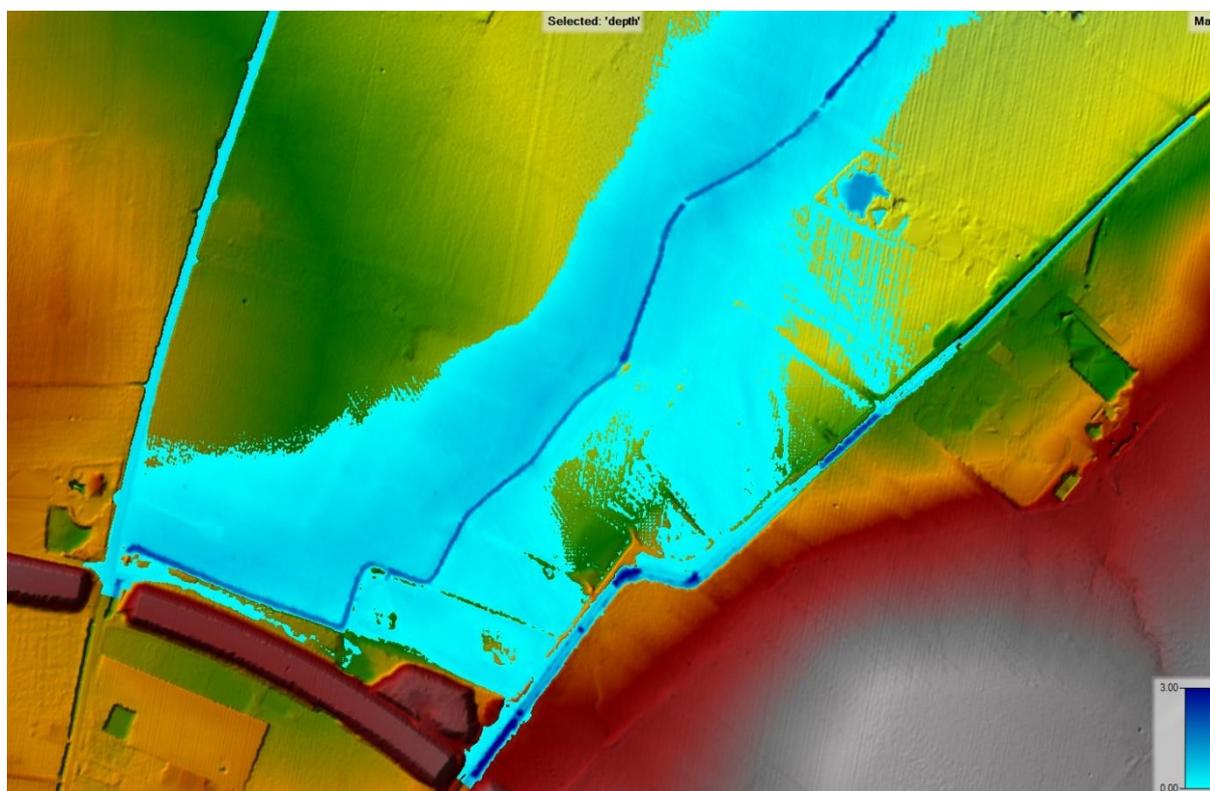
altezza con punte massime di circa 0.8 m. In destra idraulica sarà posizionato un pozzetto di scarico indelocalizzabile che sebbene rientri in un'area interessata dal propagarsi dell'onda di piena, lo stesso si troverà in un punto dove l'orografia del terreno risulta sopraelevata rispetto all'area circostante e pertanto con tiranti trascurabili.

Si rimanda al capitolo successivo per la definizione degli interventi di protezione dell'alveo del Canale Marana Castello Superiore.

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.12 - Planimetria Aree inondabili - Modello R16*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 - Quaderno Sezioni*.

### **Modello R17-R18**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R17-R18 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/37).



*Fig. 5/37: Risultati modellazione "modello R17-R18" Tr=200 anni*

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena relativamente al reticolo R17 Canale Acquamela (a sinistra) ed il reticolo R18 Canale Fossa la Pila. In particolare:

- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R17 Canale Acquamela** (km 17.516,26) si riscontra un **tirante di 2,15 m ed una velocità di propagazione di 2,14 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R18 Canale Fossa la Pila** (km 17.308,10) si riscontra un **tirante di 0,81 m ed una velocità di propagazione di 1,46 m/s**;

Nel complesso l'estensione delle aree allagabili in corrispondenza dell'intersezione con l'asse della condotta si estendono per circa 370 m. Nelle aree esterne agli alvei fluviali l'onda di piena si propaga con velocità molto basse, mediamente contenute in valori compresi tra 0.6 – 0.7 m/s, con punte massime di 1.2 m/s e tiranti mediamente contenuti in 0.25 m di altezza con punte massime di circa 0.55 m. In destra idraulica del Canale Acquamela è posizionato un pozzetto di scarico indelocalizzabile, sul quale si verificano tiranti nell'ordine di 30 cm e velocità nell'ordine di 0.7 m/s.

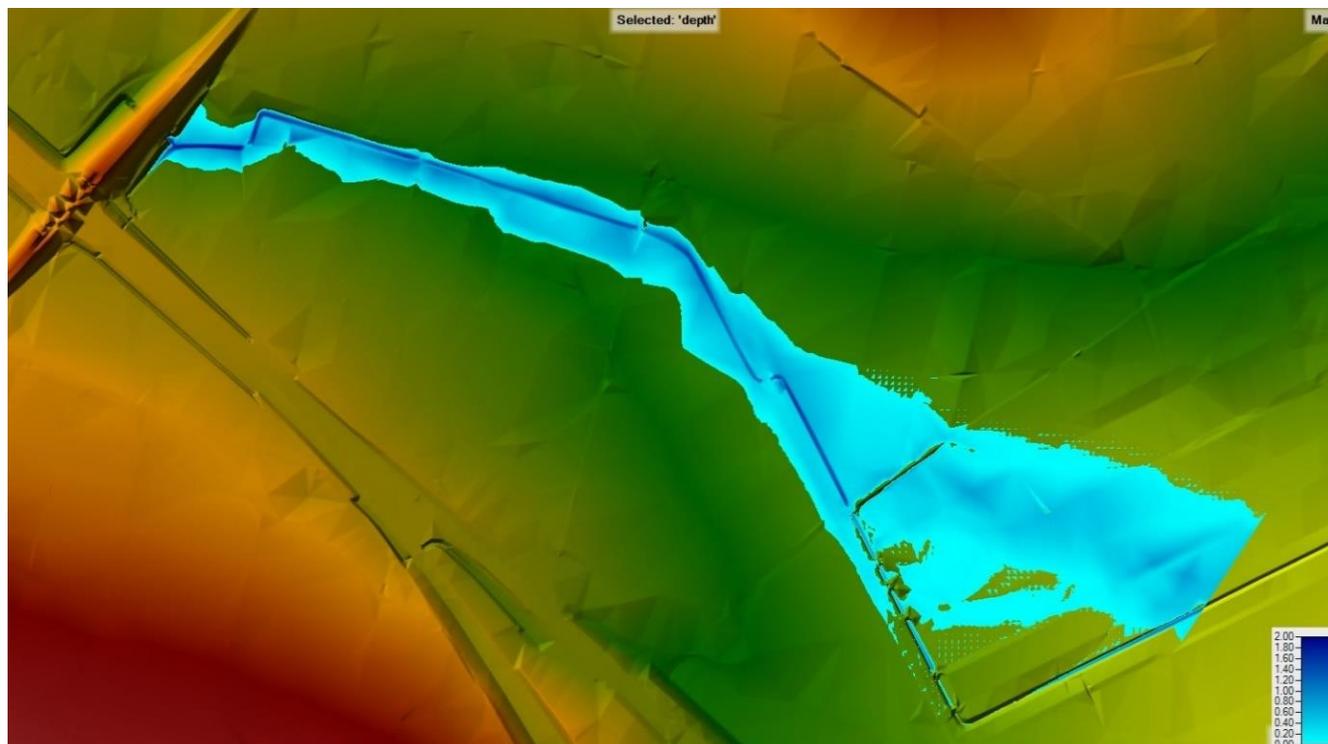
Si rimanda al capitolo successivo per la definizione degli interventi di protezione degli alvei.

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.13 - Planimetria Aree inondabili - Modello R17-R18*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 – Quaderno Sezioni*.

### **Modello pertinenza fluviale**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello "pertinenza fluviale" simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Questa modellazione è stata eseguita al fine di verificare le aree inondabili relativamente al Canale CDB Capitanata nella zona a valle dell'Autostrada A14, in corrispondenza del picchetto 237 (S.P. n.65), ove l'asse della condotta dista circa 40 m dall'alveo del predetto canale individuato sulla carta idrogeomorfologica regionale. In corrispondenza del predetto picchetto è posizionata la Strada Provinciale n.65 che viene attraversata mediante tecnica no-dig di spingitubo. Anche i pozzetti di quest'ultimo attraversamento non vengono interessati dall'onda di piena.

Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/38).

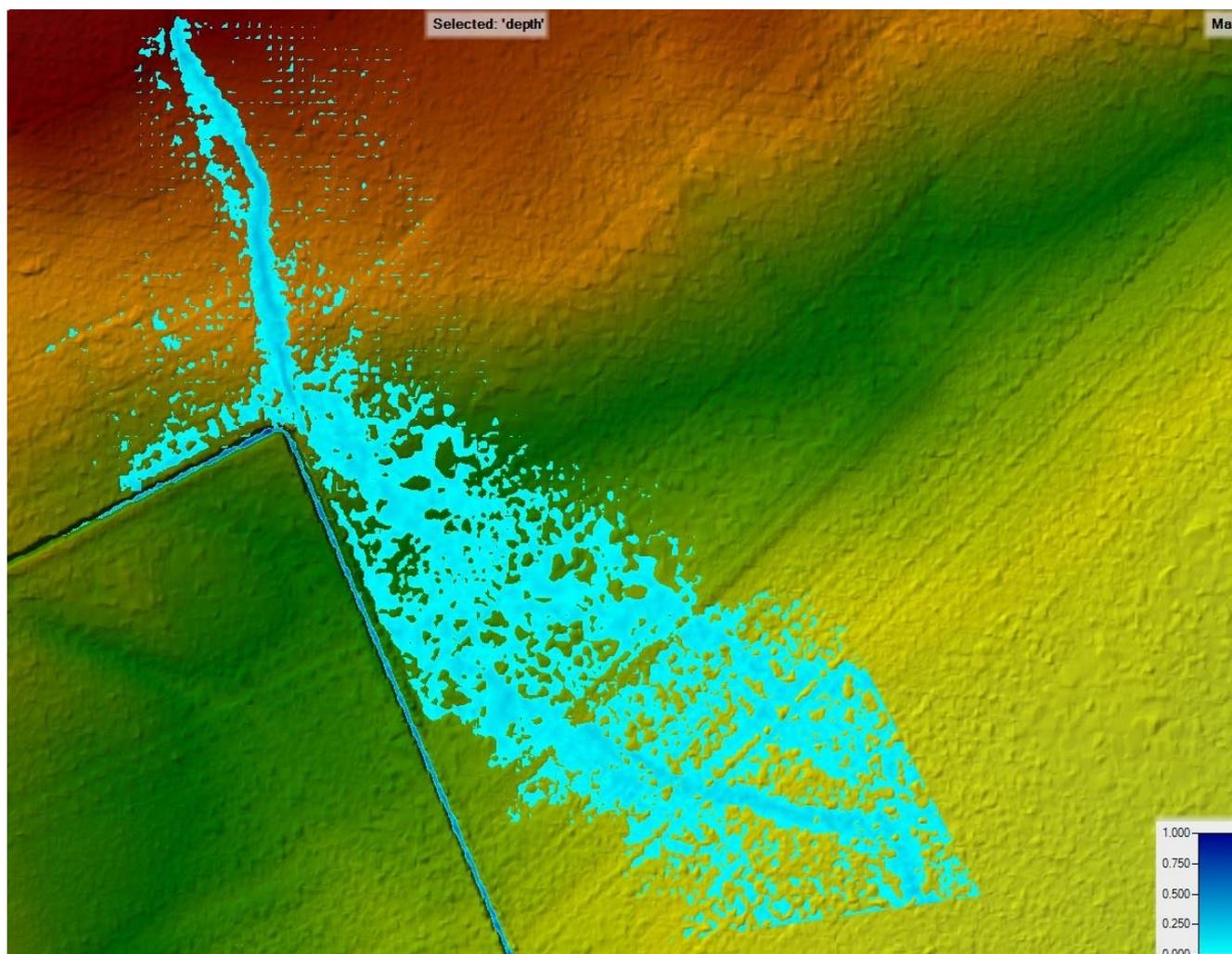


*Fig. 5/38: Risultati modellazione "modello pertinenza fluviale"  $Tr=200$  anni*

I risultati della modellazione evidenziano che l'onda di piena rimane confinata in una fascia ristretta in prossimità dell'asse del canale senza interessare il tracciato della condotta. Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.14 - Planimetria Aree inondabili - Modello pertinenza fluviale*.

