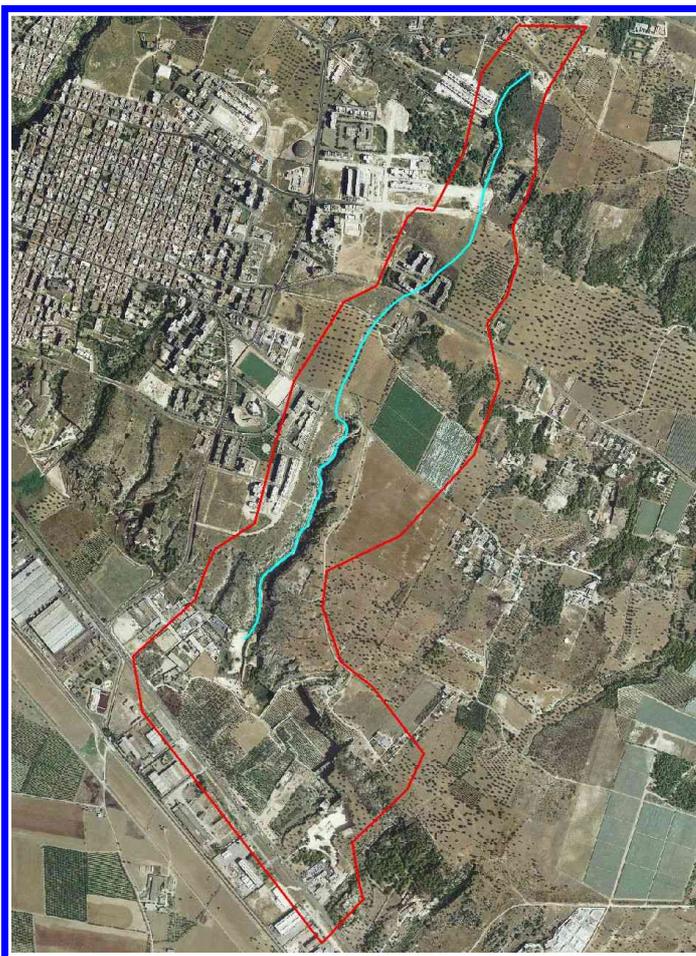


COMUNE DI MASSAFRA

***Analisi del rischio idraulico nel bacino del canale
Patemisco e dei suoi principali affluenti***

III Parte – Gravine Palombaro e Cave di Tufo



ELABORATO : RELAZIONE GENERALE - SINTESI

Marzo 2009

Consulente: Ing. Dario Tricoli

Comune di Massafra

***Analisi del rischio idraulico nel bacino del canale Patemisco
e dei suoi principali affluenti***

III Parte – Gravine Palombaro e Cave di Tufo

Marzo 2009

Consulente: Ing. Dario Tricoli

1 Premessa

Il presente studio è finalizzato all'analisi del rischio idraulico nel bacino idrografico del Canale Patemisco nel comune di Massafra, provincia di Taranto.

Il canale Patemisco presenta il tratto terminale sistemato artificialmente, completamente rivestito in lastre di cemento, della lunghezza di circa 3 Km, con una sezione a doppio trapezio. Nella parte più alta del bacino, il reticolo idrografico è costituito dalle tre gravine principali **Colombato**, **Madonna della Scala** e **San Marco**, che attraversano il centro abitato di Massafra, posto a monte della SS 7, e la zona industriale, posta a valle della medesima statale. In quest'ultima zona in particolare, il reticolo idrografico non risulta in grado di simulazione le portate che si registrano in occasione di eventi di piena di importanza media e alta, per cui va in crisi, con conseguenti danni alle infrastrutture ed al patrimonio edilizio, come verificatosi negli ultimi anni, in particolare negli eventi del settembre 2003 e dicembre 2005. Per ovviare in parte a questa situazione, sono attualmente in fase di avvio alcuni interventi per i quali il comune di Massafra ha ottenuto un finanziamento CIPE.

Una soluzione definitiva alle problematiche del rischio idraulico del comune di Massafra potrà aversi solo a seguito di un'analisi del rischio idraulico di dettaglio sul territorio, che prima evidenzii le cause del dissesto allo stato attuale, quindi delimiti le aree attualmente a rischio ed individui, infine, le tipologie di intervento da mettere in atto al fine della mitigazione del rischio idraulico.

In questa ottica si inserisce il presente studio, che costituisce un primo stralcio dell'Analisi del rischio idraulico nel bacino del canale Patemisco, ed è finalizzato a perimetrare le aree soggette a diversa pericolosità idraulica nel tratto terminale dello stesso canale, al fine di chiedere una ripermutazione del rischio idraulico indicato sulla cartografia del PAI Puglia.

L'analisi del rischio idraulico è stata condotta attraverso una prima fase propedeutica di reperimento dati cartografici e meteorologici. E' stata quindi condotta una modellazione idrologica dell'intero bacino idrografico del canale Patemisco e quindi una modellazione idraulica del suo tratto terminale.

Le metodologie utilizzate nelle varie fasi, che saranno nel seguito descritte in dettaglio, sono in pieno accordo con le indicazioni contenute nel PAI Puglia. In particolare, per la modellazione idrologica è stato utilizzato un modello a parametri concentrati con l'ausilio del software HEC – HMS. Per la valutazione del profilo idrico nel reticolo e la perimetrazione, sono stati invece utilizzati un modello idraulico in regime di moto vario con schema quasi bidimensionale con l'ausilio del software HEC – RAS e uno con schema bidimensionale dove le caratteristiche morfologiche lo richiedevano.

L'analisi del rischio idraulico nel territorio comunale di Massafra è stata svolta in tre fasi temporali distinte che hanno riguardato porzioni del reticolo idraulico sempre nel bacino del canale Patemisco e precisamente:

- I. 2005 - tratto terminale del Canale Patemisco, dalla Masseria Patemisco fino alla foce, condotta con un modello di calcolo in regime di moto vario con schema quasi-bidimensionale;
- II. 2008 - tratto di monte del Canale Patemisco, comprendente anche le gravine Colombato, Madonna della Scala e San Marco, condotta con un modello di calcolo in regime di moto permanente con schema monodimensionale;
- III. 2009 – Gravina del Palombaro e Gravina delle Cave di Tufo, condotta con un modello di calcolo in regime di moto vario con schema bidimensionale.

Nel seguito vengono descritte le attività condotte e i principali risultati conseguiti nella terza fase di attività.

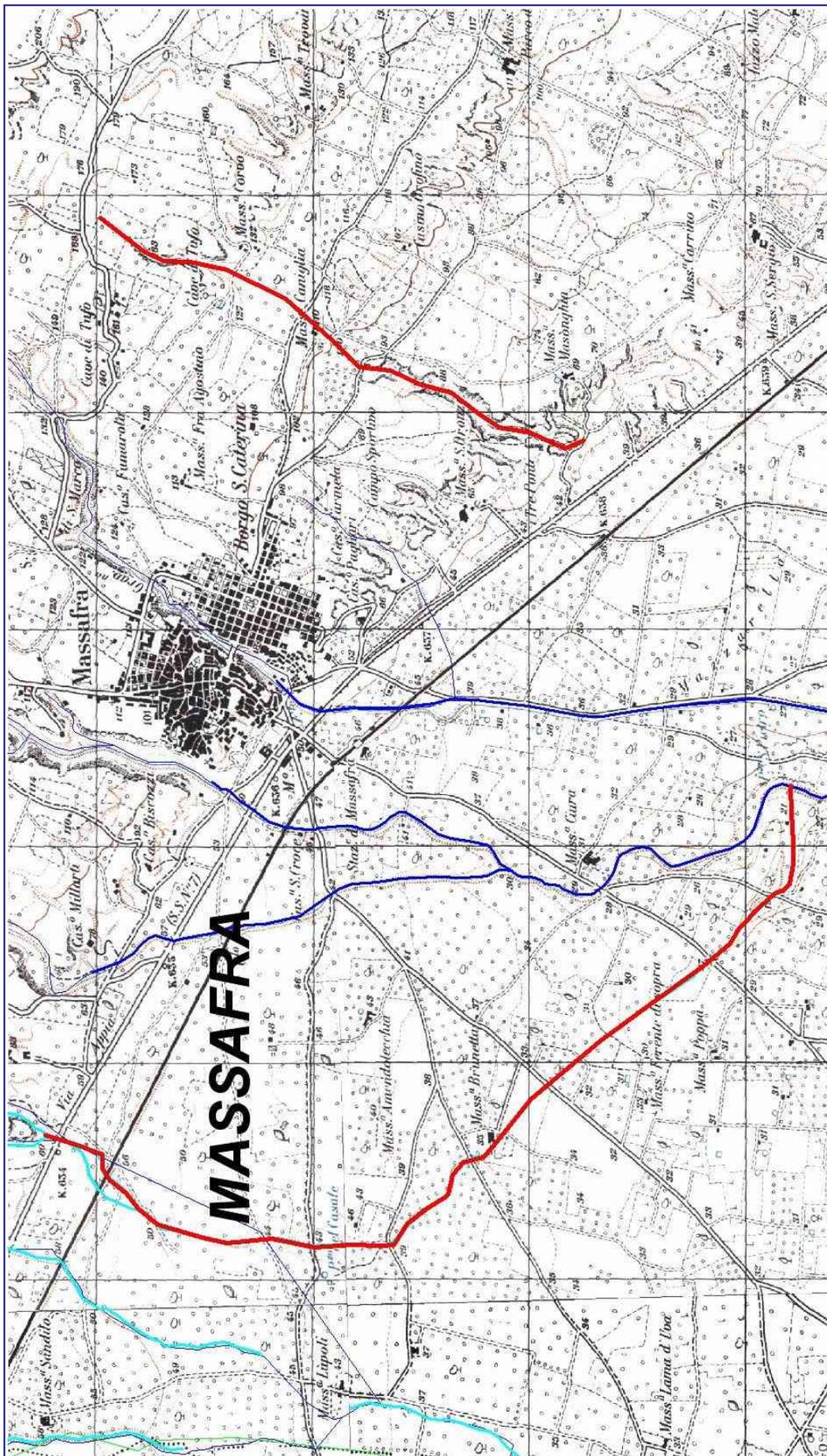


FIG. I.1 - COMUNE DI MASSAFRA – Reticolo da studiare (in rosso)

Breve descrizione dello studio realizzato

Si tratta di uno studio idrologico sui bacini idrografici delle gravine del Palombaro e delle Cave di Tufo e di uno studio idraulico esteso ai tronchi di reticolo delle sopra citate gravine di maggiore interesse che corrisponde per la gravina del Palombaro al tratto compreso tra la SS 7 e l'immissione nel canale Patemisco, per la gravina delle Cave di Tufo il tratto oggetto di studio si estende tutto amonte della SS7 in quanto il corpo ricettore della gravina è un sistema di cave molto profonde rispetto al terreno naturale posto a monte della SS7 Appia. Per entrambe le gravine il tratto oggetto di studio è evidenziato in rosso nella figura 1.1.

In considerazione della particolare conformazione dei luoghi e delle caratteristiche del reticolo oggetto di studio che si presenta in generale poco inciso rispetto al piano campagna e che attraversa lunghi tratti dove l'incisione originaria è completamente assente anche per la presenza di infrastrutture viarie e ferroviarie lo studio idraulico è stato condotto con modelli idrodinamici bidimensionali come sarà meglio descritto nel seguito.

Lo studio è stato condotto attraverso le fasi seguenti:

- esecuzione del rilievo topografico del reticolo idrografico da studiare;
- studio idrologico dei bacini idrografici per la determinazione delle portate attese con diversi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni);
- verifica idraulica del reticolo delle due gravine, per una lunghezza complessiva di circa 11 km, per la perimetrazione delle aree a diversa probabilità di inondazione (alta, moderata e bassa).

Il predetto studio si raccorda a quello già realizzato per definire il rischio idraulico nel retso del del bacino del Canale Patemisco che si estende dalle gravine Colombato, Madonna della Scala e San Marco fino alla foce. Resta esclusa dallo studio unicamente la gravina Tre Ponti in attesa della finalizzazione degli interventi di mitigazione del rischio idraulico tuttora in corso.

Le metodologie di studio utilizzate nelle varie fasi, che saranno nel seguito descritte in dettaglio, sono in pieno accordo con le indicazioni contenute nel PAI Puglia. In particolare, per la modellazione idrologica è stato utilizzato un modello a parametri concentrati con l'ausilio del software HEC – HMS. Per la valutazione della propagazione delle piene lungo il reticolo della Gravina del Palombaro è stato utilizzato un modello idraulico in regime di moto vario con schema quasi bidimensionale, con l'ausilio del software HEC – RAS, per simulare il nodo idraulico costituito dagli attraversamenti presenti in corrispondenza di SS7 e FFSS, dove il reticolo è ben definito, e poi un modello idrodinamico bidimensionale, con l'ausilio del software Flo-2D, fino alla confluenza nel Canale Patemisco, dove il reticolo è definito solo a tratti. La gravina delle Cave di Tufo è caratterizzata da tratti di reticolo molto inciso e quindi facilmente individuabile e da tratti in cui il reticolo è praticamente obliterato per interventi antropici, insediamenti abitativi e/o infrastrutture viarie, in considerazione di tale conformazione si è ritenuto opportuno modellare la propagazione delle piene con un modello idrodinamico bidimensionale, con l'ausilio del software Flo-2D, fino al corpo ricettore, sistema di cave posto a monte della SS7 Appia.

2 Studio idrologico

2.1 Reperimento dati idro-pluviometrici eventi “storici” per taratura modellistica

La prima fase dello studio è stata completamente dedicata alla raccolta dei dati disponibili per la zona di interesse, in particolare sono stati reperiti da varie fonti dati cartografici, dati pluviometrici e dati relativi agli eventi alluvionali occorsi negli ultimi anni. Per caratterizzare il regime pluviometrico della zona sono stati utilizzati in particolare i dati provenienti dal Rapporto del VaPi e i dati contenuti nella Relazione del PAI Puglia. Per conoscere invece le zone storicamente inondate sono state utilizzate tutte le fonti disponibili a livello comunale.

2.2 Modello idrologico

Il fenomeno della trasformazione afflussi-deflussi che avviene in un bacino idrografico investito da un evento pluviometrico può essere studiato con vari metodi a secondo dei dati disponibili e del grado di dettaglio ed accuratezza del risultato che si intende ottenere. Tutti questi metodi sono riconducibili alle seguenti tipologie:

- concettuali: quando il fenomeno viene schematizzato nel dettaglio e scomposto nelle sue varie componenti per ciascuna delle quali si adotta un modello matematico che simula quanto avviene nella componente stessa (es: metodo dell'idrogramma unitario o il metodo cinematico);
- statistici: quando si fa unicamente un'analisi statistica dei deflussi e quindi le portate di piena del bacino idrografico vengono valutate sulla base di equazioni matematiche che possono dipendere anche da caratteristiche morfologiche del bacino stesso (es. : metodi di regionalizzazione delle piene del VaPi);
- formule empiriche: quando le portate massime vengono calcolate sulla base di semplici relazioni tarate sulla base di dati sperimentali (es: formule di Gherardelli-Marchetti, Mongiardini, Forti, De Marchi e Pagliaro).

Nel presente studio ci occuperemo esclusivamente dei metodi concettuali che sono quelli implementati nel software HEC-HMS utilizzato per condurre le simulazioni idrologiche. Tali metodi analizzano separatamente le varie fasi in cui il fenomeno di trasformazione afflussi-deflussi può essere scomposto e che sono:

- separazione delle piogge;
- formazione della piena;
- propagazione della piene;
- deflusso di base.

Di seguito si da una breve descrizione teorica dei metodi utilizzati per per schematizzare ognuna delle fasi sopra elencate.

Separazione delle piogge

Il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione o capacità di ritenzione del suolo (S) deriva dalla seguente relazione:

$$S = 254 \times (100/CN - 1)$$

dall'analisi del risultato di molte osservazioni sperimentali ne deriva che la perdita iniziale (Ia) è legata alla capacità di ritenzione del suolo (S) dalla relazione

$$Ia = 0.2 \times S$$

che è quindi il valore da utilizzare in mancanza di altri dati disponibili.

Il valore del Curve Number (CN) va, invece, rilevato in funzione dei dati contenuti nella tabella sotto riportata in funzione del tipo di copertura e uso del suolo e del tipo di suolo.

TIPO DI COPERTURA E USO DEL SUOLO	TIPO DI SUOLO			
	A	B	C	D
TERRENO COLTIVATO				
senza trattamento di conservazione	72	81	88	91
con interventi di conservazione	62	71	78	81
TERRENO DA PASCOLO				
cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
PRATERIE				
buone condizioni	30	58	71	78
TERRENI BOSCOSI O FORESTATI				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
SPAZI APERTI, PRATI RASATI, PARCHI				
buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
AREE COMMERCIALI (Impermeabilità 85%)	89	92	94	95
DISTRETTI INDUSTRIALI (Imp. 72%)	81	88	91	93
AREE RESIDENZIALI				
Impermeabilità media	%			
	65	85	90	92
	38	61	75	83
	30	57	72	81
	25	54	70	80
		51	68	79
				84
PARCHEGGI IMPERMEABILIZZATI, TETTI	98	98	98	98
STRADE				
Pavimentate con cordoli e fognature	98	98	98	
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Le classi di suolo sono riportate nella tabella successiva. In generale il valore del CN del bacino risulterà da una media pesata dei CN delle singole unità fisiografiche omogenee in cui il bacino può essere scomposto.

Ogni metodo di separazione delle piogge è influenzato dal grado di saturazione del suolo al momento del verificarsi dell'evento di pioggia. Il valore del CN del Soil Conservation Service come sopra descritto è associabile a condizioni medie di saturazione che corrispondono al valore 2 di Antecedent Moisture Condition (AMC) che come indicato nella tabella seguente è ricavabile in

CLASSI DI SUOLI PERMEABILITA'
GRUPPO A - Suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde, con scarsissimo limo ed argilla e ghiaie profonde, molto permeabili. Capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
GRUPPO B - Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A. Elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
GRUPPO C - Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta. Suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid. Scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
GRUPPO D - Potenzialità di deflusso molto elevata. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Scarsissima capacità di infiltrazione a saturazione.

funzione dell'altezza di pioggia registrata nei cinque giorni che precedono l'evento e dello stato vegetativo.

Classe AMC	Precipitazione nei 5 giorni precedenti [mm]	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	<13	<36
II	13-28	36-54
III	>28	>54

Per ottenere il valore di CN relativo alle altre due condizioni di saturazione si usano le relazioni seguenti:

$$CN(I) = \frac{4,2 \text{ CN(II)}}{10 - 0,058 \text{ CN(II)}}$$

$$CN(III) = \frac{23 \text{ CN(II)}}{10 + 0,13 \text{ CN(II)}}$$

Formazione della piena

Per definire l'idrogramma unitario di Clark come metodo per la formazione della piena occorre stimare i relativi parametri che sono :

Tc = tempo di concentrazione (**Time of Concentration hr**);
 Sc = coefficiente di immagazzinamento (**Storage Coefficient hr.**);

Per la stima iniziale del parametro Tc si utilizza lo stesso metodo utilizzato nel caso dell'idrogramma unitario del **Soil Conservation Service**. Per il parametro Sc, invece, un'espressione che si trova in letteratura è la seguente:

$$Sc = c \times Tc \quad (\text{Russel, Kenning, Sumcell, 1979})$$

dove c è un parametro di calibrazione che, in funzione dell'uso del suolo, assume i seguenti valori:

area densamente forestata	8 – 12
area prevalentemente agricola	1.5 – 2.8
centri abitati	1.1 – 2.1

Propagazione della piena

Con il metodo del tempo di ritardo la stima dell'idrogramma di piena alla sezione di chiusura è fatta con una semplice composizione degli idrogrammi dei singoli sottobacini. A tale proposito è necessario stimare i ritardi con cui gli idrogrammi dei vari sottobacini arrivano alla sezione di chiusura.

Un tale metodo presenta una grave limitazione nel fatto che la propagazione dei singoli idrogrammi lungo l'asta principale è indipendente dalle condizioni della stessa, si trascura in pratica l'effetto di laminazione e concentrazione che può avere in realtà l'asta principale.

Tale ipotesi può sembrare eccessivamente esemplificativa, in realtà, con una buona stima del tempo di ritardo dei singoli sottobacini, può portare a dei risultati abbastanza soddisfacenti. Occorre però considerare che questo metodo è molto più semplice ed immediato da applicare, rispetto a quello della propagazione delle piene, e quindi ben si presta ad una prima stima delle caratteristiche del deflusso nella sezione di chiusura.

2.3 Preparazione dem

Al fine di estrarre i dati morfologici ed altimetrici del bacino idrografico oggetto di studio dai dati cartografici esistenti, è stato implementato un sistema informativo territoriale della zona nel quale sono state inserite tutte le banche dati geografiche disponibili.

In particolare, al fine di ricostruire l'altimetria del bacino è stata utilizzata la Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:5000 ed in formato digitale di recente realizzazione per la zona. E' stato quindi generato un modello digitale del terreno in forma di Triangolar Irregular Network (TIN), vedi fig. 2.1.a. E quindi di Digital Elevation Model (DEM), vedi fig. 2.1.b. In una seconda fase il DEM è stato predisposto per le elaborazioni idrologiche successive attraverso un procedimento di riempimento delle depressioni e marcatura con il reticolo idraulico.

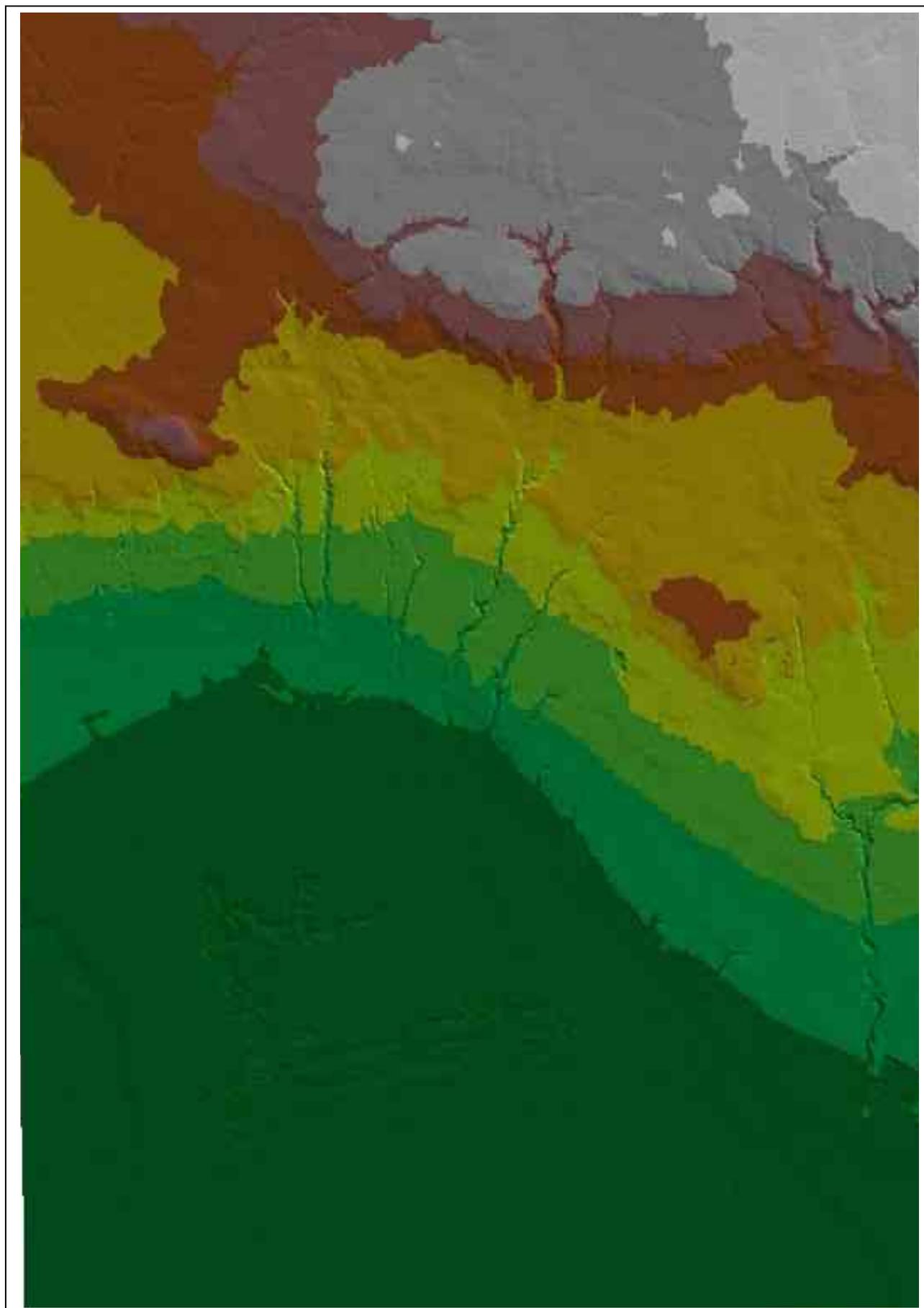


Fig. 2.1.a – Modello digitale del terreno a maglia triangolare irregolare (TIN)