### **Modello R19**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R19 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/39).



*Fig. 5/39: Risultati modellazione "modello R19"  $Tr=200$  anni*

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena in forma diffusa.

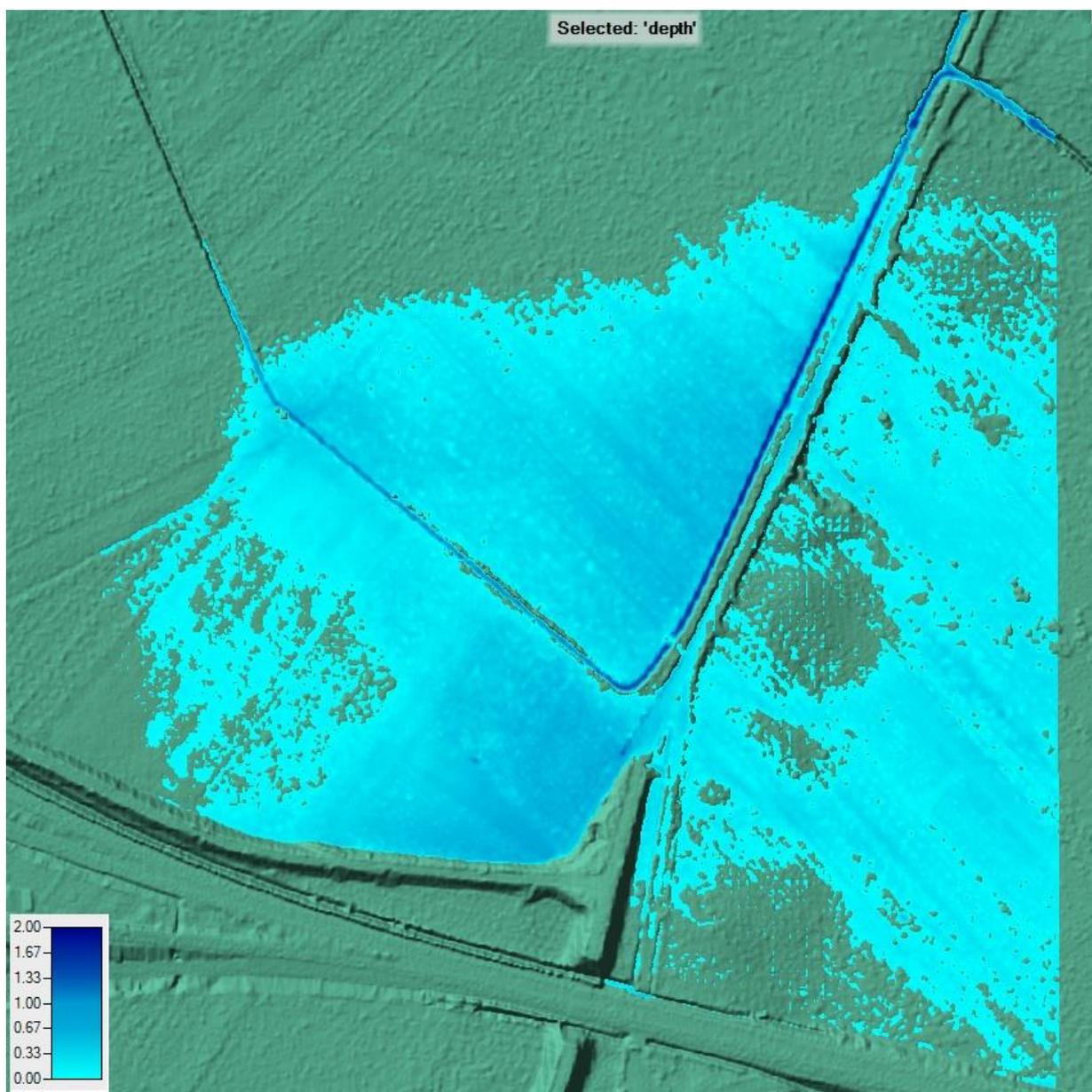
In particolare in corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R19 Canale 8** (km 6.359,80) si riscontra un **tirante di 0,15 m ed una velocità di propagazione di 0,56 m/s**;

Nel complesso l'azione dell'onda di piena è pressoché trascurabile. Si rimanda al capitolo successivo per la definizione degli interventi di protezione dell'alveo del Canale 8.

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.15 - Planimetria Aree inondabili - Modello R19*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 – Quaderno Sezioni*.

### **Modello R20**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R20 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/40).



*Fig. 5/40: Risultati modellazione "modello R20" Tr=200 anni*

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena in forma diffusa oltre che nell'alveo del canale.

In particolare in corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R20 Canale CDB Capitanata** (km 5.791,60) si riscontra un **tirante di 1,64 m ed una velocità di propagazione di 1,46 m/s**;

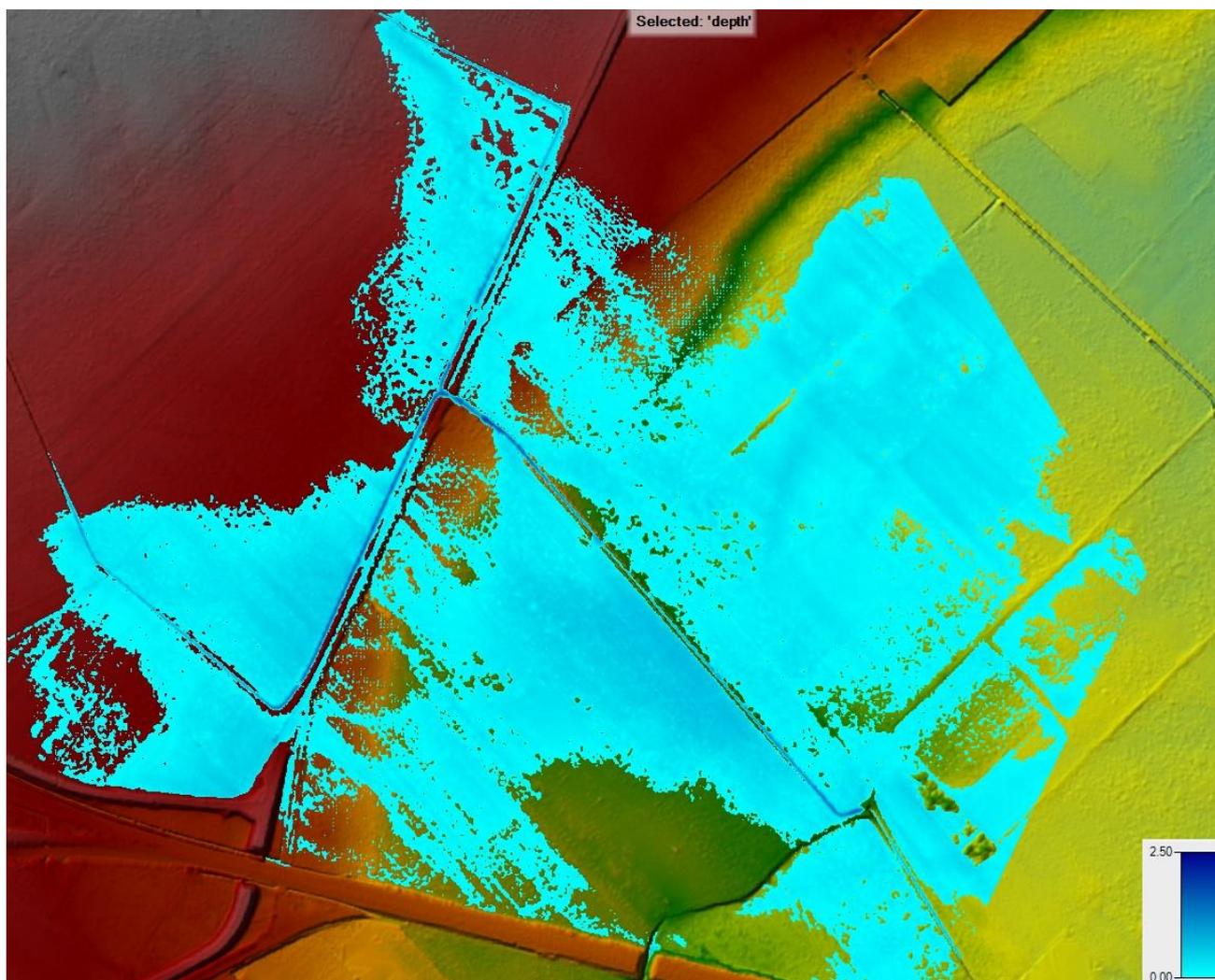
Nel complesso l'estensione delle aree allagabili in corrispondenza dell'intersezione con l'asse della condotta si estendono per circa 50 m. Nelle aree esterne all'alveo del reticolo Canale CDB Capitanata, l'onda di piena si propaga con velocità molto basse, mediamente contenute in valori compresi tra 0.2 – 0.3 m/s, con punte massime di 0.5 m/s e tiranti mediamente contenuti in 0.10 m di altezza con punte massime di circa 0.3 m.

Poiché il canale è disposto parallelamente alla *S.P. n.64 - Regio Tratturello Ponte Di Canosa Trinitapoli* che sarà attraversata mediante spingitubo, l'attraversamento del canale CDB Capitanata avverrà anch'esso mediante spingitubo senza intervento in alveo.

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.16 - Planimetria Aree inondabili - Modello R20*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 – Quaderno Sezioni*.

### **Modello R21**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R21 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/41).



*Fig. 5/41: Risultati modellazione "modello R21" Tr=200 anni*

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena in forma diffusa oltre che nell'alveo del canale.

In particolare in corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R21 Canale 8** (km 5.414,04) si riscontra un **tirante di 0,94 m ed una velocità di propagazione di 0,73 m/s**;

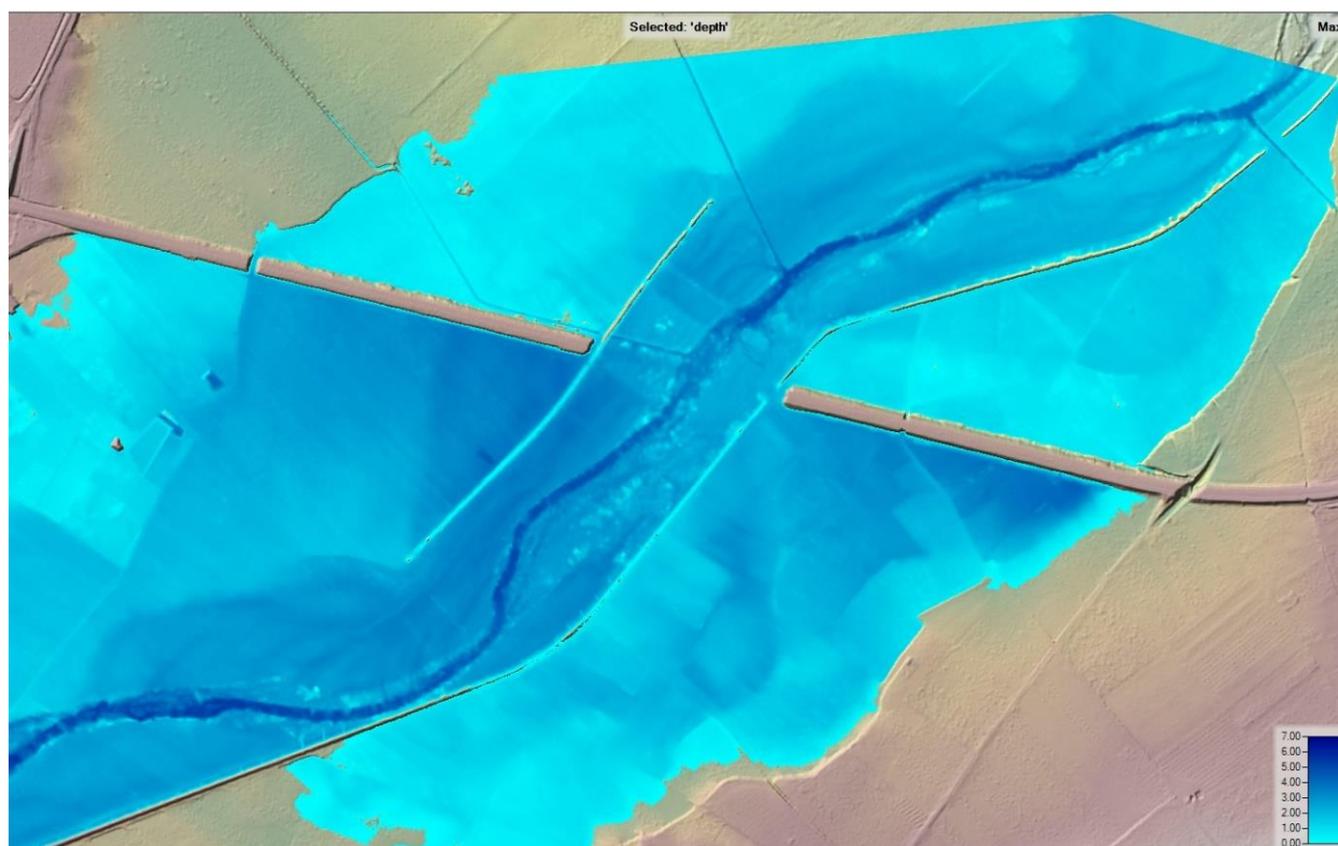
Nel complesso l'estensione delle aree allagabili in corrispondenza dell'intersezione con l'asse della condotta si estendono per circa 580 m. Nelle aree esterne all'alveo del reticolo Canale CDB Capitanata, l'onda di piena si propaga con velocità molto basse, mediamente contenute in valori compresi tra 0.2 – 0.3 m/s, con punte massime di 1.0 m/s e tiranti mediamente contenuti in 0.30 m di altezza con punte massime di circa 0.65 m.