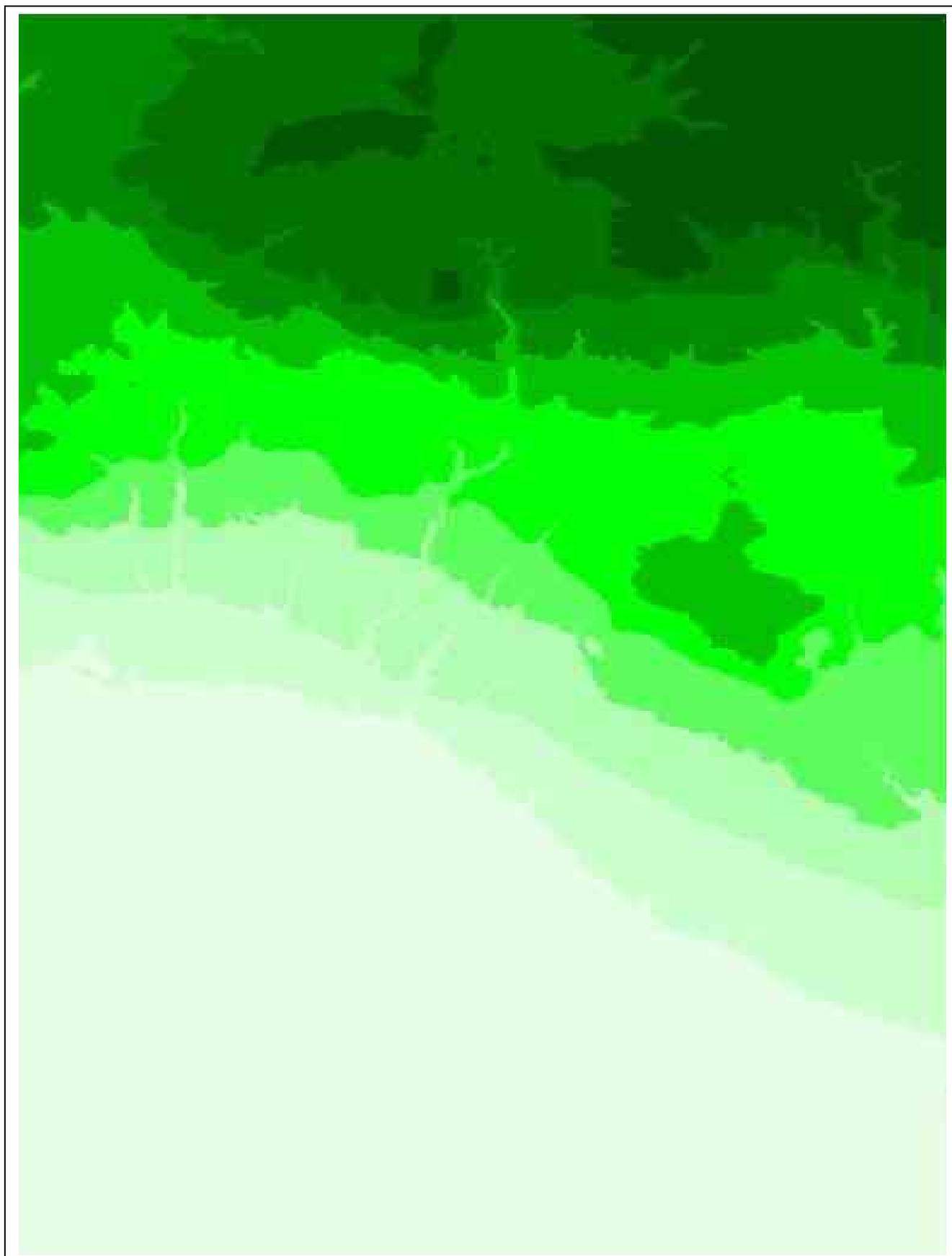


Fig. 2.1.b - Modello digitale del terreno a maglia quadrata regolare (DEM)

2.4 Scomposizione in sottobacini

Sulla base del modello digitale del terreno (DEM) è stata individuata, attraverso un procedimento automatico, l'individuazione e l'eventuale scomposizione in sottobacini dei bacini idrografici oggetto di studio, si è quindi proceduto alla schematizzazione del bacino è stata quindi realizzata inserendo opportunamente giunzioni e tronchi come evidenziato nei paragrafi seguenti.

2.5 Valutazione CN (uso del suolo – litologia)

Per la valutazione del Curver Number (CN), parametro del relativo metodo del Soil Conservation Service per la simulazione del fenomeno della separazione delle piogge sono state utilizzate le banche dati relative ad uso del suolo (Corine – terzo livello) e litologica derivate su base geologica .

Al fine della determinazione del CN, le classi litologiche sono state quindi riclassificate ed accorpate secondo la classificazione dei suoli, basata essenzialmente sulle velocità di infiltrazione, riportate in tab. 2.5.a.

CLASSI DI SUOLI PERMEABILITA'
GRUPPO A - Suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde, con scarsissimo limo ed argilla e ghiaie profonde, molto permeabili. Capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
GRUPPO B - Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A. Elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
GRUPPO C - Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta. Suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidi. Scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
GRUPPO D - Potenzialità di deflusso molto elevata. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Scarsissima capacità di infiltrazione a saturazione.

Tab. 2.5.a

Utilizzando un procedimento automatico di confronto tra uso del suolo e classe di suolo, è stato quindi valutato il valore di CN per i bacini idrografici oggetto di studio e per i sottobacini nei quali sono stati composti

2.6 Stima parametri elementi idrologici (sottobacini/tronchi)

Come già illustrato in precedenza, la fase di formazione della piena viene affrontata con il metodo dell'idrogramma unitario di Clark, il cui parametri T_c è stato ricavato tramite la formula di Kirpich

$$T_c = 0.0078 \cdot L^{0.77} \cdot \left(\frac{S}{100} \right)^{-0.385}$$

dove L è la lunghezza del canale e S è la pendenza media del bacino. Il parametro S_c , invece, è stato ricavato dalla formula di Russel

$$S_c = T_c \cdot c$$

dove c è un parametro di calibrazione che, in funzione dell'uso del suolo, assume i seguenti valori:

- area densamente forestata 8 – 12
- area prevalentemente agricola 1.5 – 2.8
- centri abitati 1.1 – 2.1

2.7 Inserimento dati modello meteo

Al fine della predisposizione delle caratteristiche pluviometriche da utilizzare per la simulazione idrologica si è ritenuto opportuno utilizzare i risultati delle elaborazioni statistiche disponibili nella zona e contenute, in particolare, nel Rapporto del progetto VAPI e nella relazione del PAI Puglia. Dal rapporto VAPI sono stati estratti i coefficienti della curva di possibilità pluviometrica espressa nella forma

$$h = a \cdot t^n$$

facendo riferimento **sottozona 5** nella quale è situato quasi per intero il bacino del Patemisco. Per questa zona i parametri a ed n riferiti ai tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le altezze di pioggia relative a diverse durata sono evidenziati nella tab. 2.5.a

Tr	A	N	1	3	6	12	24
30 <u>anni</u>	56.4	0.21	56.4	71.04	82.17	95.04	109.93
200 <u>anni</u>	90.24	0.21	90.24	113.66	131.47	152.06	175.89

Tab. 2.5.a

2.7.1 Ietogrammi di taratura

Per la taratura del modello è stato utilizzato l'evento del giorno 8 settembre 2003, caratterizzato da una pluviometria totale di circa 230 mm, il cui ietogramma misurato alla stazione di Massafra è riportato in fig. 2.7.a.

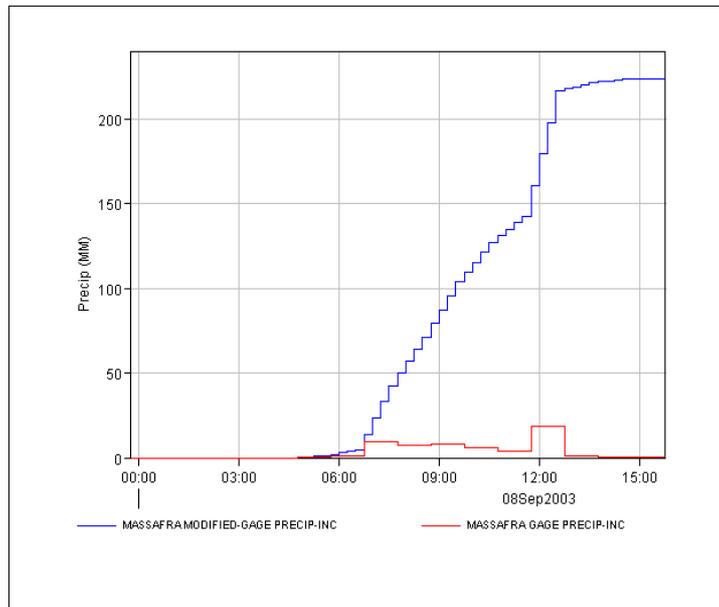


fig. 2.7.a

2.7.2 Ietogrammi di progetto

Per la simulazione degli eventi di progetto si è utilizzato uno istogramma Chicago, coerente con le altezze totali di pioggia calcolate attraverso la CPP, con picco in posizione centrale per le quattro durate di pioggia prescelte **3, 6, 12 e 24 ore** e per i tre tempi di ritorno **30, 200 e 500 anni**.

Nelle figure 2.7.b e 2.7.c si riportano gli istogrammi relativi alle durate di 24 per i tempi di ritorno sopra citati.

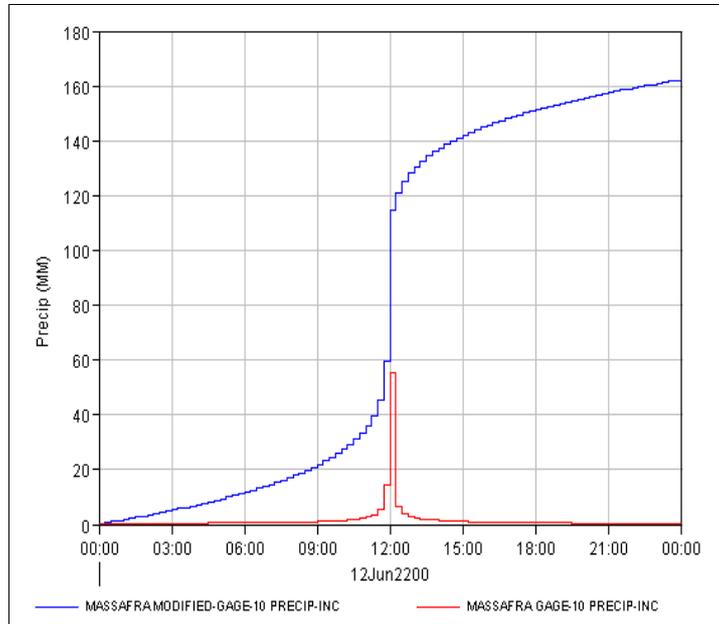


fig. 2.7.b – Ietogramma Tr 30 anni, durata 24 ore

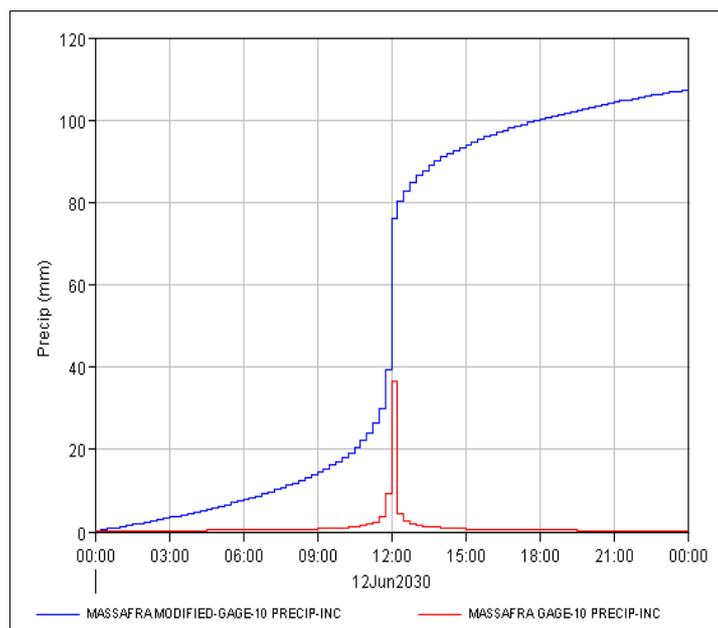


fig. 2.7.c– Ietogramma Tr 200 anni, durata 24 ore

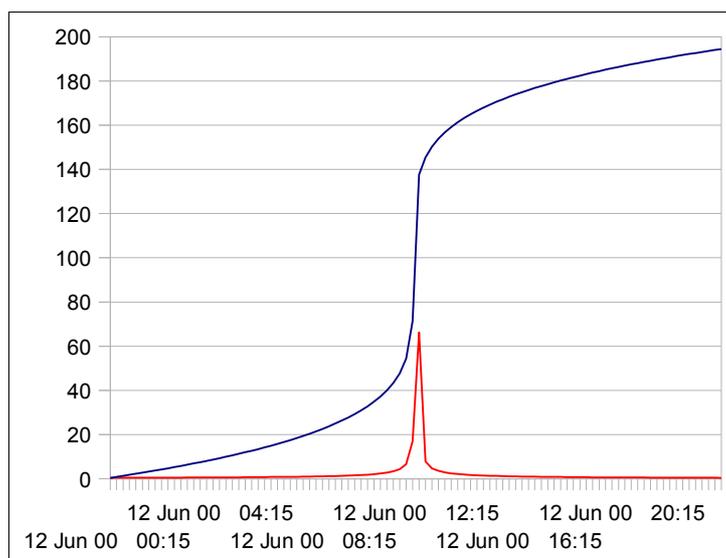


fig. 2.7.d – Ietogramma Tr 500 anni, durata 24 ore

2.8 Simulazione eventi di progetto

Si è quindi passati alla simulazione degli eventi di progetto utilizzando gli ietogrammi di progetto, come specificato nei paragrafi precedenti relativi alle durate di pioggia di 3, 6, 12 e 24 ore, ed ai tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

Di seguito vengono riportate le schematizzazioni utilizzate per i due bacini oggetto di studio unitamente ai principali risultati conseguiti con riferimento agli eventi di progetto con durata di 24 ore che risulta quella più gravosa.

GRAVINA CAVE DI TUFO

BACINO	SUP (kmq)
CAVE DI TUFO - AFFLUENTE	0.67
CAVE DI TUFO - VALLE	0.67
CAVE DI TUFO – MONTE	1.42
TOT.	2.75

Tab. 2.8.a – Gravina Cave di Tufo – Superfici sottobacini

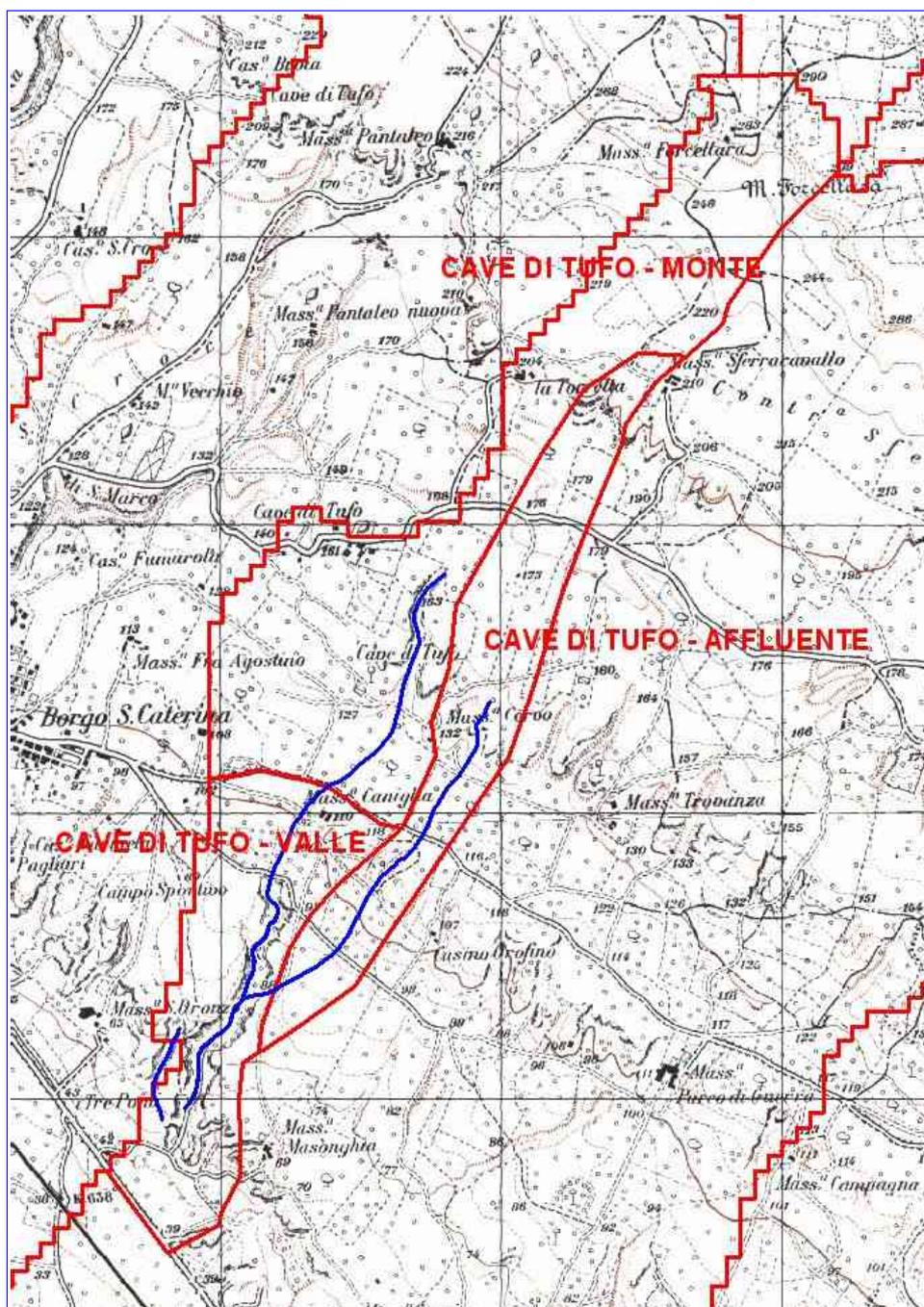


Fig.2.8.a – Gravina Cave di Tufo – delimitazione bacino

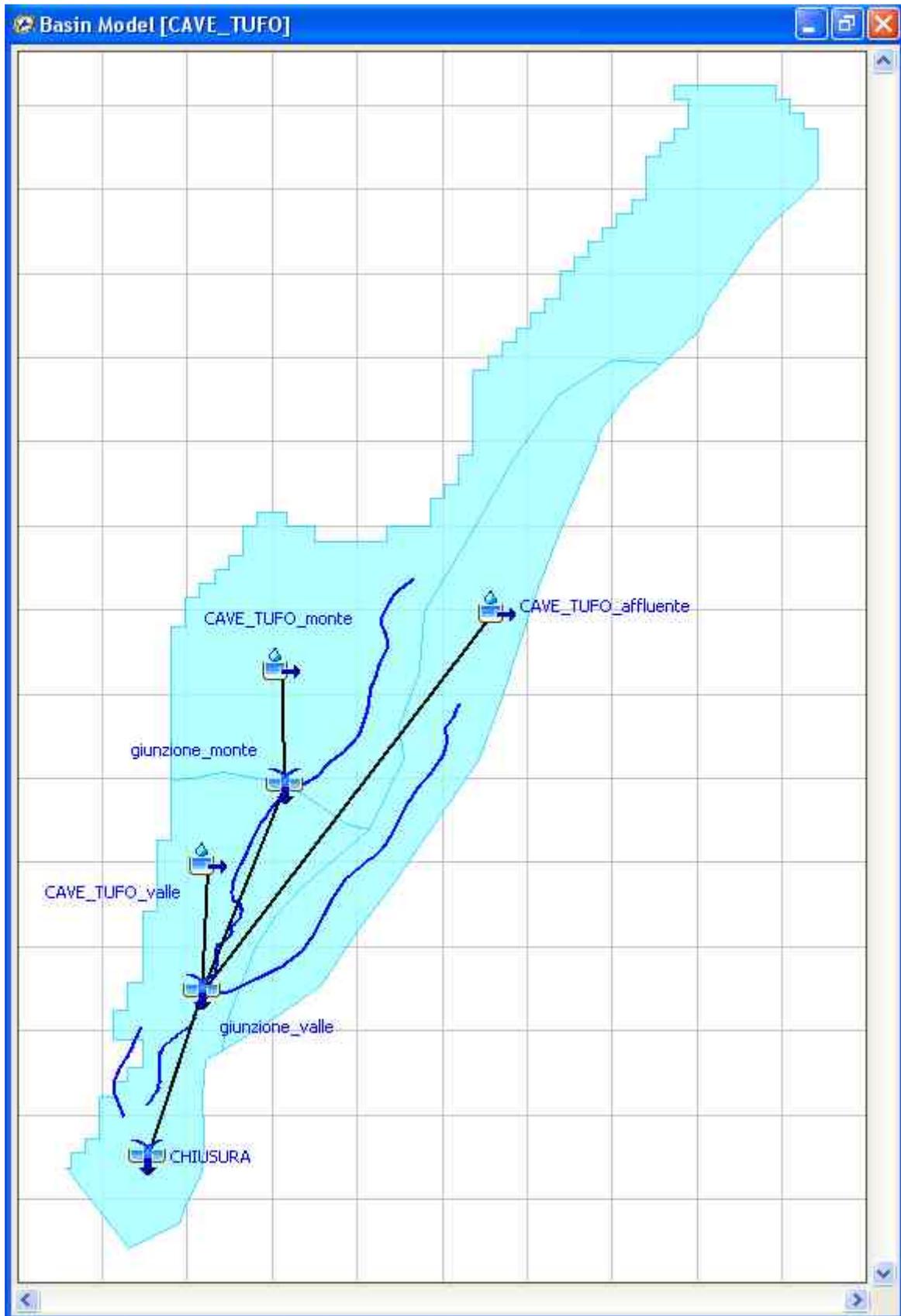


Fig.2.8.b – Gravina Cave di Tufo – Modello idrologico HEC-HMS

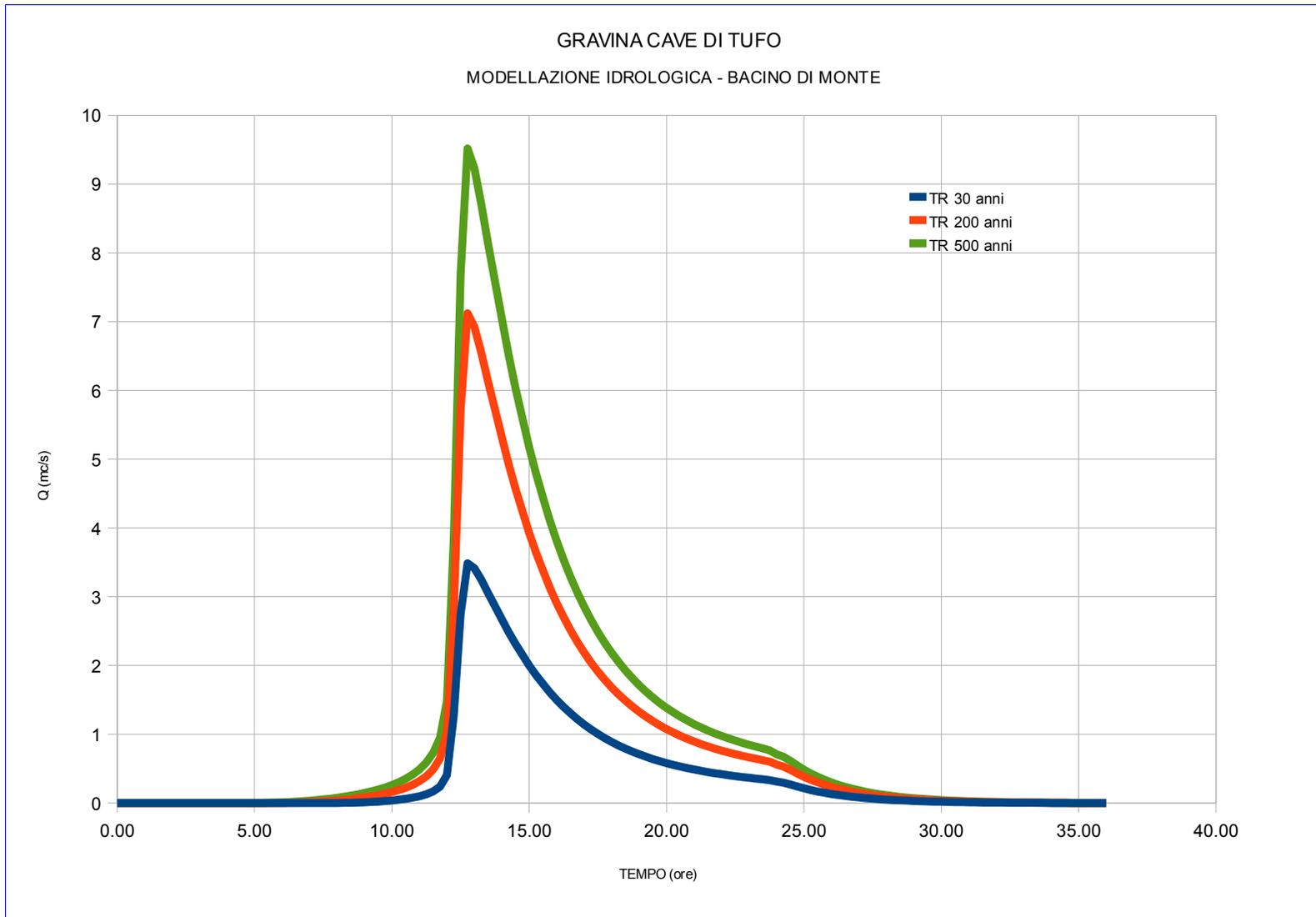


Fig.2.8.c – Idrogrammi piena Gravina Cave di Tufo bacino di monte – Tr 30, 200 e 500 anni, durata 24 ore

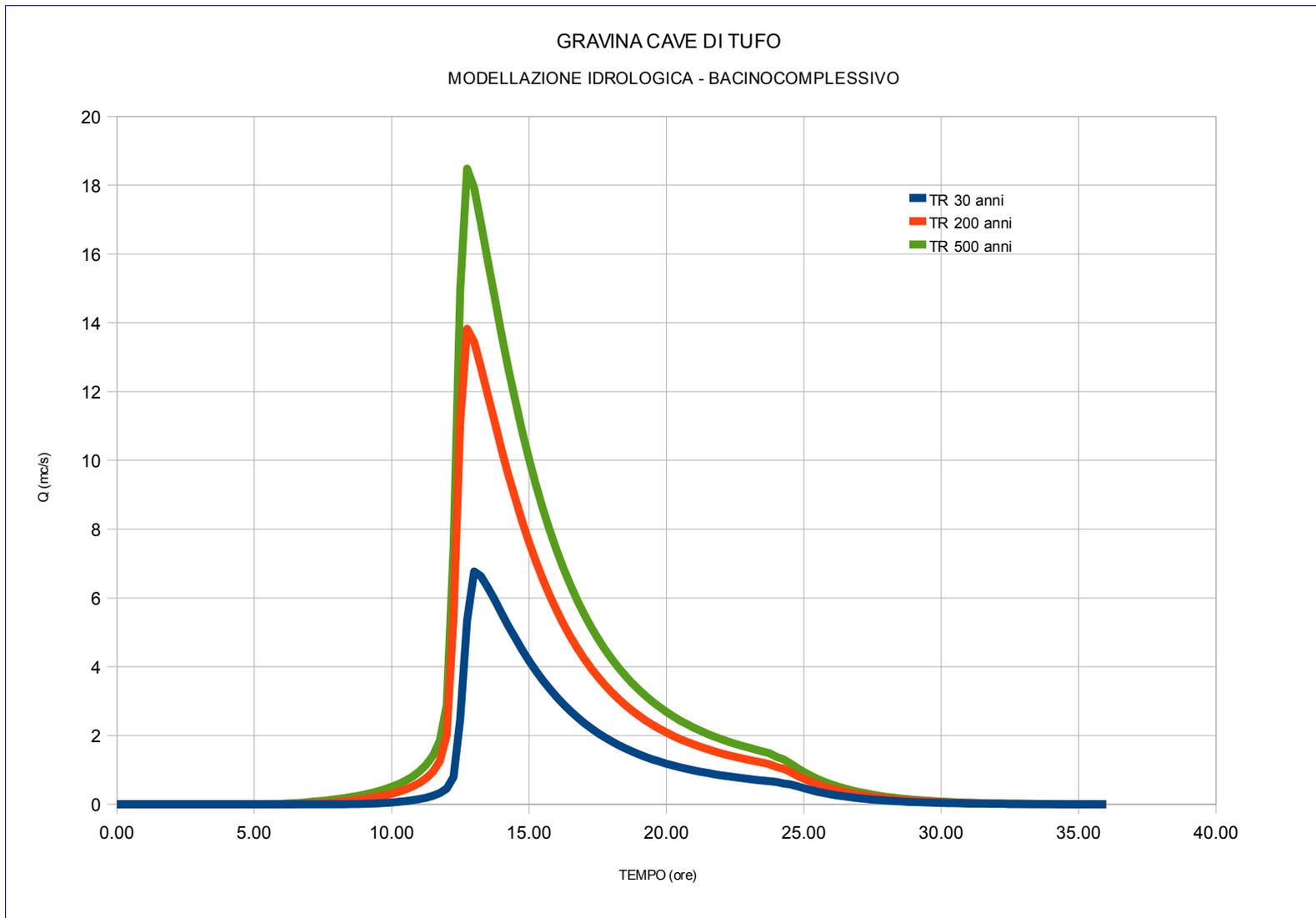


Fig.2.8.d – Idrogrammi piena Gravina Cave di Tufo bacino complessivo – Tr 30, 200 e 500 anni, durata 24 ore