Si rimanda al capitolo successivo per la definizione degli interventi di protezione dell'alveo del Canale Marana Castello Superiore.

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.17 - Planimetria Aree inondabili - Modello R21*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 - Quaderno Sezioni*.

### **Modello R22 Ofanto**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R22 Fiume Ofanto simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/42).

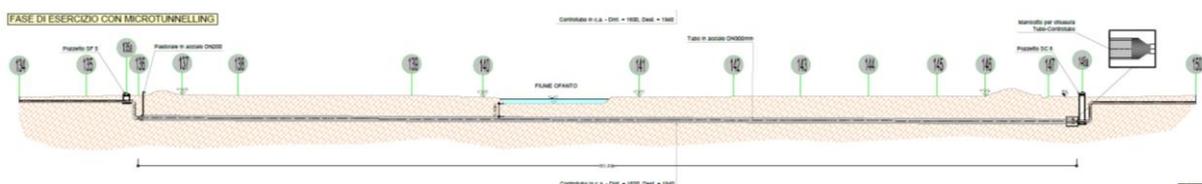


**Fig. 5/42: Risultati modellazione "modello R22 Fiume Ofanto"  $Tr=200$  anni**

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento dell'onda di piena in accordo con le perimetrazioni del PAI. In particolare:

- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R22** (km 4.430,63 – 4.487,11) si riscontra un **tirante di 3,95 m ed una velocità di propagazione di 3,08 m/s**;
- In corrispondenza della fascia di espansione della piena in sinistra idraulica classificata ad alta pericolosità idraulica (dal km 4.634,52 al km 5.102,75) si riscontra un **tirante di 1,47 m ed una velocità di propagazione massima di 0,87 m/s**;
- In corrispondenza della fascia di espansione della piena in destra idraulica classificata ad alta pericolosità idraulica (dal km 3.332,75 al km 4.304,75) si riscontra un **tirante di 1,90 m ed una velocità di propagazione massima di 2,28 m/s**;

L'attraversamento del Fiume Ofanto sarà eseguita con tecnica NO-DIG mediante la tecnologia di microtunneling secondo quanto riportato nell'elaborato progettuale "G.14.5 – Particolari costruttivi: Attraversamento tipo incisioni e lame – Posa microtunneling (Fiume Ofanto)". La profondità di attraversamento in subalveo del Fiume sarà corrispondente a circa n.2.5 volte il DN del controtubo avente DN 1.940 mm. Pertanto il cielo del controtubo sarà posto ad una profondità di almeno 5,00 m dal fondo dell'alveo. Nel complesso l'estensione del tratto a farsi con microtunneling ammonta a circa 350 metri. Di seguito uno stralcio dell'elaborato esplicativo dell'attraversamento in microtunneling.



*Fig. 5/43: Sezione attraversamento mediante microtunneling Fiume Ofanto*

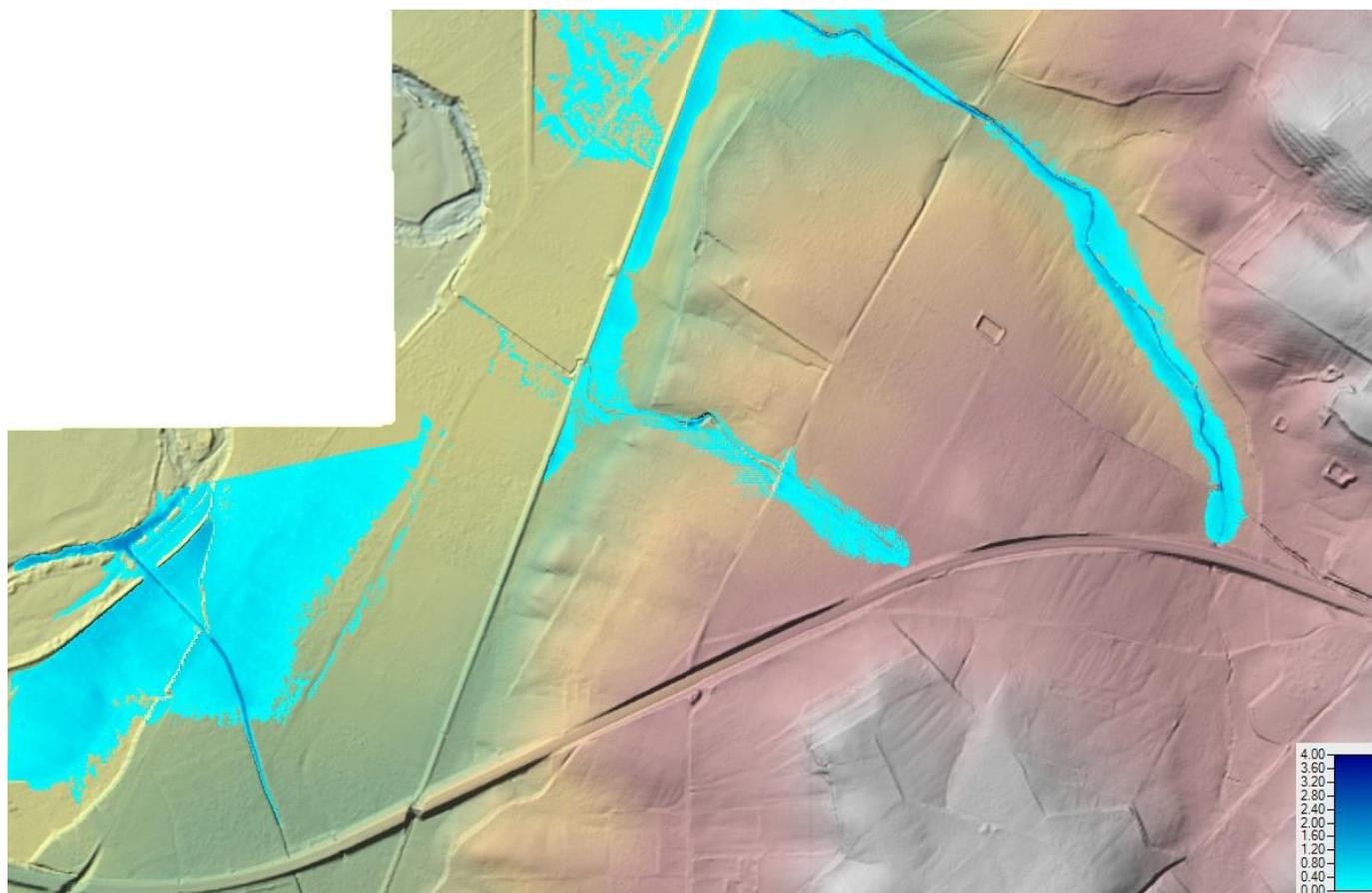
I **pozzetti** di spinta e arrivo avranno la seguente disposizione: **Il pozzetto in sinistra idraulica sarà posto a monte dell'argine prospiciente il rilevato stradale dell'Autostrada A14, esternamente all'area golenale di sinistra. In destra idraulica si prevede di realizzare un pozzetto esternamente all'alveo oltre il rilevato arginale, quindi al di fuori dell'area golenale del Fiume Ofanto.** Detta configurazione quindi non prevede interventi interni all'area golenale, ma esterni, oltre i rilevati arginali sia in destra che sinistra idraulica. Tuttavia i pozzetti di spinta e arrivo (indelocalizzabili) ricadranno in aree perimetrate ad alta pericolosità idraulica. In detti punti la simulazione per eventi con tempo di ritorno di 200 anni hanno evidenziato rispettivamente:

- pozzetto NO-DIG in sinistra idraulica tirante di 1,40 m e velocità di 0.7 m/s;
- pozzetto NO-DIG in sinistra idraulica tirante di 0,82 m e velocità di 1.7 m/s;

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.18 - Planimetria Aree inondabili - Modello R22 Fiume Ofanto*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 - Quaderno Sezioni*.

### **Modello R23-R25**

La modellazione è stata condotta con riferimento al modello R23-R25 simulando l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione con indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena comprendendo anche le zone in cui i tiranti idrici sono inferiori a 10 cm e con velocità inferiori a 0,5 m/s (figura 5/44).



*Fig. 5/44: Risultati modellazione "modello R23-R25"  $Tr=200$  anni*

I risultati della modellazione evidenziano l'avanzamento delle onde di piena. In particolare:

- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R23 Canale Lamapopoli** (km 3.236,15) si riscontra un **tirante di 2,26 m ed una velocità di propagazione di 2,59 m/s**;

- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R24 Canale CDB Capitanata** (km 1.926,57) si riscontra un **tirante di 0,44 m ed una velocità di propagazione di 1,88 m/s**;
- In corrispondenza dell'intersezione della condotta con il reticolo **R25 Canale CDB Capitanata** (km 1.187,47) si riscontra un **tirante di 4,02 m ed una velocità di propagazione di 3,07 m/s**;

Nel complesso l'estensione delle aree allagabili in corrispondenza delle intersezioni con l'asse della condotta si estendono per circa 370 m cumulativi. Si rimanda al capitolo successivo per la definizione degli interventi di protezione dell'alveo.

Per quanto concerne il reticolo R23 Canale Lamapopoli, l'onda di piena tende a propagarsi in maniera diffusa oltre l'alveo a sezione trapezia del canale, mentre per il reticolo R24 ed R25 entrambi Canali CDB Capitanata, i fronti d'acqua seppur estesi oltre le sezioni utili di scorrimento, sono mediamente confinate nell'intorno delle incisioni delle lame. Per quanto concerne l'attraversamento del Canale lamapopoli (R23) si precisa che sarà ripristinata la sezione in calcestruzzo esistente.

In sinistra idraulica al Canale Lamapopoli sono presenti n.2 pozzetti per l'attraversamento no-dig della strada S.P. n.3 e due pozzetti rispettivamente di scarico e sfiato tutti non localizzabili altrove. I risultati della modellazione evidenziano che il tirante massimo che si registra in prossimità dei predetti manufatti è di circa 50 cm mentre la massima velocità è di 0.75 m/s.

Per il dettaglio dei risultati delle aree inondabili si rimanda agli elaborati grafici *E.05.19.1 - Planimetria Aree inondabili - Modello R23-R25 (parte 1 di 2)* e *E.05.19.2 - Planimetria Aree inondabili - Modello R23-R25 (parte 2 di 2)*, mentre per il dettaglio delle sezioni si rimanda agli elaborati *E.06 - Quaderno Sezioni*.

## **6. VERIFICA DELLE OPERE DI PROTEZIONE**

Nello studio dei sistemi idrografici il trasporto solido è un fenomeno di notevole rilevanza, pertanto si è ritenuto opportuno svolgere una trattazione, seppur sommaria, del fenomeno in questione attraverso lo sviluppo di alcune verifiche dinamiche.