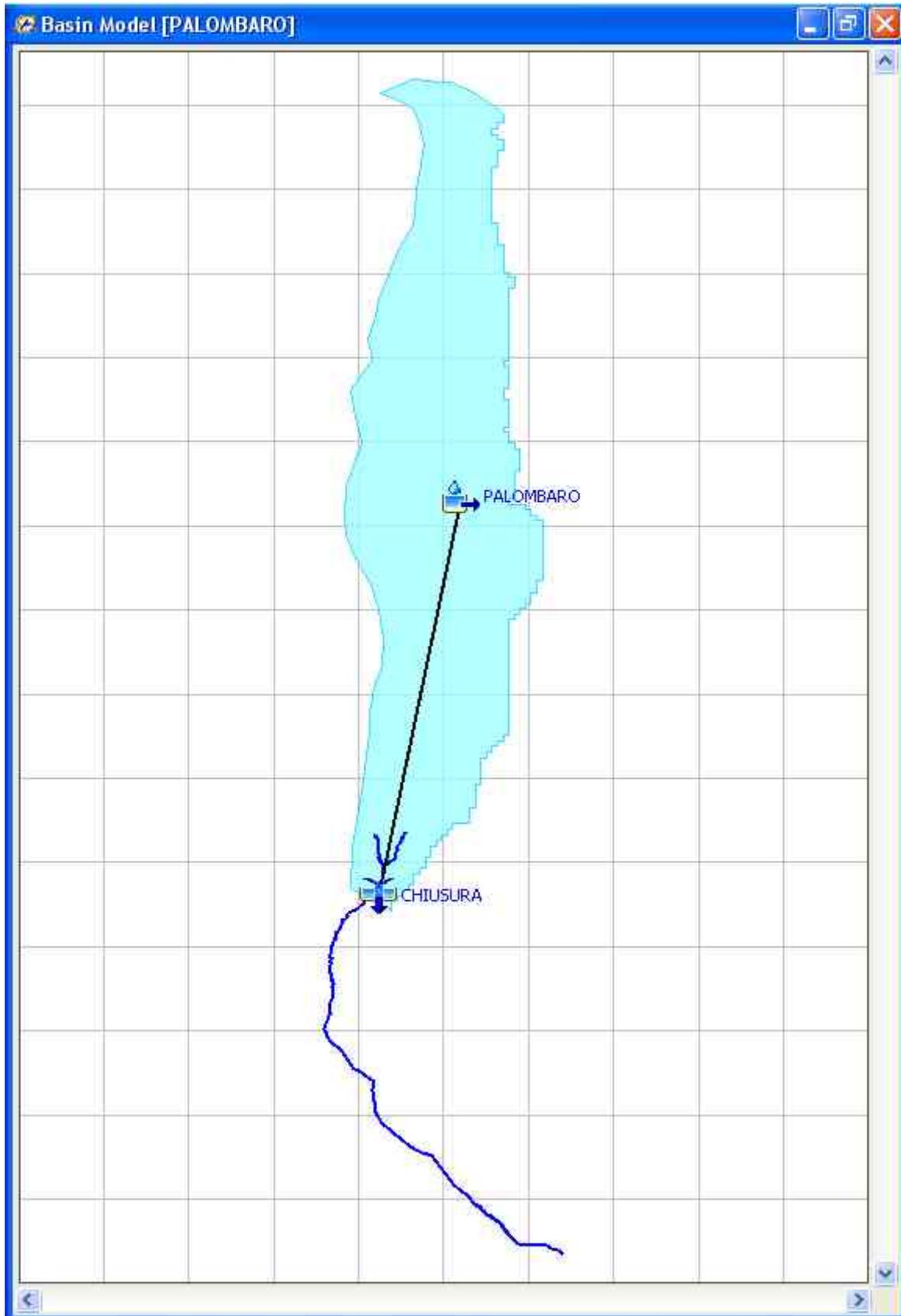


Fig.2.8.f – Gravina Palombaro – Modello idrologico HEC-HMS

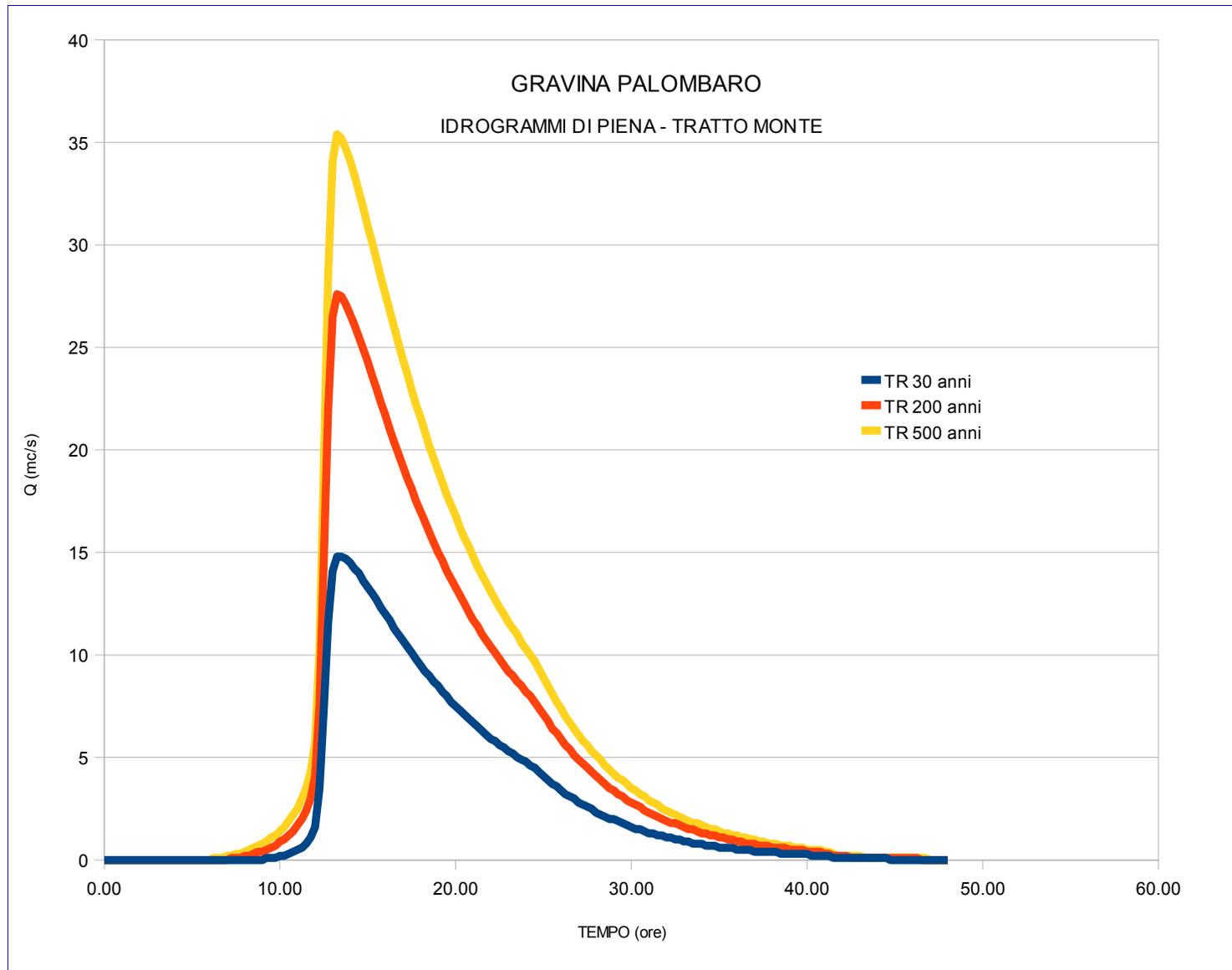


Fig.2.8.g – Idrogrammi piena Gravina Palombaro – Tr 30, 200 e 500 anni, durata 24 ore

3 Modello idraulico

Al fine della predisposizione del modello idraulico dei tratti di reticolo idrografico oggetto di studio è stato realizzato un rilievo topografico ad integrazione dei dati topografici rilevati dalla CTR in scala 1:5.000 e dalla Cartografia Comunale in scala 1:2.000.

Nei paragrafi che seguono vengono descritte nel dettaglio le metodologie utilizzate per le verifiche idrauliche dei corsi d'acqua oggetto di studio e quindi vengono illustrati i principali risultati ottenuti.

3.1 Descrizione del modello

In considerazione delle particolari caratteristiche dei due corsi d'acqua oggetto di studio per le verifiche idrauliche si è fatto ricorso a una modellazione bidimensionale solo nel caso della Gravina Palombaro, per il nodo idraulico costituito dagli attraversamenti di SS7 e FFSS, si è utilizzato un modello quasi bidimensionale in quanto ritenuto più adatto a simulare tale situazione. Nel seguito vengono brevemente descritte le principali caratteristiche della modellistica utilizzata.

Moto vario quasi-bidimensionale

Nel caso in cui per la presenza di arginature o di particolari situazioni morfologiche, durante il deflusso si abbiano fuoriuscite d'acqua in zone limitrofe al corso ma comunque ad esso idraulicamente connesse nelle quali l'acqua stessa tende ad avere una diffusione in più direzioni allora la schematizzazione monodimensionale non è più sufficiente a simulare tale fenomeno di propagazione. In questi casi occorre ricorrere ad una schematizzazione bidimensionale che però è molto complessa ed onerosa sia dal punto di vista del modello di calcolo che dei dati da utilizzare. In alcuni casi un buon compromesso tra complessità di calcolo e grado di precisione dei risultati si può ottenere utilizzando uno schema di moto cosiddetto quasi-bidimensionale che è caratterizzato da uno schema monodimensionale lungo il reticolo idrografico e da celle d'accumulo, connesse idraulicamente con il reticolo e tra di loro, che rappresentano le zone limitrofe ai corsi d'acqua dove la propagazione dell'acqua non avviene attraverso uno schema monodimensionale.

Nello schema di moto quasi-bidimensionale la propagazione dell'onda di piena lungo il reticolo idraulico viene schematizzata tramite le classiche equazioni di moto di De Saint Venant in regime di moto vario. Le celle d'accumulo sono invece schematizzate come semplici serbatoi nei quali il pelo libero trasla in modo sincrono su tutta la superficie. Questa in particolare costituisce la più grossa limitazione del modello che occorre considerare nel momento della verifica e utilizzo dei risultati ottenuti. A tale proposito si può affermare che l'utilizzo di uno schema di moto quasi-bidimensionale da risultati affidabili in termini di funzionamento del modello idraulico complessivo mentre può essere necessario affinare i risultati che si ottengono all'interno di ogni cella con l'utilizzo di metodi più approfonditi in funzione anche del grado di dettaglio richiesto per i risultati della verifica idraulica. Per simulare il comportamento della cella come un serbatoio è necessario inserire la sua curva altezza/superficie/volume oltre che le caratteristiche delle connessioni idrauliche.

Il tratto terminale della gravina Gravinola è una tipica situazione in cui l'utilizzo di uno schema di moto quasi-bidimensionale garantisce buoni risultati. In questo caso la separazione tra le celle d'accumulo ed il corso d'acqua è rappresentato dalle arginature mentre la separazione tra le celle stesse è costituita da rilevati stradali. Nella schematizzazione del modello le connessioni idrauliche tra le celle d'accumulo ed il reticolo idrografico vengono realizzate tramite sfioratori laterali opportunamente dimensionati e posizionati. Questi sfioratori laterali devono essere posizionati in corrispondenza delle sezioni nelle quali il modello segnala una fuoriuscita d'acqua dal reticolo idraulico e possono essere schematizzati con semplici briglie o con tombini. In ogni caso, il loro funzionamento è necessariamente bidirezionale. Nell'effettuazione della simulazione è necessario verificare che non ci siano sormonti arginali, fuoriuscite d'acqua dal reticolo, al di fuori di quelle localizzate in corrispondenza degli sfioratori laterali e che quindi vanno ad interessare le celle d'accumulo. Per

far sì che ciò avvenga e per assicurare quindi un corretto funzionamento del modello idraulico può essere necessario provare ad innalzare fittiziamente la quota degli argini.

In modo analogo a quanto fatto per la connessione idraulica tra corso d'acqua e celle adiacenti, occorre assicurare gli scambi d'acqua tra celle comunicanti inserendo nella schematizzazione idraulica opportune connessioni, il cui funzionamento è regolato da un'opera idraulica briglia o tombino, le cui caratteristiche (dimensioni e quota di imposta) vanno scelte in funzione delle caratteristiche fisiche delle connessioni reali, che possono essere rappresentate da tombini o tratti più depressi di un rilevato stradale o ferroviario.

Moto vario bidimensionale

Il FLO-2D è un modello bidimensionale di conservazione dei volumi in cui la simulazione nelle due dimensioni è garantita dall'integrazione numerica dell'equazione del moto e della conservazione del volume sia per le portate liquide che per quelle solide:

equazione di continuità:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} = i$$

equazione del moto:

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{V_x}{\partial t}$$

dove:

- h è l'altezza idrica,
- V_x è la componente x della velocità media della corrente,
- S_{fx} è la cadente,
- S_{ox} è la pendenza del fondo
- g è l'accelerazione di gravità (*FLO-2D User Manual, 2007*).

Le equazioni di continuità e del moto sono risolte attraverso un schema numerico alle differenze finite. L'algoritmo risolve l'equazione del momento per la velocità della corrente in corrispondenza delle celle della griglia di calcolo istante per istante.

Il dominio di simulazione è rappresentato da un griglia a maglia quadrata. La procedura di calcolo comincia col determinare la portata attraverso ciascun contorno in otto direzioni di flusso (nord, est, sud, ovest, nord-est, sud-est, sud-ovest, nord-ovest) e procede con una stima lineare dell'altezza idrica in corrispondenza della cella al contorno. Tale altezza idrica è una media delle altezze delle due celle che condividono la portata in una delle otto direzioni.

Dalla media di altri parametri idraulici vengono determinati: la velocità della corrente, l'area bagnata, la quota del pelo libero, il perimetro bagnato, ecc. La velocità della corrente, che è una variabile dipendente, è calcolata attraverso l'equazione del momento. Moltiplicando l'area bagnata media calcolata tra due elementi e la velocità è possibile ottenere la portata in ogni intervallo temporale. Infine, la variazione netta di volume d'acqua in ogni cella del floodplain ad ogni timestep è rappresentata dalla somma delle otto singole portate che attraversano il contorno. L'incremento in altezza idrica è dato da

$$\Delta d^{i+1} = \Delta Q_x^{i+1} \Delta t / SurfaceArea$$

dove Δt rappresenta l'intervallo temporale tra l'istante i ed $i+1$.

I tempi di simulazione del FLO-2D dipendono in maniera diretta dalla risoluzione della griglia di calcolo rappresentativa dell'area che si desidera studiare: è evidente, infatti, un incremento di tali tempi al crescere della risoluzione della griglia.

3.2 Modellazione quasi bidimensionale

3.2.1 Gravina Palombaro

Preparazione modello digitale del terreno

La generazione del Tin è stata fatta sulla base delle informazioni plano-altimetriche derivate dalla Cartografia Tecnica Regionale, integrate con quelle ottenute a seguito del rilievo fotografico. Le figure che seguono mostrano il TIN ed il DEM della zona.

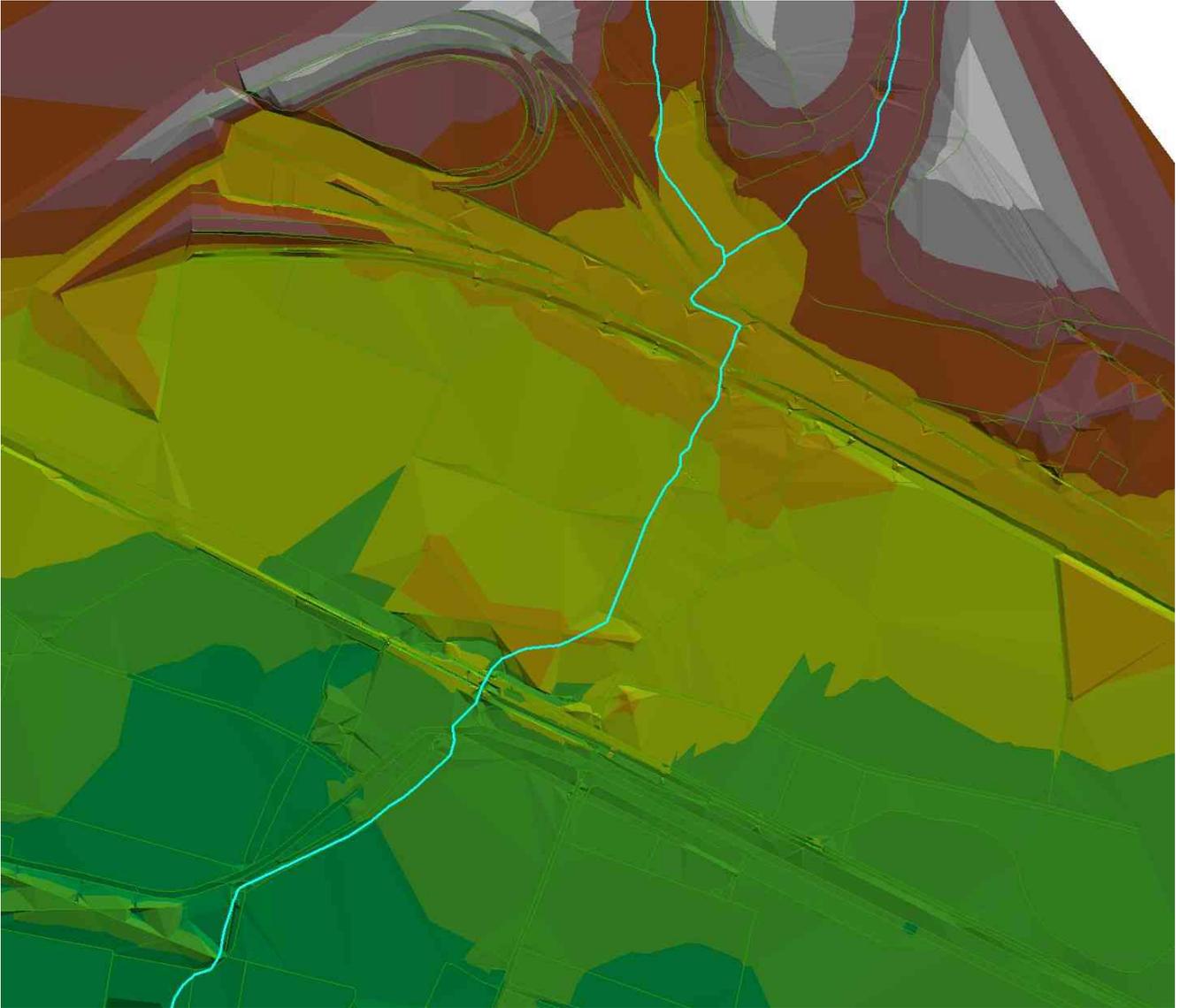


Fig 3.2.a – Modello digitale del terreno utilizzato per la modellazione idraulica TIN

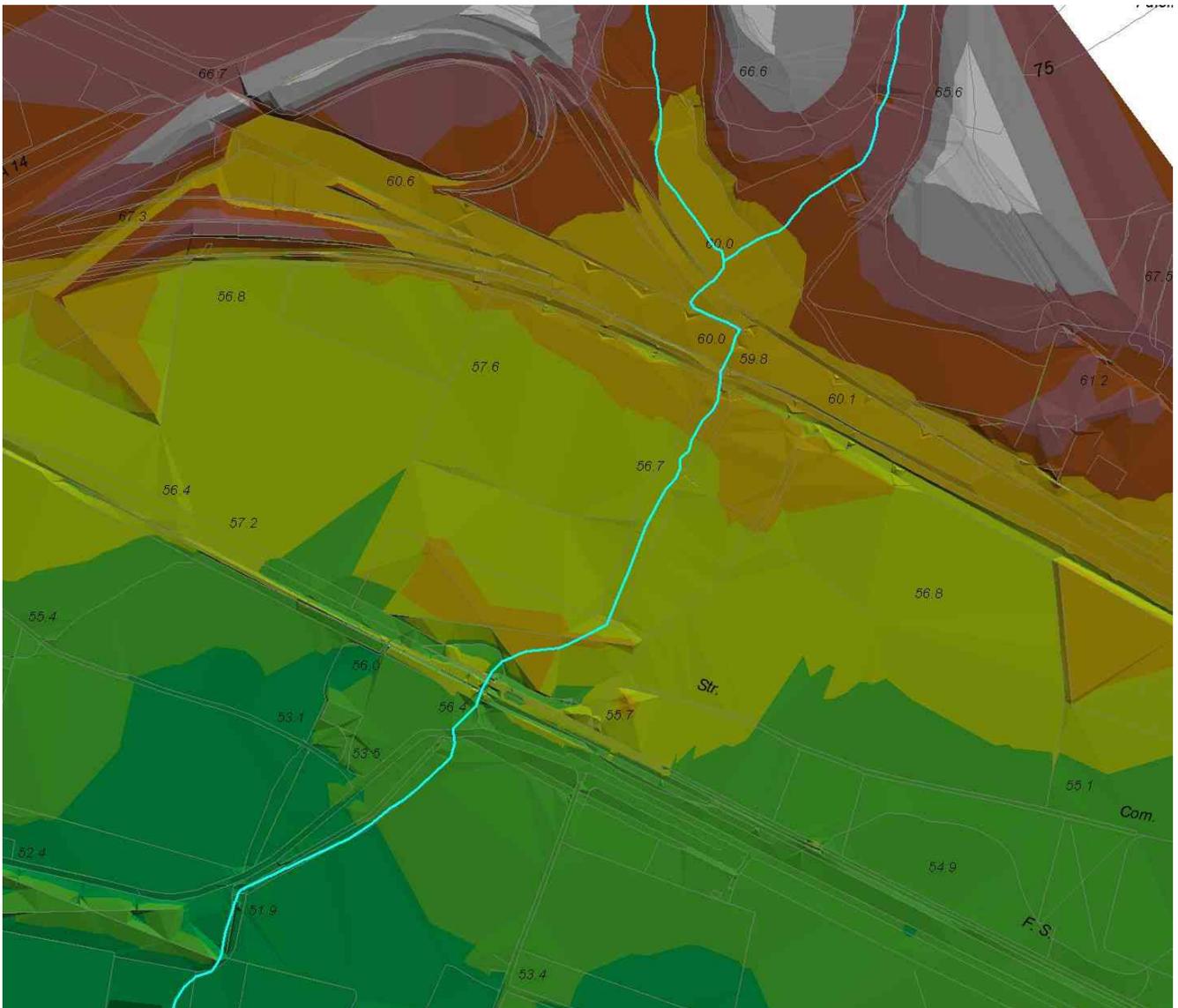


Fig.3.2.b - Modello digitale del terreno utilizzato per la modellazione idraulica con CTR

Inserimento geometria aste fluviali

Si è passato quindi all'implementazione della geometria del modello idraulico attraverso l'inserimento delle sezioni e degli attraversamenti rilevati (vedi fig. 3.2.c)

Sezioni

Considerata la regolarità del corso d'acqua, le sezioni rilevate topograficamente sono in numero ridotto, tutte posizionate nei punti notevoli. Per esigenza del modello idraulico si è invece fatto ricorso a numerose sezioni interpolate che il software utilizzato genera in maniera automatica a partire da quelle rilevate ed inserite manualmente.

Attraversamenti

Nel corso del rilievo topografico si è proceduto alla corretta rilevazione della geometria degli attraversamenti, che nel tronco oggetto di studio sono in numero di 5; quattro dei quali su infrastrutture di importanza notevole (SS7 e le due complanari, e la linea ferroviaria).

Celle di accumulo

Per la predisposizione dello schema di moto quasi-bidimensionale del modello idraulico, sono state individuate 3 celle di accumulo nella pianura alluvionale una a monte della SS7 in sinistra idraulica e due a monte della FFSS in destra e sinistra idraulica.

Le celle d'accumulo, vedi figure 3.2.a e b, contigue al corso d'acqua sono connesse idraulicamente ad esso in corrispondenza delle sezioni in cui si verifica il sormonto delle arginature. Ogni cella, inoltre, è connessa idraulicamente a quelle attigue in corrispondenza di depressioni nel rilevato, che le separa e/o tombini che ne interrompono la continuità. Per il dettaglio del posizionamento e delle caratteristiche delle concessioni idrauliche delle celle con il corso d'acqua si rimanda invece allo schema del modello idraulico su software HEC-RAS, che si allega alla presente relazione.