Sotto l'azione delle spinte idrodinamiche i grani solidi di terreno possono essere messi in movimento e trasportati verso valle dalla corrente; in questa dinamica si differenziano il fenomeno di trasporto solido di fondo in cui i grani si muovono sul fondo con moti rotatori e/o di trascinamento, più o meno intermittenti, dal fenomeno del trasporto solido in sospensione in cui le particelle solide percorrono lunghi tratti, trascinate all'interno della corrente in maniera solidale alla corrente stessa.

Nel seguente paragrafo, che non fornisce un quadro esauriente e dettagliato del fenomeno (ciò richiederebbe una trattazione specifica), ma aiuta a comprenderne le dinamiche principali, sono valutate le forze che determinano l'innescarsi del movimento del pietrame al fondo (trasporto solido di fondo) in quanto è proprio causa questa azione che si innescano i processi erosivi in atto lungo l'alveo dei corsi d'acqua.

La valutazione delle forze in atto è essenziale per stabilire il diametro equivalente da assegnare alle opere di protezione del fondo alveo previste negli interventi di sistemazione delle porzioni di canali interessati dall'attraversamento della condotta in progetto.

A tal fine sono state svolte delle verifiche in termini di tensione di trascinamento dovuta all'azione della corrente.

### **6.1 VERIFICA IN TERMINI DI TENSIONE DI TRASCINAMENTO**

In generale si definisce stabile un fondo canale costituito da pietrame, ovvero da inerti, quando non si ha spostamento degli elementi litoidi.

La condizione di inizio del movimento di questi elementi definisce il limite di stabilità del rivestimento che non deve essere superato se si vuole garantire la sicurezza.

La tensione tangenziale che è esercitata sul materiale posto sul fondo è:

$$\tau_b = \gamma_w Y i$$

ove

- $\gamma_w$  è il peso specifico dell'acqua ( $1000 \text{ Kg/m}^3$ );
- $Y$  è la profondità d'acqua;
- $i$  è la pendenza della linea dell'energia

Considerato un ciottolo di diametro equivalente uguale al diametro medio  $d_m$  del pietrame di fondo (cioè il diametro del vaglio che consente il passaggio del 50% in peso del materiale litoide che costituisce il rivestimento) si definisce coefficiente di Shields la grandezza adimensionale

$$C_* = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma_w)d_m}$$

ove  $\tau_c$  è la tensione tangenziale di trascinamento nella situazione critica di inizio movimento e  $\gamma_s$  è il peso specifico dell'inerte ( $2400 \text{ kg/m}^3$ ). Il denominatore risulta proporzionale alla tensione normale sul fondo dovuta al peso immerso del ciottolo; il coefficiente di Shields è dunque analogo ad un coefficiente di attrito.

La tensione tangenziale critica al fondo, che può essere raggiunta senza movimento del pietrame (tensione tangenziale critica), vale dunque

$$\tau_c = C_*(\gamma_s - \gamma_w)d_m$$

Il rivestimento risulta stabile se è verificata la disuguaglianza che si ottiene confrontando la  $\tau_b$  con la  $\tau_c$

$$\tau_b \leq \tau_c$$

Per la il dimensionamento delle opere si considera un fattore di sicurezza pari a 1,2 ottenendo così la seguente equazione:

$$\tau_b \leq 1,2\tau_c$$

In merito al coefficiente di Shields da assumere per il materiale, questo varia in relazione alle sue dimensioni e alle condizioni di confinamento. In relazione al materiale impiegato per le opere in progetto si assume un valore pari a 0.047 per il pietrame di grossa pezzatura.

La stabilità del rivestimento avente diametro medio  $d_m$  viene valutata anche in rapporto alla velocità media della corrente nella sezione. La velocità critica per un dato rivestimento dipende anche dalla profondità dell'acqua  $y$ . L'influenza reciproca di velocità e profondità è nel rapporto di 6 a 1, cioè la profondità compare, nelle espressioni che descrivono il fenomeno, con un esponente pari a 1/6 di quello a cui compare la velocità. La velocità e la profondità sono legate tra loro e con la tensione tangenziale dalla:

$$\tau_b = \gamma_w n^2 \frac{v^2}{R^{1/3}}$$

L'equazione su riportata si ottiene esprimendo la  $\tau$  media come  $\tau = \gamma_w Ri$  e ricavando la pendenza con la formula di Manning. La verifica è positiva se il valore di  $\tau_b$  è inferiore rispetto al minimo tra i valori della tensione di trascinamento del fondo  $\tau_c$  e la tensione di trascinamento sulle sponde  $\tau_s$ .

Considerate note le caratteristiche geometriche degli alvei, gli altri dati incogniti sono stati ricavati dai risultati di output della modellazione bidimensionale. In particolare sono stati inseriti i tiranti idrici massimi  $Y$  e le velocità massime  $V$  entrambi valutati in corrispondenza dei tratti oggetto di intervento.

Nella seguente tabella si riportano le verifiche relative ai rivestimenti applicati all'interno degli alvei dei reticoli analizzati. Si precisa che per i reticoli R8 – Torrente Cervaro, R10 Torrente Carapelle e R22 Fiume Ofanto, si procederà con tecnica NO-DIG Microtunnelling. Il reticolo R20 canale CDB Capitanata sarà attraversato mediante spingitubo. Per quanto concerne il reticolo R23 - Canale Lamapopoli si procederà ripristinando la sezione trapezia in calcestruzzo esistente. Stesso dicasi per il reticolo R1 Canale Santa Giusta.

Reticolo	Portata	Velocità	Tirante	Pendenza carichi totali	Raggio idraulico	Diametro medio pietrame rivestimento	Coefficiente di shields	Manning	Tensione tangenziale esercitata sul rivestimento	Tensione tangenziale di trascinamento	verifica	Tensione tangenziale esercitata sul rivestimento	Tensione tangenziale di trascinamento fondo	verifica	Picchetto Profilo	Lunghezza protezione sezione massi d50	Note
	Q	v	y	i	R	d <sub>m</sub>	C	n	τ <sub>b</sub>	τ <sub>c</sub>		τ <sub>b</sub>	τ <sub>c</sub>			L	
	m <sup>3</sup> /s	m/s	m	m/m	m	m		s/m <sup>1/3</sup>	Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>		Kg/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>			m	
R1 – Canale Santa Giusta	99,1	2,63	1,16	0,0137	0,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1045c	-	Rispristino alveo in calcestruzzo
R2	3,2	1,32	0,74	0,0109	0,74	0,50	0,047	0,035	8,05	32,90	OK	2,36	32,90	OK	1043b	30	
R3	2,1	0,24	0,16	0,0189	0,16	0,50	0,047	0,035	3,03	32,90	OK	0,13	32,90	OK	V1027b		
R4	10,3	0,79	0,45	0,0071	0,45	0,50	0,047	0,035	3,19	32,90	OK	1,00	32,90	OK	1026a	26	
R5	47,6	1,51	1,99	0,0114	1,10	0,50	0,047	0,035	22,64	32,90	OK	2,71	32,90	OK	993	14	
R6	33,0	1,72	0,90	0,0148	0,78	0,50	0,047	0,035	13,28	32,90	OK	3,94	32,90	OK	982c	17	
R7	28,1	0,44	0,17	0,0065	0,17	0,50	0,047	0,035	1,11	32,90	OK	0,43	32,90	OK	957	22	
R8 - Cervaro	818,6	5,90	4,01	0,0069	4,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	954c		NO-DIG
R9	15,9	0,32	0,25	0,0033	0,25	0,50	0,047	0,035	0,83	32,90	OK	0,20	32,90	OK	922b	24	
R10 - Carapelle	895,0	2,31	5,92	0,0096	5,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	859a		NO-DIG
R11	41,2	1,27	1,11	0,0038	0,83	0,50	0,047	0,035	4,18	32,90	OK	2,10	32,90	OK	752d	10	
R12	7,5	0,92	1,08	0,0027	0,64	0,50	0,047	0,035	2,89	32,90	OK	1,20	32,90	OK	738b	51	
R13	91,5	1,04	3,05	0,0028	0,98	0,50	0,047	0,035	8,55	32,90	OK	1,33	32,90	OK	700a	16	
R14	1,8	0,76	0,27	0,0376	0,27	0,50	0,047	0,035	10,15	32,90	OK	1,09	32,90	OK	619b	10	
R15	10,8	1,71	1,03	0,0157	0,76	0,50	0,047	0,035	16,19	32,90	OK	3,92	32,90	OK	604a	12	
R16	145,0	2,29	2,64	0,0063	1,48	0,50	0,047	0,035	16,64	32,90	OK	5,63	32,90	OK	563	23	
R17	62,1	2,14	2,15	0,0077	0,42	0,50	0,047	0,035	16,51	32,90	OK	7,50	32,90	OK	472b	15	
R18	22,0	1,46	0,81	0,0048	0,75	0,50	0,047	0,035	3,88	32,90	OK	2,88	32,90	OK	V470	15	
R19	1,3	0,56	0,15	0,0491	0,06	0,50	0,047	0,035	7,36	32,90	OK	0,99	32,90	OK	213	15	
R20	22,9	1,46	1,64	0,0081	0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	190d	-	NO-DIG
R21	25,4	0,73	0,94	0,0013	0,78	0,50	0,047	0,035	1,25	32,90	OK	0,71	32,90	OK	177c	10	
R22 – Ofanto	2049,0	3,08	3,95	0,0069	3,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140-141	-	NO-DIG
R23 – Canale Lamapopoli	80,73	2,59	2,26	0,0102	1,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	93c	25	Rispristino alveo in calcestruzzo
R24	3,67	1,88	0,44	0,0391	0,30	0,50	0,047	0,035	17,21	32,90	OK	6,44	32,90	OK	54c	8	
R25	36,68	3,07	4,02	0,0195	1,01	1,50	0,047	0,035	78,22	98,70	OK	11,52	98,70	OK	40b	12	
P14.1	0,0	1,11	2,63	0,0021	1,16	0,50	0,047	0,035	5,42	32,90	OK	1,44	32,90	OK	V895	40	

 Tab. 6/I: Tabella riepilogativa delle verifiche a trascinamento relativamente ai reticoli R<sub>i</sub>

## ***6.2 STUDIO DEI PROCESSI EROSIVI NELLE FASCE ESTERNE AGLI ALVEI FLUVIALI***

Dall'analisi dei risultati delle simulazioni condotte con il modello bidimensionale, è emerso che nella quasi totalità dei casi studiati l'onda di piena si estende oltre gli argini dei canali analizzati. La conformazione orografica dei luoghi è prevalentemente pianeggiante, difatti il fronte d'acqua che si propaga oltre gli argini dei canali attraversati è generalmente caratterizzato da notevoli estensioni planimetriche, ma con scarsa energia residua, difatti i risultati delle modellazioni evidenziano tiranti e velocità molto contenute (vedi elaborato E.06 – Quaderno sezioni). Dalla sovrapposizione del tracciato della condotta con le aree interessate dalle piene duecentennali si riscontra che il fronte d'acqua interessa circa 10 km di condotta. Al riguardo si è ritenuto opportuno proteggere la condotta mediante annegamento in cassonetto di calcestruzzo magro e rivestimento superficiale in massi, solo nelle fasce di competenza fluviale ove le modellazioni hanno effettivamente evidenziato la necessità di protezione dell'alveo dall'azione erosiva della corrente. Nelle fasce esterne agli alvei fluviali dei reticoli, ove seppur interessate dall'onda di piena, si riscontrano velocità e tiranti molto contenuti rispetto ai predetti alvei, la scrivente intende procedere con la posa in trincea della condotta e successiva compattazione per strati con materiale selezionato di riempimento, fino al raggiungimento del 95% della densità massima misurata con prova Proctor di laboratorio. Detta soluzione si rende necessaria al fine di consentire una adeguata protezione della condotta dove necessario e al contempo garantire un adeguato ripristino paesaggistico delle fasce interessate dall'onda di piena esterne agli alvei fluviali.

In questo paragrafo si intende affrontare la problematica dell'erosione causata al seguito del verificarsi di piene bicentinarie, come detto nelle fasce di espansione della piena in destra e sinistra idraulica, esterne ai canali. Tale studio ha il fine di individuare, nel caso di un evento di piena, se il terreno è soggetto ad erosione e, nel caso lo fosse, ha il fine di definire, valutando l'entità del materiale mobilizzato dalla spinta idrodinamica dell'acqua, la profondità di posa della condotta in interferenza con i reticoli idrografici, garantendo in tal modo la sicurezza degli stessi.

Attraverso lo studio descritto di seguito sono state definite le distanze da rispettare tra il piano campagna e l'estradosso della condotta.

Si sottolinea che le informazioni riguardanti i litotipi nelle varie aree di studio sono stati desunti dall'elaborato *D.4.1 – Relazione Geologica Idrologia e Sismica* allegata al Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica.

Le verifiche sono state eseguite considerando i dati tecnici relativi a peso specifico  $\gamma_s$  e diametro caratteristico dei grani  $d_{car}$  desunti dal sondaggio più vicino eseguito rispetto all'area in cui ricade la piena ennesima.

Sulla scorta di quanto descritto nei paragrafi precedenti, nonché dai dati elaborati dall'Autorità di bacino Distrettuale, sono state individuate le aree allagabili che, sovrapposte alle intersezioni tra condotta a farsi e reticolo idrografico, hanno consentito non solo di individuare le reali situazioni di rischio, ma anche di definire i dati idraulici utili per lo studio dell'erosione, quali: tirante idrico  $h$  (m), pendenza media dell'asta principale [ $i_{med}$ ], e velocità della corrente con riferimento alla sezione di calcolo prossima alle interferenze in oggetto.

$$\tau = \gamma * i_{med} * h = kg/mq$$

***Equazione 6/1 - Spinta idrodinamica dell'acqua nelle zone di esondazione.***

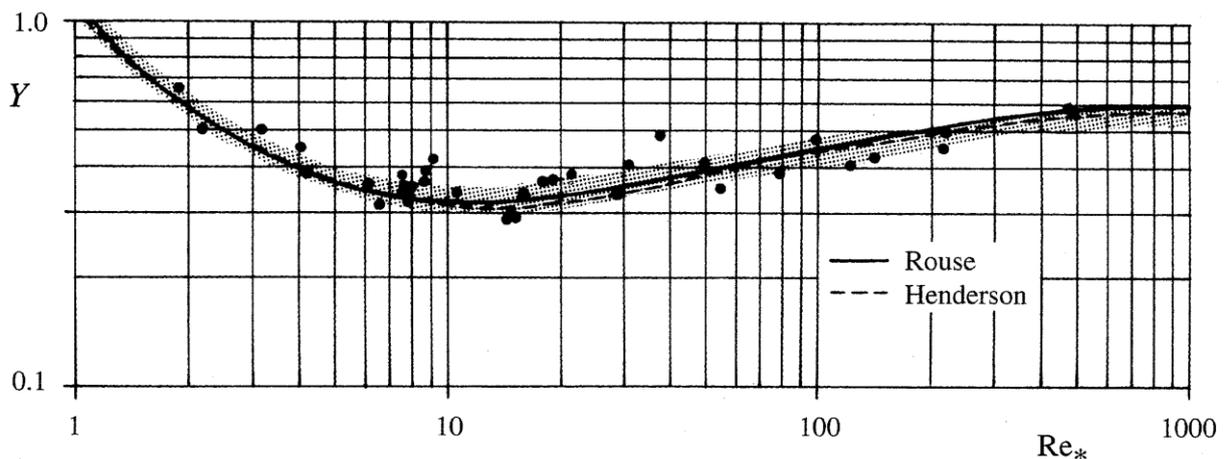
Per definire l'effettivo grado di erosione cui è soggetto il terreno interessato dall'evento di piena si è utilizzata la teoria di Shields. Tale teoria si basa sull'ipotesi che la spinta esercitata dalla corrente sulla particella solida è proporzionale alla superficie investita, a sua volta funzione del diametro delle particelle solide e sull'assunzione che la forza resistente dipende esclusivamente dalla forma del terreno soggetto ad esondazione. A seguito di tale teoria è stato definito l'Abaco di Shields, nel quale è messo in relazione il parametro di Shields [ $Y_c$ ] con il numero di Reynolds di attrito sedimentologico [ $Re^*$ ]. Tale Abaco assume:

- un andamento lineare decrescente di  $Y_c$  per un [ $Re^* < 1$ ] a flusso laminare;
- un andamento costante per [ $Re^* > 400$ ] con [ $Y_c = 0,056$ ] a flusso turbolento;
- un andamento non lineare di  $Y_c$  per un [ $1 < Re^* < 400$ ] zona intermedia.

$$Re^* = \frac{\sqrt{\tau} * d_{car}}{\nu}$$

**Equazione 6/2 - Calcolo del numero di Reynolds di attrito [ $Re^*$ ].**

Nelle verifiche in oggetto i valori ottenuti si dispongono nella zona intermedia dell'Abaco di Shields dove il legame analitico tra il parametro di Shields [ $Y_c$ ] ed il numero di Reynolds di attrito [ $Re^*$ ] è definito attraverso la legge seguente dove [ $x = Re^*/11,6$ ].



**Fig. 6/1 - Abaco di Shields**

$$Y_c = \frac{0.009148}{x} + 0.05449 (1 - e^{-0.5661 x^{0.5224}})$$

**Equazione 6/3: Parametro di Shields [ $Y_c$ ]**

Definito il parametro di Shields è possibile ricavare la tensione tangenziale di moto incipiente che rappresenta il valore limite delle resistenze del terreno, dopo di cui il materiale subisce erosione.

$$\tau_c = Y_c(\gamma_s - \gamma)d_{car} = \frac{kg}{mq}$$

**Equazione 6/4: Tensione tangenziale critica di moto incipiente.**

Confrontando il valore di tensione tangenziale della spinta idrodinamica dell'acqua nelle zone di esondazione (Equazione 1) con quella critica del moto incipiente (Equazione 4) è evidente che il materiale nelle zone di esondazione è soggetto ad erosione.

Dopo aver dimostrato, al verificarsi di un'onda di piena con tempo di ritorno bicentenario, che le zone assoggettate ad esondazione sono soggette ad erosione, si quantifica il materiale eroso al fine di determinare la massima profondità a cui tale erosione può arrivare. A tal fine si utilizza l'approccio di Du Boys, le cui equazioni mettono in conto l'eccesso di tensione tangenziale rispetto al valore critico  $[\tau_c]$ . Il modello di trasporto proposto da Du Boys considera un volume avente lunghezza, nella direzione del fluido, ed una larghezza d'alveo unitaria. In questo modo è possibile definire la massima profondità a cui può arrivare l'erosione del terreno, definita come portata solida volumetrica. Al fine di definire tale portata solida volumetrica è necessario calcolare il parametro definito come coefficiente caratteristico del materiale secondo Du Boys e dedotto dalle esperienze di Zeller in funzione del diametro caratteristico del materiale e del suo peso per unità di volume.

$$\psi = \frac{1.8143}{\gamma_s * d_{car}^{0.7453}} = \frac{m^6}{kg^2 s}$$

**Equazione 6/5:** Coefficiente caratteristico del materiale secondo Du Boys.

$$q_s = \psi \tau (\tau - \tau_c) = \frac{mq}{s}$$

**Equazione 6/6:** Portata volumetrica erosa.

Per passare dalla portata solida volumetrica alla quantità di materiale eroso, si fa riferimento ad una velocità media del fluido in m/s, desunta dalla sezione di calcolo estrapolata dai modelli bidimensionali illustrati al capitolo precedente; il modello utilizzato da Du Boys considera un volume di osservazione avente lunghezza e larghezza unitaria, quindi l'unica incognita (X) rimane la profondità.

$$V_{mat.solido} = lung * larg * prof = 1 * 1 * X = X m^3$$

**Equazione 6/7:** Volume del materiale solido con il modello di Du Boys.

È necessario sottolineare alcune delle assunzioni del modello, ossia che il materiale solido a contatto con il fluido assume la stessa velocità e l'andamento della velocità con la profondità decresce linearmente, fino ad una profondità a cui il materiale solido non è soggetto

ad erosione. Quindi la velocità del materiale solido eroso varia da quella del fluido al valor nullo.

$$v_{media\ mat.\ solido} = \frac{v_{max} + v_{min}}{2} = \frac{v_{fluido} + 0}{2} = \frac{m}{s}$$

**Equazione 6/8:** *Velocità media del materiale solido trasportato con variazione lineare e valor massimo pari alla velocità del fluido e valor minimo nullo.*

Partendo dalla portata solida volumetrica si può ricavare la profondità a cui il materiale è soggetto ad erosione.

$$q_s = v_{M\ mat.\ solido} * larg * prof = v_{M\ mat.\ solido} * 1 * X = v_{M\ mat.\ solido} * X \frac{m^3}{s}$$

**Equazione 6/9:** *Portata volumetrica erosa.*

$$X = \frac{q_s}{larg * v_{M\ mat.\ solido}} = m$$

**Equazione 6/10:** *Profondità massima a cui il materiale solido è soggetto ad erosione.*

In base al modello di trasporto, sopra citato, la portata volumetrica è stata calcolata con una lunghezza e larghezza unitaria tale da rendere incognita solo la profondità del volume trasportato. Quest'ultima, dunque coinciderà con la profondità (in metri) della materia erosa.

Pertanto, si può stimare la "profondità da calcolo", ossia la massima erosione dal piano campagna già comprensiva del franco di sicurezza pari ad 1.00 metro, in linea con quanto suggerito dalla letteratura tecnica di settore. Quindi è lecito definire il materiale al di sotto di tale profondità stabile e non soggetto ad alcun tipo di erosione.

$$X_{calcolo} = X + 1,00 = m$$

Si sottolinea che nello studio dei fenomeni erosivi condotto, si è ipotizzato il terreno di tipo monogranulare. La presenza, invece, di materiale più grossolano anche se in quantità minori, tende a fornire un effetto di schermatura sulle particelle fini. In considerazione di tale

erosione selettiva sarebbe stato possibile introdurre parametri correttivi che in questa analisi sono stati omessi, quindi si ritiene che tale studio sia cautelativo.

Nella tabella che segue sono riportati per tutte le aree di espansione della piena ove è prevista la posa in trincea della condotta e successiva compattazione del rinterro per strati con materiale selezionato di riempimento, fino al raggiungimento del 95% della densità massima misurata con prova Proctor di laboratorio, i parametri calcolati e sin qui descritti. Si precisa che per l’area a pericolosità idraulica individuata con la dicitura P14 e ricadente in media pericolosità idraulica, non avendo portato la simulazione risultati, è stato considerata una profondità di erosione pari ad un valore medio tra quelli della medesima area.