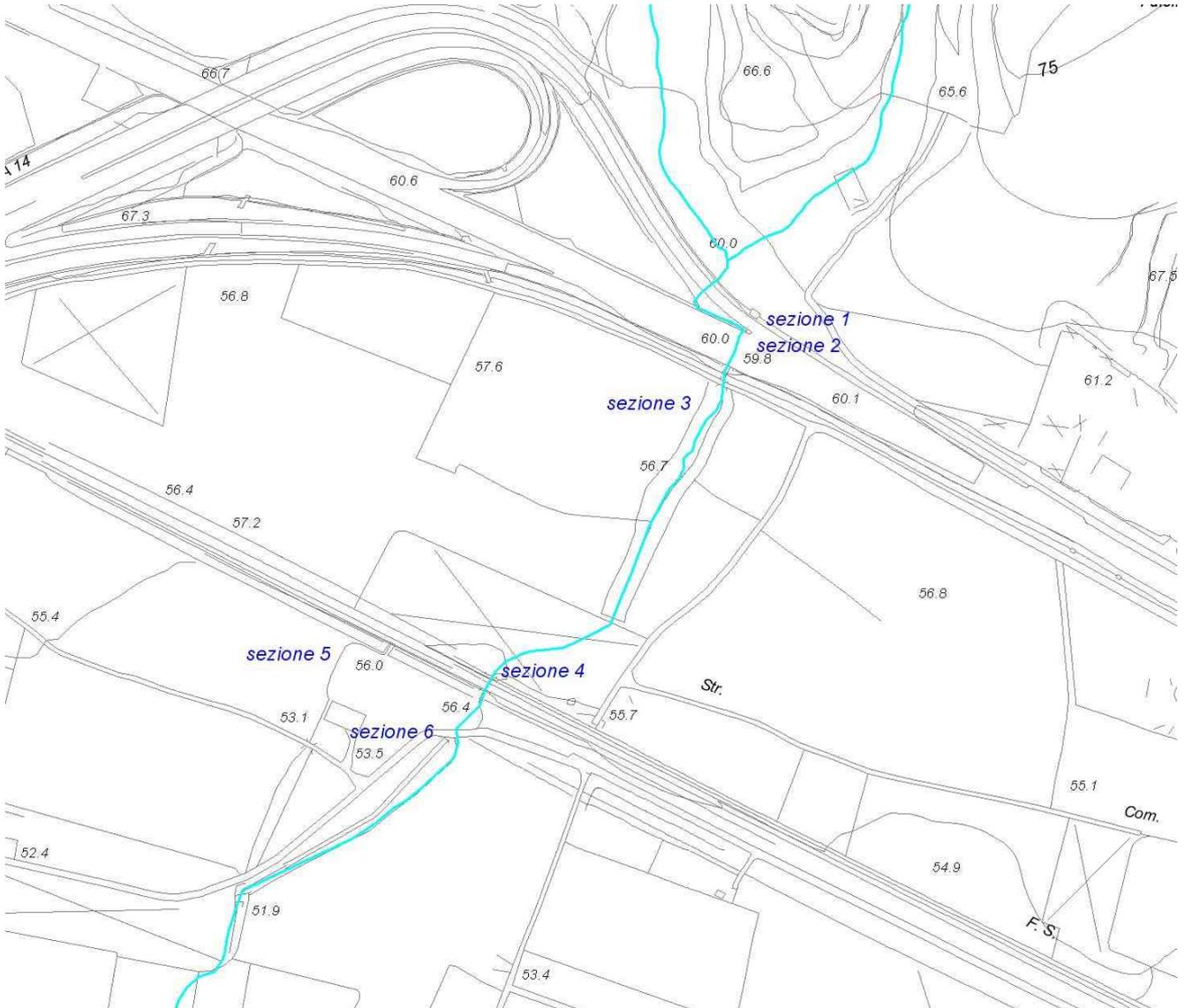


Fig 3.2.c - Zona schematizzata con modello quasi-bidimensionale - attraversamenti