Reticolo	Sondaggio di riferimento	i	h	d <sub>50</sub>	γ <sub>w</sub>	γ <sub>s</sub>	τ	U*	Re*	Yc	τ <sub>c</sub>	Verifica	ψ	q <sub>s</sub>	V <sub>m,mat,solido</sub>	X	Δ Piano campagna - cielo condotta	Franco
	n	m/m	m	mm	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>2</sup>	m/s	-	m	kg/mq	-	m <sup>6</sup> /kg <sup>2</sup> s	m <sup>2</sup> /s	m/s	m	m	m
R1	SG.01	0.007	0.66	0.0120	1000	1800	4.62	0.215	10.747	0.033	0.000314	FALSO	0.027	0.581	0.66	<b>0.89</b>	2.70	1.81
R2	SG.01	0.008	0.36	0.0120	1000	1800	2.88	0.170	8.485	0.033	0.000320	FALSO	0.027	0.226	0.35	<b>0.65</b>	1.76	1.11
R3	SG.02	0.008	0.08	0.0145	1000	1800	0.64	0.080	4.000	0.042	0.000483	FALSO	0.024	0.010	0.08	<b>0.12</b>	1.66	1.54
R4	SG.02	0.007	0.10	0.0145	1000	1800	0.70	0.084	4.183	0.041	0.000473	FALSO	0.024	0.012	0.20	<b>0.06</b>	1.65	1.59
R5	SG.03	0.005	0.46	0.0130	1000	1890	2.30	0.152	7.583	0.034	0.000392	FALSO	0.024	0.129	0.64	<b>0.20</b>	2.57	2.37
R6	SG.04	0.009	0.41	0.0155	1000	1870	3.69	0.192	9.605	0.033	0.000444	FALSO	0.022	0.295	0.51	<b>0.58</b>	3.95	3.37
R7N	SG.05	0.006	0.10	0.0100	1000	1840	0.60	0.077	3.873	0.042	0.000355	FALSO	0.031	0.011	0.09	<b>0.12</b>	3.19	3.07
R8 - Cervaro dx idr	SG.05	0.006	0.50	0.0100	1000	1840	2.80	0.167	8.367	0.033	0.000280	FALSO	0.031	0.239	0.27	<b>0.90</b>	3.50	2.60
R9	SG.06	0.002	0.16	0.0100	1000	1680	0.32	0.057	2.828	0.050	0.000343	FALSO	0.033	0.003	0.15	<b>0.02</b>	1.65	1.63
R11	SG.08	0.004	0.47	0.1300	1000	1960	1.88	0.137	6.856	0.035	0.004309	FALSO	0.004	0.015	0.34	<b>0.04</b>	1.64	1.60
R12	SG.08	0.001	1.03	0.1300	1000	1960	1.03	0.101	5.074	0.038	0.004701	FALSO	0.004	0.004	0.07	<b>0.07</b>	2.95	2.88
R13	SG.08	0.004	1.47	0.1300	1000	1960	5.88	0.242	12.124	0.033	0.004083	FALSO	0.004	0.146	0.19	<b>0.79</b>	2.50	1.71
R14	SG.08	0.015	0.25	0.1300	1000	1960	3.75	0.194	9.682	0.033	0.004105	FALSO	0.004	0.059	0.38	<b>0.16</b>	1.75	1.59
R15	SG.08	0.011	0.56	0.1300	1000	1960	6.16	0.248	12.410	0.033	0.004084	FALSO	0.004	0.161	0.43	<b>0.37</b>	3.00	2.63
R16	SG.08	0.006	0.81	0.1300	1000	1960	4.62	0.215	10.744	0.033	0.004085	FALSO	0.004	0.090	0.63	<b>0.14</b>	1.64	1.50
R17	SG.09	0.005	0.61	0.0060	1000	1900	2.75	0.166	8.284	0.033	0.000180	FALSO	0.043	0.326	0.63	<b>0.52</b>	1.67	1.15
R18	SG.09	0.004	0.45	0.0060	1000	1900	1.80	0.134	6.708	0.035	0.000187	FALSO	0.043	0.140	0.47	<b>0.30</b>	2.50	2.20
R19	SG.10	0.025	0.10	0.0550	1000	1820	2.50	0.158	7.906	0.034	0.001517	FALSO	0.009	0.054	0.25	<b>0.22</b>	2.38	2.16
R20	SG.10	0.005	0.25	0.0550	1000	1820	1.20	0.110	5.477	0.037	0.001655	FALSO	0.009	0.012	0.22	<b>0.06</b>	2.78	2.72
R21	SG.11	0.003	0.60	0.0025	1000	1951	1.50	0.122	6.124	0.035	0.000084	FALSO	0.081	0.182	0.20	<b>0.91</b>	2.48	1.57
R22_sx_Idraulica	SG.11	0.001	1.45	0.0025	1000	1951	1.45	0.120	6.021	0.036	0.000085	FALSO	0.081	0.170	0.43	<b>0.40</b>	1.55	1.15
R22_dx_Idraulica	SG.11	0.001	0.81	0.0025	1000	1951	0.81	0.090	4.500	0.039	0.000094	FALSO	0.081	0.053	0.93	<b>0.06</b>	1.6	1.54
R23	SG.12	0.004	0.48	0.0152	1000	1951	1.92	0.139	6.928	0.034	0.000498	FALSO	0.021	0.078	0.55	<b>0.14</b>	2.35	2.21
R24	SG.12	0.020	0.35	0.0152	1000	2000	7.00	0.265	13.229	0.033	0.000498	FALSO	0.021	1.007	0.58	<b>1.75</b>	3.71	1.96
R25	SG.12	0.015	0.64	0.0152	1000	2000	9.60	0.310	15.492	0.033	0.000504	FALSO	0.021	1.894	1.18	<b>1.60</b>	6.70	5.10

Tab. 6/2: Tabella riepilogativa delle verifiche a trascinamento relativamente ai reticoli R<sub>i</sub>

Reticolo	Sondaggio di riferimento	i	h	d <sub>50</sub>	γ <sub>w</sub>	γ <sub>s</sub>	τ	U*	Re*	Yc	τ <sub>c</sub>	Verifica	ψ	q <sub>s</sub>	V <sub>m,mat,solido</sub>	X	Δ Piano campagna - cielo condotta	Franco
	n	m/m	m	mm	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>2</sup>	m/s	-	m	kg/mq	-	m <sup>6</sup> /kg <sup>2</sup> s	m <sup>2</sup> /s	m/s	m	m	m
P1	SG.01	0.010	0.22	0.0120	1000	1800	2.20	0.148	7.416	0.034	0.000326	FALSO	0.027	0.132	0.21	<b>0.64</b>	4.20	3.56
P2	SG.01	0.013	0.13	0.0120	1000	1800	1.69	0.130	6.500	0.035	0.000336	FALSO	0.027	0.078	0.28	<b>0.28</b>	2.12	1.84
P3	SG.01	0.011	0.12	0.0120	1000	1800	1.32	0.115	5.745	0.036	0.000347	FALSO	0.027	0.047	0.30	<b>0.16</b>	4.84	4.68
P4	SG.02	0.010	0.2	0.0145	1000	1800	2.00	0.141	7.071	0.034	0.000398	FALSO	0.024	0.095	0.26	<b>0.37</b>	2.06	1.69
P5	SG.02	0.010	0.18	0.0145	1000	1800	1.75	0.132	6.607	0.035	0.000404	FALSO	0.024	0.072	0.27	<b>0.27</b>	1.80	1.53
P6	SG.02	0.005	0.35	0.0145	1000	1800	1.65	0.128	6.413	0.035	0.000407	FALSO	0.024	0.064	0.11	<b>0.58</b>	1.70	1.12
P7	SG.03	0.009	0.4	0.0130	1000	1890	3.60	0.190	9.487	0.033	0.000381	FALSO	0.024	0.317	0.37	<b>0.86</b>	2.57	1.71
P8	SG.04	0.005	0.4	0.0155	1000	1870	2.00	0.141	7.071	0.034	0.000463	FALSO	0.022	0.087	0.29	<b>0.30</b>	1.45	1.15
P9	SG.05	0.001	0.47	0.0100	1000	1840	0.47	0.069	3.428	0.045	0.000378	FALSO	0.031	0.007	0.12	<b>0.06</b>	3.19	3.13
P9.1	SG.05	0.001	0.47	0.0100	1000	1840	0.47	0.069	3.428	0.045	0.000378	FALSO	0.031	0.007	0.12	<b>0.06</b>	3.19	3.13
P10	SG.06	0.004	0.09	0.0100	1000	1680	0.36	0.060	3.000	0.049	0.000331	FALSO	0.033	0.004	0.08	<b>0.05</b>	1.69	1.64
P10.1	SG.06	0.004	0.09	0.0100	1000	1680	0.36	0.060	3.000	0.049	0.000331	FALSO	0.033	0.004	0.08	<b>0.05</b>	1.69	1.64
P11	SG.06	0.004	0.4	0.0100	1000	1680	1.60	0.126	6.325	0.035	0.000239	FALSO	0.033	0.086	0.30	<b>0.29</b>	1.44	1.15
P12	SG.06	0.004	0.25	0.0100	1000	1680	1.00	0.100	5.000	0.038	0.000258	FALSO	0.033	0.033	0.23	<b>0.15</b>	1.45	1.30
P13	SG.06	0.002	0.9	0.0100	1000	1680	1.80	0.134	6.708	0.035	0.000236	FALSO	0.033	0.108	0.25	<b>0.43</b>	1.58	1.15
P14	SG.08	0.002		0.1300	1000	1600										<b>0.14</b>	1.28	1.14
P14.1	SG.08	0.008	0.37	0.1300	1000	1600	2.96	0.172	8.602	0.033	0.002594	FALSO	0.005	0.045	0.37	<b>0.12</b>	3.60	3.48
P15	SG.08	0.003	0.56	0.1300	1000	1600	1.68	0.130	6.481	0.035	0.002728	FALSO	0.005	0.015	0.37	<b>0.04</b>	1.64	1.60
P16	SG.08	0.002	0.9	0.1300	1000	1600	1.35	0.116	5.809	0.036	0.002810	FALSO	0.005	0.009	0.52	<b>0.02</b>	1.43	1.41
P17	SG.08	0.003	0.24	0.1300	1000	1600	0.72	0.085	4.243	0.041	0.003160	FALSO	0.005	0.003	0.08	<b>0.04</b>	1.63	1.59

Tab. 6/3: Tabella riepilogativa delle verifiche a trascinamento relativamente alle aree perimetrate a pericolosità idraulica P<sub>i</sub>

### 6.3 VERIFICA EROSIONE FONDO ALVEI CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

In ultima analisi è stato condotto uno studio atto a verificare quali sono gli effetti della piena bicentennale nei confronti degli alvei del Torrente Cervaro, Torrente Carapelle e del Fiume Ofanto laddove è previsto l'attraversamento dei corsi d'acqua mediante tecnica no-dig di microtunneling.

Lo studio è stato eseguito con l'ausilio del software HEC-RAS, mediante la funzione *sediment transport simulation*.

Partendo dalla base teorica già esposta al paragrafo 6.1, il software permette di simulare l'evoluzione del fondo alveo per una porzione di interesse, al fine di stabilire se gli effetti della piena possono provocare o meno fenomeni di erosione particolarmente intensi tanto da poter pregiudicare la sicurezza dell'attraversamento che, come detto, sarà eseguita con tecnica no-dig di microtunneling.

#### 6.3.1 DATI DI INPUT

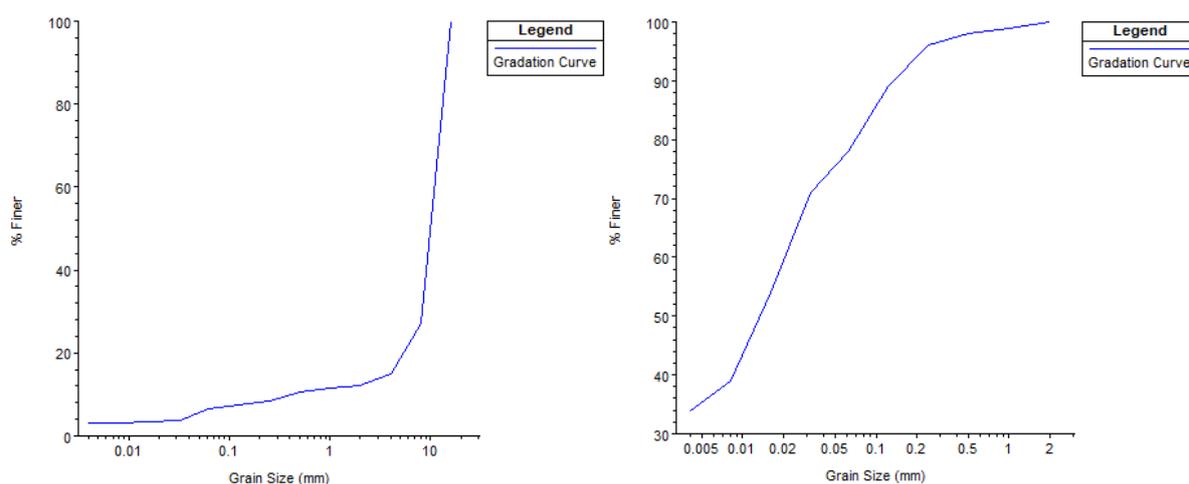
##### Geometric data

In primo passo è stato ricostruire la geometria degli alvei dei tre corsi d'acqua principali oggetto di studio. E' stata impiegata quale base dati i rilievi lidar rispettivamente del Torrente Cervaro, del Torrente Carapelle e del Fiume Ofanto. E' stata studiata per ciascun corso d'acqua una porzione di asta fluviale estesa rispettivamente circa 1,5 km per il Torrente Cervaro, circa 6 km per il Torrente Carapelle e circa 3,5 km per il Fiume Ofanto. Per ciascuna sezione tracciata lungo lo sviluppo longitudinale ricostruito in precedenza, è stata definita la scabrezza, la quale è stata assunta pari a  $0,05 \text{ s/m}^{1/3}$  per la parte di sezione esterna all'alveo e  $0,035 \text{ s/m}^{1/3}$  per la parte interna. In corrispondenza dell'attraversamento del vettore sotto ciascun corso d'acqua, è stata tracciata una sezione al fine di valutare puntualmente l'effetto dell'erosione rispetto alla profondità di infissione della condotta.

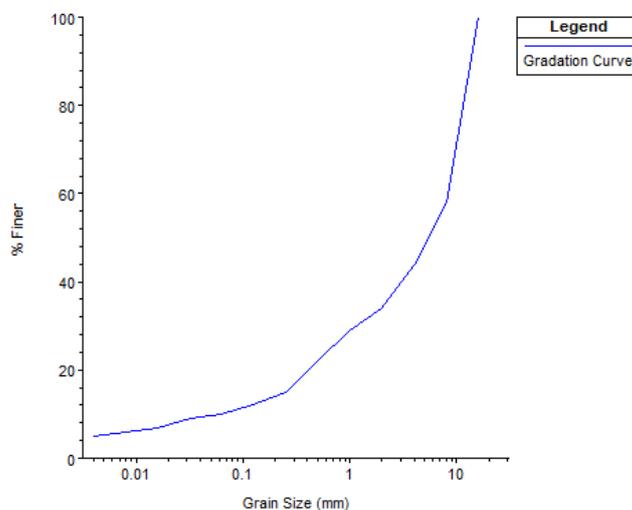
##### Sediment data

Il secondo passo è stato definire i parametri caratteristici relativi a ciascun corso d’acqua riguardanti la granulometria dei fondi alveo. Al riguardo è stata eseguita una campagna di sondaggi ad hoc atta a ricostruire la curva granulometrica del materiale costituente il fondo alveo per tutti e tre gli alvei.

Di seguito si riportano le curve granulometriche implementate nel software di calcolo HEC-RAS.



**Fig. 6/2** - a sinistra curva granulometrica afferente al fondo alveo del Torrente Cervaro; a destra curva granulometrica afferente al fondo alveo del Torrente Carapelle



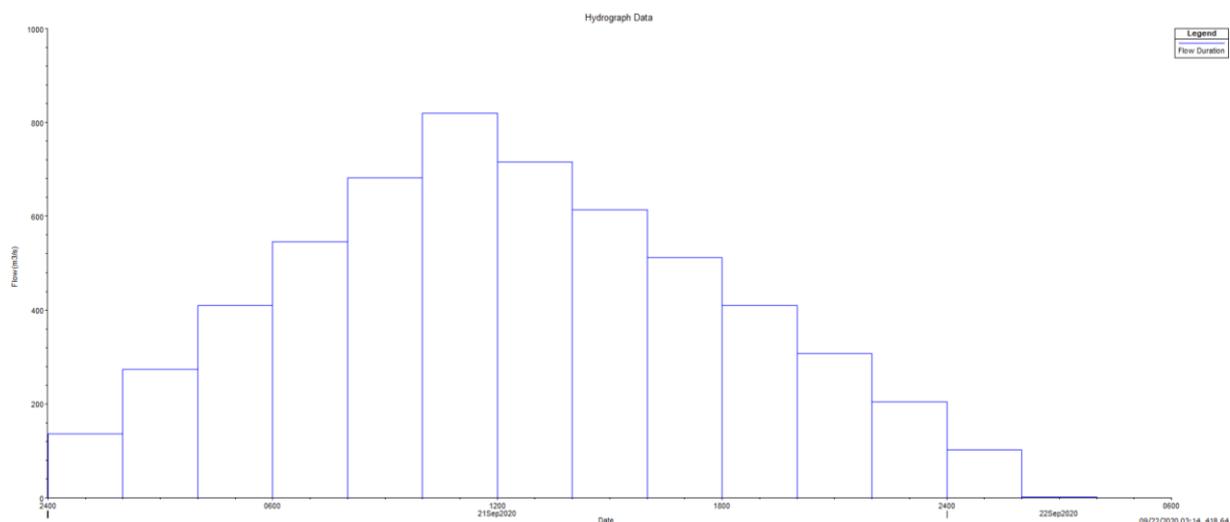
**Fig. 6/3** - curva granulometrica afferente al fondo alveo del Fiume Ofanto

Per semplicità, nelle condizioni al contorno sono state impostate le predette granulometrie per ciascuna sezione di calcolo del corso d’acqua di riferimento. Inoltre per ogni

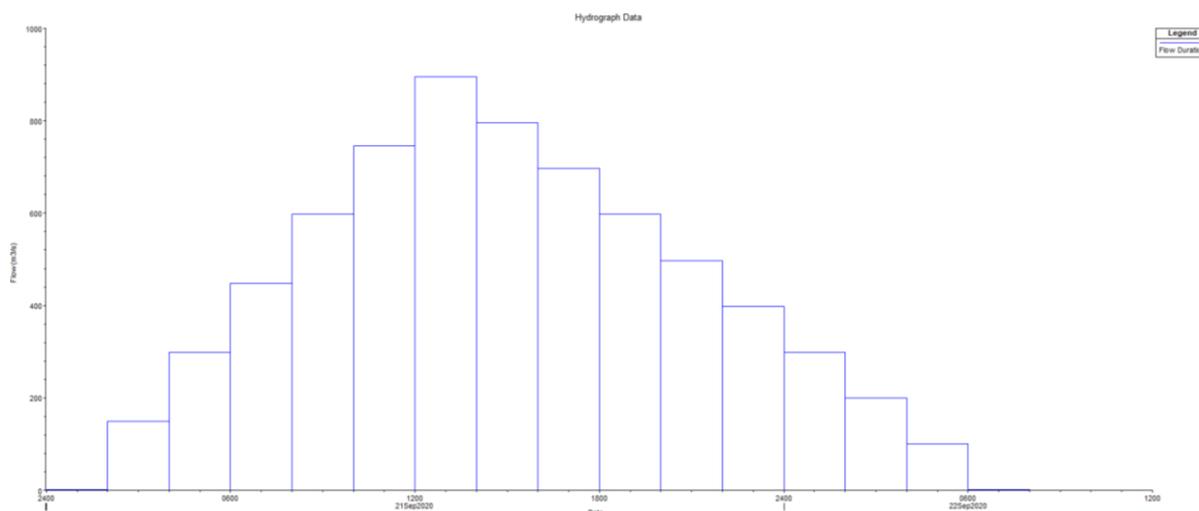
sezione è stata impostata la profondità massima di erosione ammissibile (6 metri rispetto al fondo alveo) e la larghezza della porzione erodibile di sezione. Nella sezione di monte è stato impostato il carico di equilibrio mentre in quella di valle la pendenza del fondo alveo. In ultimo è stata scelta la *funzione trasporto* che, a valle di più simulazioni, ha permesso di determinare la condizione plausibile più cautelativa di erosione. Per tutti e tre i casi è stata impiegata la funzione Wilcock – Crowe.

### Flow data

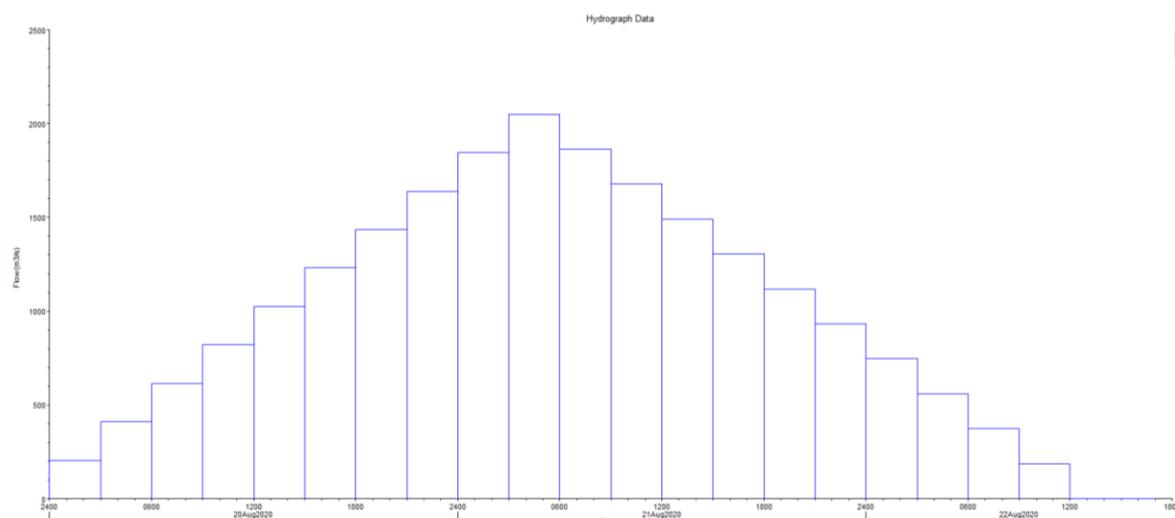
Al fine di simulare l’evento di piena sono stati inseriti gli idrogrammi di piena calcolati al paragrafo 4.3.2, i quali sono stati discretizzati in step di 2/3 ore (definiti *flow duration*) e ciascun step è stato parzializzato in *increment* di frazioni di ore. Di seguito si riportano gli istogrammi derivanti dalla discretizzazione di cui sopra per i 3 corsi d’acqua.



**Fig. 6/4 - Idrogramma a step di portate Torrente Cervaro**



*Fig. 6/5 - Idrogramma a step di portate Torrente Carapelle*



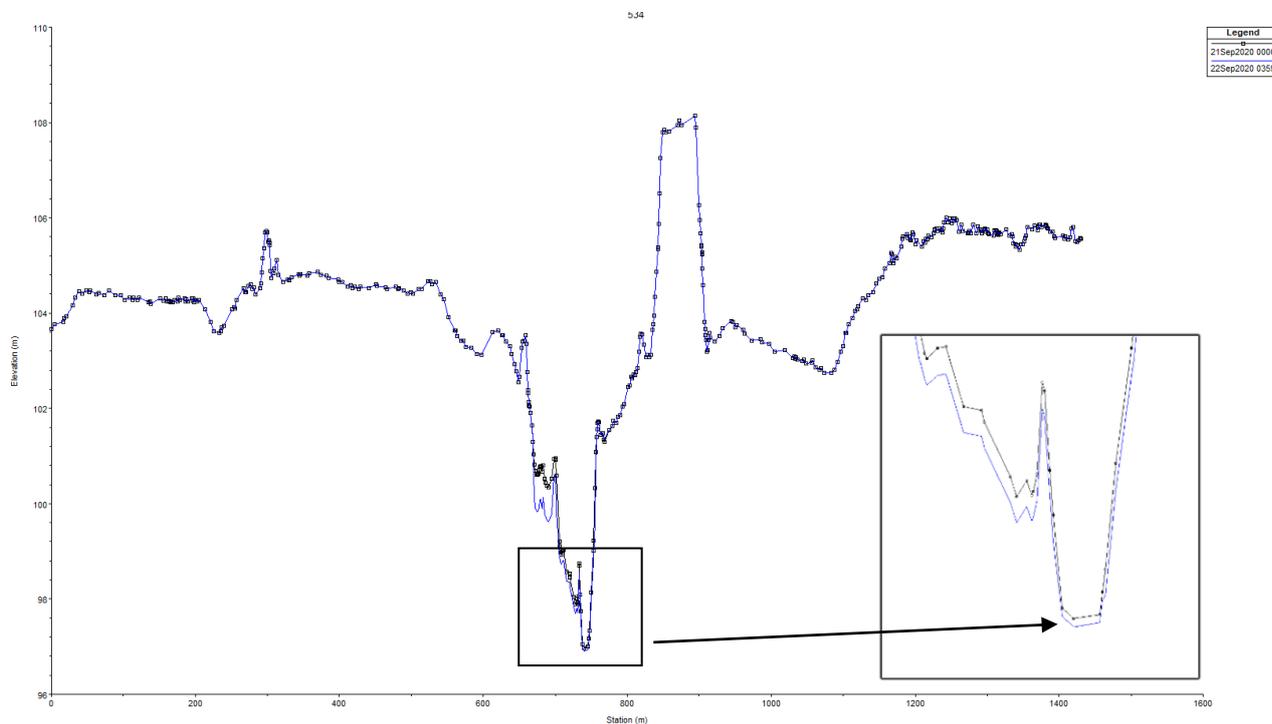
*Fig. 6/6 - Idrogramma a step di portate Fiume Ofanto*

## Risultati

Per tutti e tre i corsi d'acqua analizzati è stata riscontrata un'azione erosiva della corrente in corrispondenza della sezione interessata dal passaggio della condotta.

Per quanto riguarda il Torrente Cervaro, i risultati della modellazione evidenziano che in corrispondenza dell'attraversamento del vettore in progetto, la sezione subisce una lieve erosione. Nello specifico nel punto più depresso la sezione passa da una profondità di 96.97 m s.l.m a 96.91 m s.l.m, pertanto si riscontra una erosione pressoché trascurabile di 6 cm.

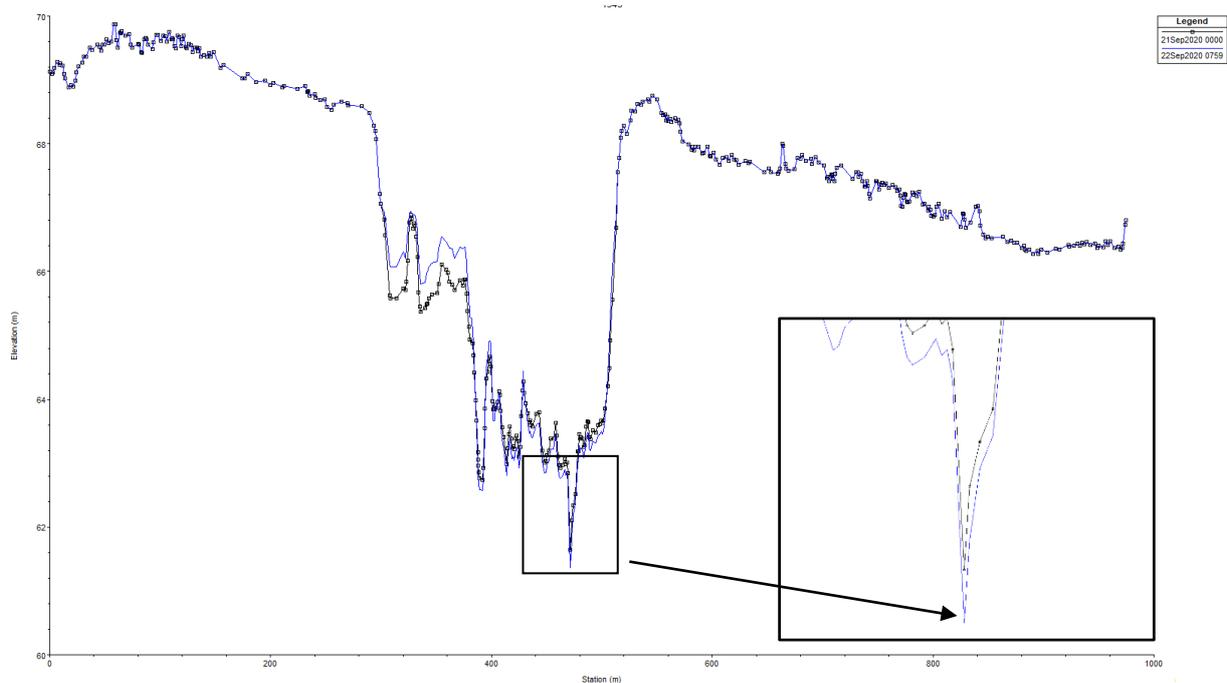
Nella seguente immagine si riporta la sezione interessata dal passaggio della condotta con il particolare dell’erosione di fondo alveo.



**Fig. 6/7** - Azione erosiva della corrente in corrispondenza della sezione di attraversamento della condotta in progetto – Torrente Cervaro.

Per quanto riguarda il Torrente Carapelle, i risultati della modellazione evidenziano che in corrispondenza dell’attraversamento della condotta, la sezione subisce una lieve erosione. Nello specifico nel punto più depresso la sezione passa da una profondità di 61.65 m s.l.m a 61.36 m s.l.m, pertanto si riscontra una erosione di 29 cm.

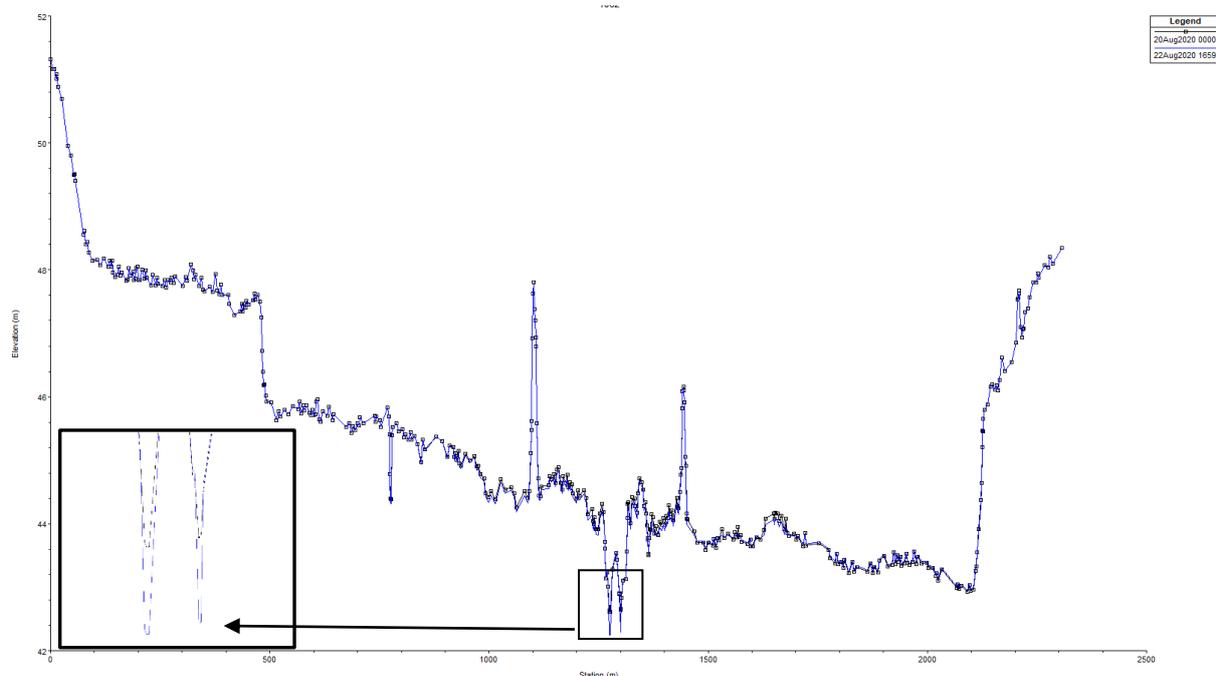
Nella seguente immagine si riporta la sezione interessata dal passaggio della condotta con il particolare dell’erosione di fondo alveo.



**Fig. 6/8** - *Azione erosiva della corrente in corrispondenza della sezione di attraversamento della condotta in progetto – Torrente Carapelle*

Per quanto riguarda il Fiume Ofanto, i risultati della modellazione evidenziano che in corrispondenza dell'attraversamento della condotta, la sezione subisce una lieve erosione. Nello specifico nel punto più depresso la sezione passa da una profondità di 42.61 m s.l.m a 42.25 m s.l.m, pertanto si riscontra una erosione di 36 cm.

Nella seguente immagine si riporta la sezione interessata dal passaggio della condotta con il particolare dell'erosione di fondo alveo.



**Fig. 6/9** - Azione erosiva della corrente in corrispondenza della sezione di attraversamento della condotta in progetto – Fiume Ofanto..

In definitiva in tutti e tre i casi analizzati, l’azione erosiva della corrente provoca delle escavazioni del fondo alveo che possono ritenersi trascurabili rispetto alla profondità di posa della condotta nelle medesime sezioni. Difatti, come anticipato al paragrafo 5.1.3, in corrispondenza del Torrente Cervaro, l’attraversamento sarà eseguito con microtunneling avendo cura di mantenere un franco di 5 m tra il cielo del controtubo ed il fondo dell’alveo, per quanto attiene al Torrente Carapelle il franco sarà di 4,5 m, mentre per quanto riguarda il Fiume Ofanto, il franco tra estradosso del controtubo e fondo alveo sarà di almeno 5 m.

## 7. Conclusioni

Il presente studio di compatibilità idrologia ed idraulica al vigente P.A.I. delle opere relative alle opere di interconnessione dell'Acquedotto del LOCONE II LOTTO dall'opera di disconnessione di Canosa al serbatoio di Foggia.

Come anticipato in premessa l'intervento consiste essenzialmente nella realizzazione di un'adduttrice in acciaio della lunghezza di oltre 61 km, dall'opera di disconnessione di Canosa al serbatoio di Foggia. Il tracciato della condotta sopra descritto interseca in molteplici punti il reticolo idrografico in sezioni di corsi d'acqua ad importanza variabile in termini di superficie scolante. A tal riguardo, a parte quattro casi ove saranno realizzati attraversamenti NO-DIG, si prevede l'alloggiamento delle condotte mediante scavo in trincea con relativo rivestimento.

Conformemente a quanto richiesto da AdB, con la presente relazione, sulla base del rilievo topografico e delle indagini geologiche, è stato predisposto uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ha analizzato gli effetti di un possibile trascinamento del materiale costituente il fondo degli alvei dei canali e corsi d'acqua principali interferenti con il tracciato della condotta. Nello specifico, sono stati prima ricostruiti i bacini idrografici grazie ai dati DTM (Digital Terrain Models) e la "carta idrogeomorfologica" redatta dall'Autorità di Bacino della Puglia.

Successivamente, dopo aver determinato le relative portate duecentennali secondo la metodologia VAPI, sfruttando il rilievo topografico ed il rilievo LIDAR per tutti i reticoli oggetto di studio interferenti con la condotta di progetto, si sono costruiti dei modelli idraulici bidimensionali (2D) di tali tratti utilizzando il software di calcolo HEC-RAS 2D, sviluppato dalla US ARMY engineering corps, e reso freeware attraverso internet.

A valle delle modellazioni bidimensionali condotte per tutti i reticoli idrografici e aree perimetrate a pericolosità idraulica, sono stati ricavati i valori delle impronte idrauliche determinate dalla propagazione delle portate duecentennali relative ai singoli compluvi e in corrispondenza dell'intersezione della condotta con quest'ultimi si sono determinati i valori di tiranti idrici e velocità della corrente utili a verificare le opere di protezione.

E' stata valutata la tensione minima di trascinamento del rivestimento previsto sul fondo alveo in corrispondenza delle intersezioni della condotta con gli impluvi, verificando

che quest'ultima fosse maggiore rispetto a quella effettivamente esercitata dalla piena bicentennale incrementata di un opportuno coefficiente di sicurezza.

I risultati di tali verifiche hanno mostrato come il valore della tensione tangenziale esercitata dalla corrente sul rivestimento risulta essere sempre minore rispetto al valore indicato come valore minimo di soglia (o valore critico); pertanto, realizzando il ripristino della sezione di scavo con la tipologia di materiale scelto, non si realizzeranno le condizioni di trasporto e/o erosione al fondo in nessuna delle sezioni oggetto di studio.

Nelle fasce esterne agli alvei fluviali dei reticoli, seppur interessate dall'onda di piena, si riscontrano velocità e tiranti molto contenuti rispetto ai predetti alvei. Le verifiche eseguite hanno permesso di accertare che vi sia un franco superiore ad 1 m di profondità tra l'estradosso superiore della condotta e la massima profondità erodibile del terreno dovuta alle forze di trascinamento generate dagli eventi aventi tempo di ritorno di 200 anni. Pertanto in dette aree, la scrivente intende procedere con la posa in trincea della condotta e successiva compattazione per strati con materiale selezionato di riempimento, fino al raggiungimento del 95% della densità massima misurata con prova Proctor di laboratorio.

Per quanto concerne gli attraversamenti dei corsi d'acqua principali e precisamente il Fiume Ofanto, il Torrente Carapelle ed il Torrente Cervaro, sono stati previsti attraversamenti con tecnica di microtunneling che prevedono un franco minimo di 4,5 m tra il fondo alveo ed il cielo della controtubo di protezione della condotta per il Torrente Carapelle e 5 m per il Fiume Ofanto ed il Torrente Cervaro. Al riguardo è stata condotta mediante il software HEC-RAS un'opportuna analisi di trasporto solido dei fondi alveo che nel peggiore dei casi ha permesso di verificare un'azione erosiva quantificata in un massimo di 36 cm in corrispondenza del Fiume Ofanto. Pertanto la tipologia di attraversamento previsto per i tre corsi d'acqua principali può ritenersi ampiamente cautelativa. In ultimo è emerso che in alcuni casi sono previsti dei pozzetti di scarico/sfiato o camere di spinta/arrivo no-dig all'interno di aree perimetrare a Pericolosità Idraulica. Al riguardo, è stato verificato per ogni caso che i tiranti e le velocità della corrente nei punti ove ricadono i pozzetti sono molto basse. Questi non essendo delocalizzabili, stante la tipologia di opera a farsi, la scrivente intende procedere realizzando detti manufatti a tenuta stagna al fine di proteggere la condotta da eventuali sversamenti di acqua all'interno degli stessi durante eventi di precipitazione eccezionale.

## 8. Allegati

- 1) E.01 – Corografia
- 2) E.02 - Planimetria Bacini idrografici
- 3) E.03 - Rilievo attraversamenti
- 4) E.04 - Planimetrie input HEC RAS
- 5) E.05 - Planimetrie Aree inondabili
- 6) E.06 - Quaderno sezioni