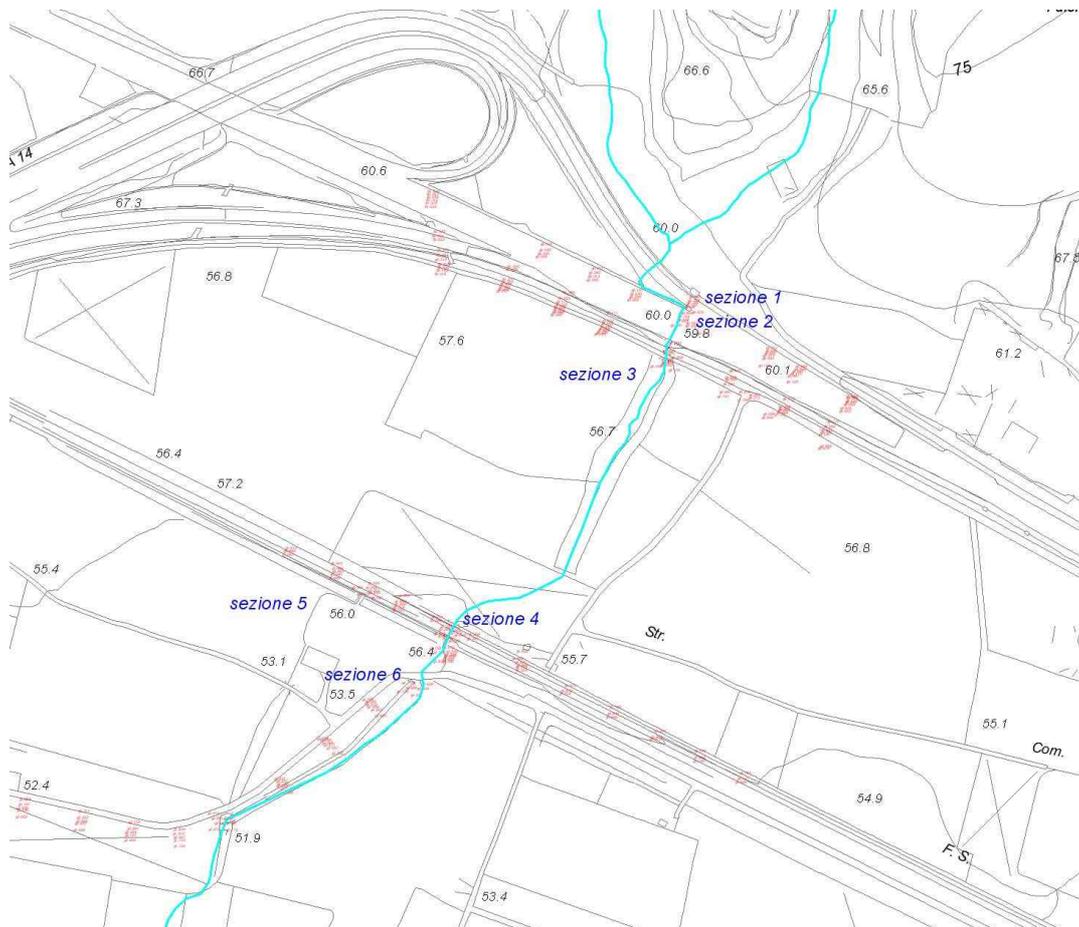


Fig. 3.2.d : Zona schematizzata con mod. quasi-2D – rilievo ed attraversamenti

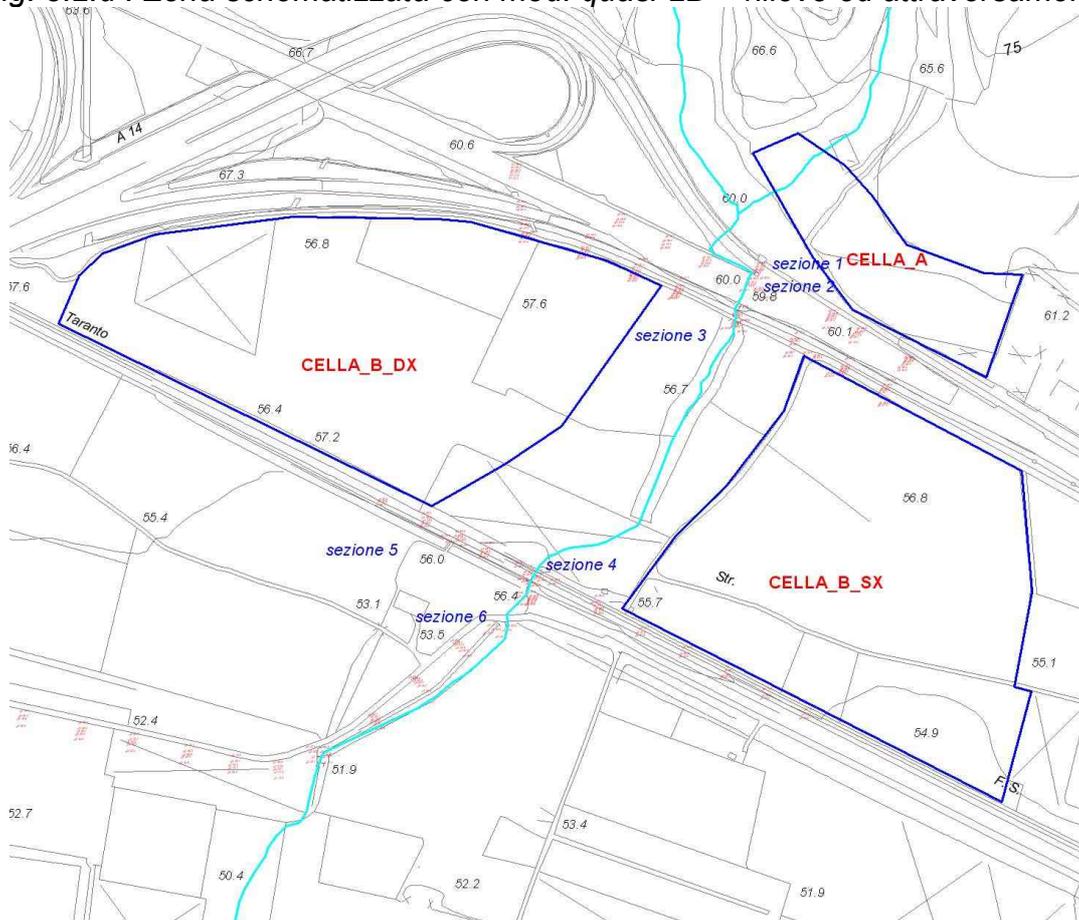


Fig. 3.2.e : Planimetria con individuazione celle di accumulo su CTR

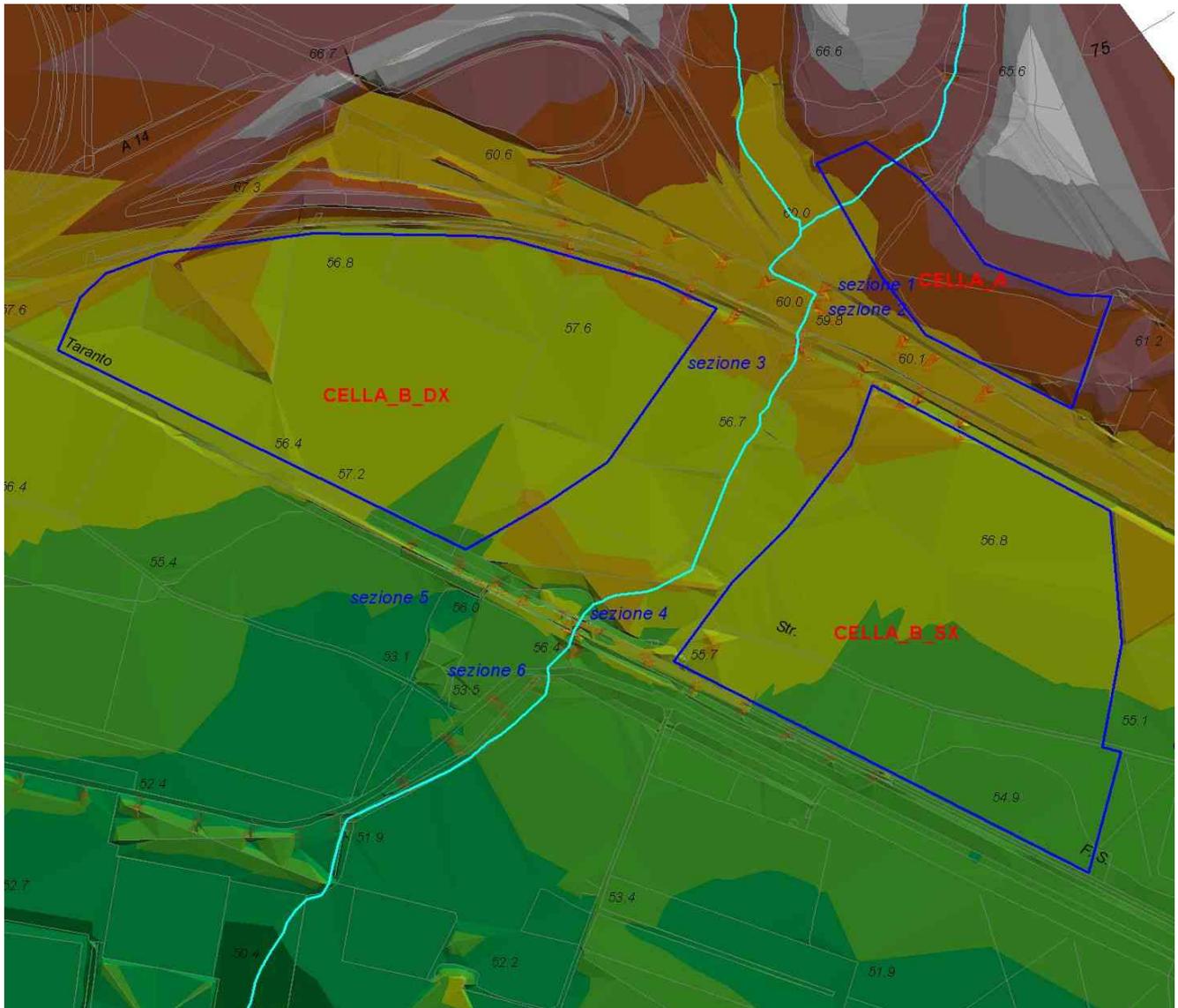


Fig. 3.2.f : Planimetria con individuazione celle di accumulo su CTR e TIN

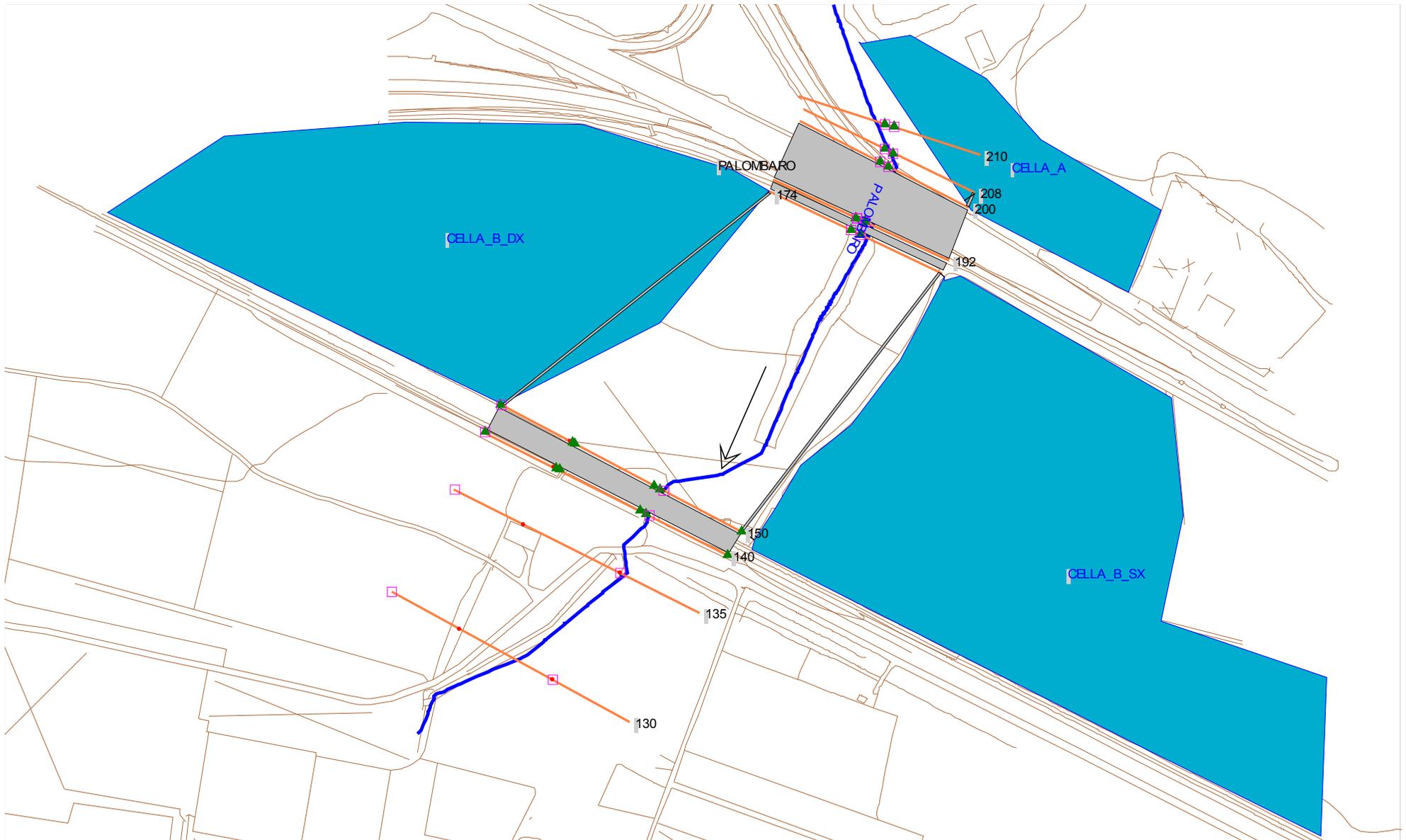
Risultati ottenuti

Le verifiche idrauliche, condotte con riferimento ai tre diversi tempi di ritorno, hanno permesso di valutare l'andamento del pelo libero e le caratteristiche idrauliche sezione per sezione oltre che dei ponti nel tratto oggetto di studio. Nelle figure che seguono sono riportati, per ogni tronco, dapprima il profilo massimo del pelo libero e le principali caratteristiche di corrente (profondità critica e energia totale) con riferimento all'evento di piena con tempo di ritorno di 30, 200 e 500 anni. Il dettaglio dei risultati ottenuti, consistente nelle principali caratteristiche idrauliche per ogni sezione e per ogni attraversamento è invece riportato nell'allegato B.

Di seguito vengono commentati i principali risultati ottenuti dalla verifiche idrauliche per ogni tronco studiato.

Gli idrogrammi in uscita dal modello sono stati poi utilizzati come dati di input del modello bidimensionale per le elaborazioni successive.

Analisi del rischio nel bacino del canale Patemisco e dei suoi principali affluenti – III parte



Analisi del rischio nel bacino del canale Patemisco e dei suoi principali affluenti – III parte

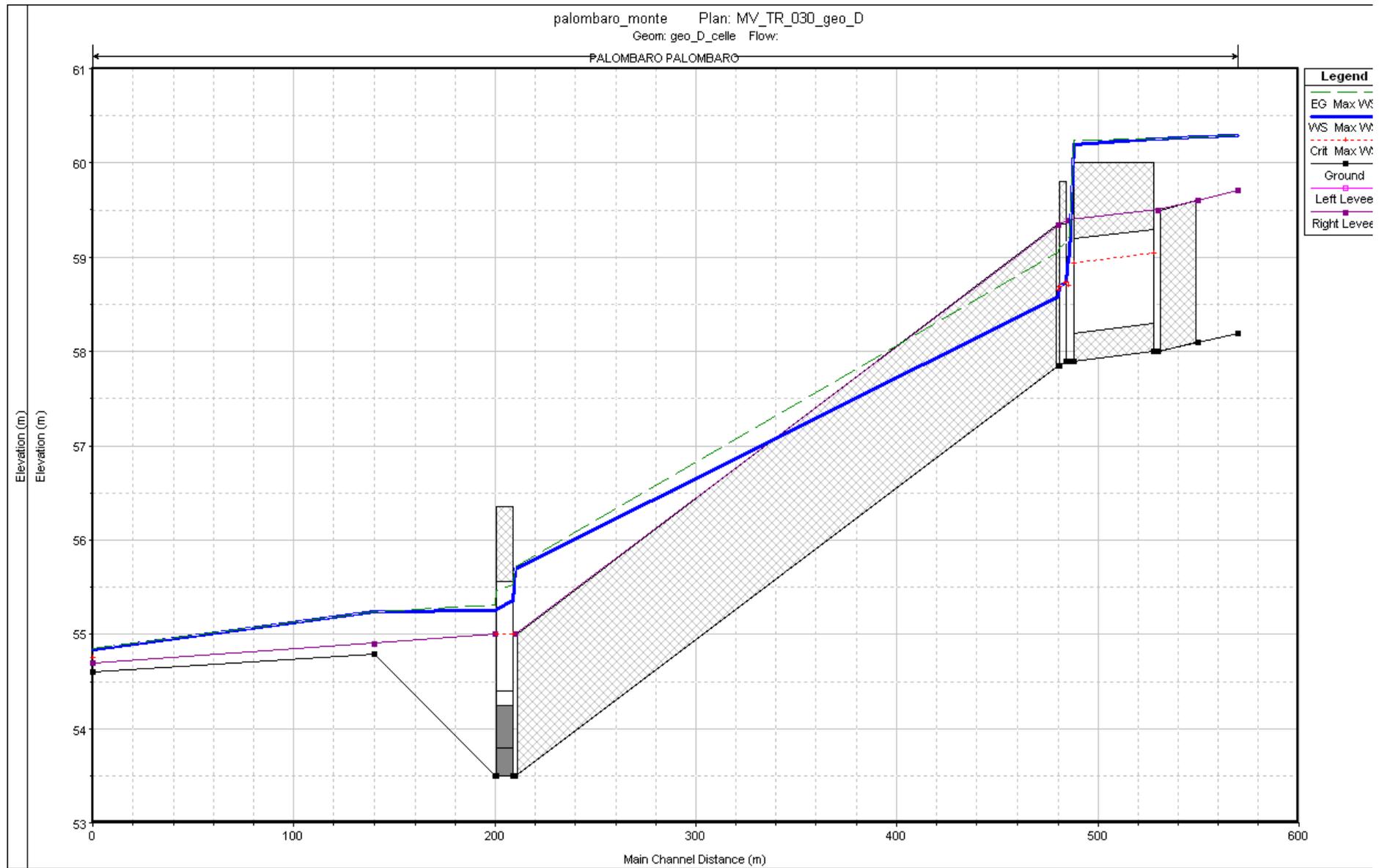


Fig. 3.2.g - Profilo massimo del pelo libero: evento di progetto con durata di 24 ore e Tr 30 anni

Analisi del rischio nel bacino del canale Palombaro e dei suoi principali affluenti – III parte

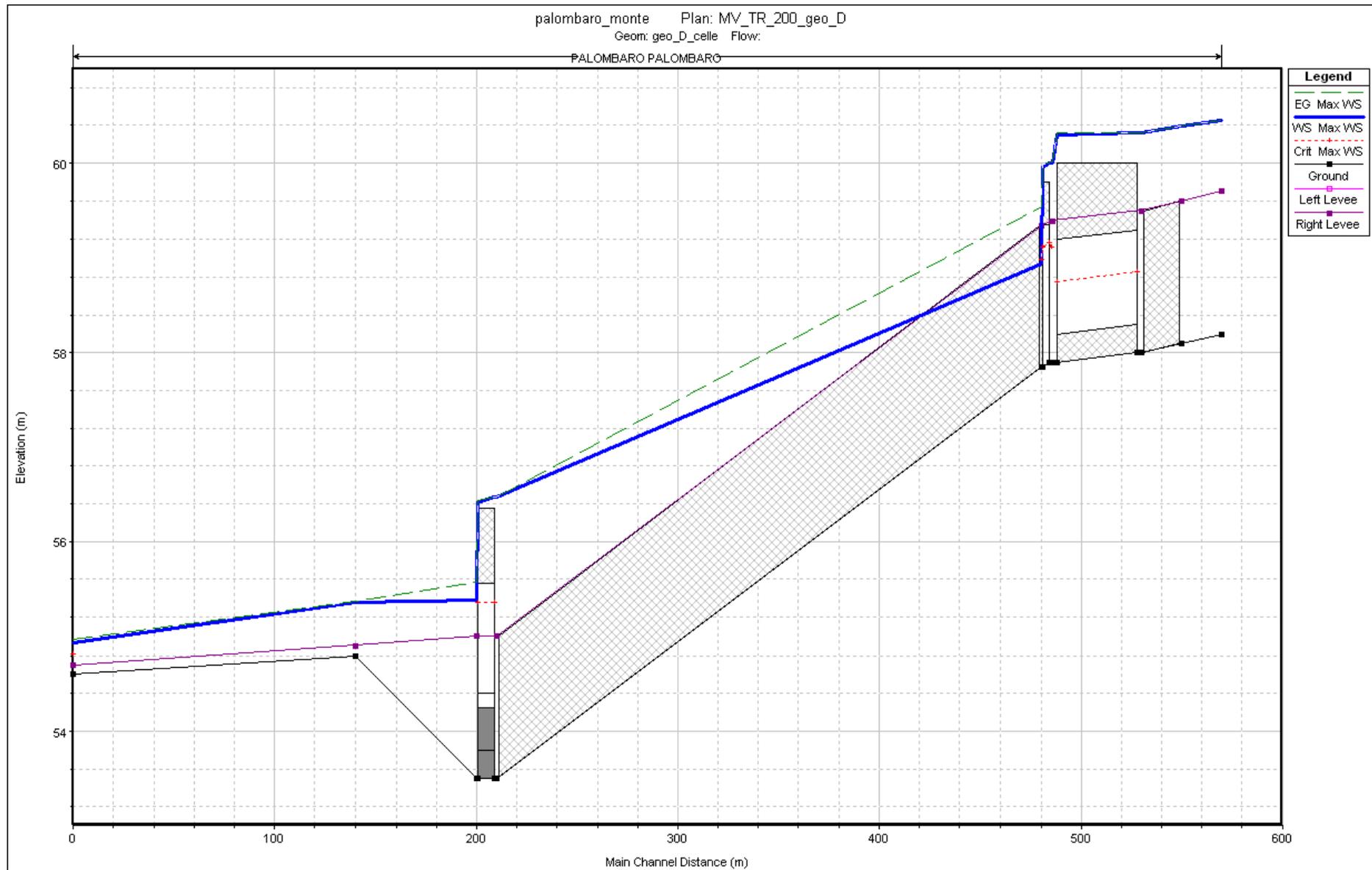


Fig. 3.2.h - Profilo massimo del pelo: evento di progetto con durata di 24 ore e Tr 200 anni

Analisi del rischio nel bacino del canale Palombaro e dei suoi principali affluenti – III parte

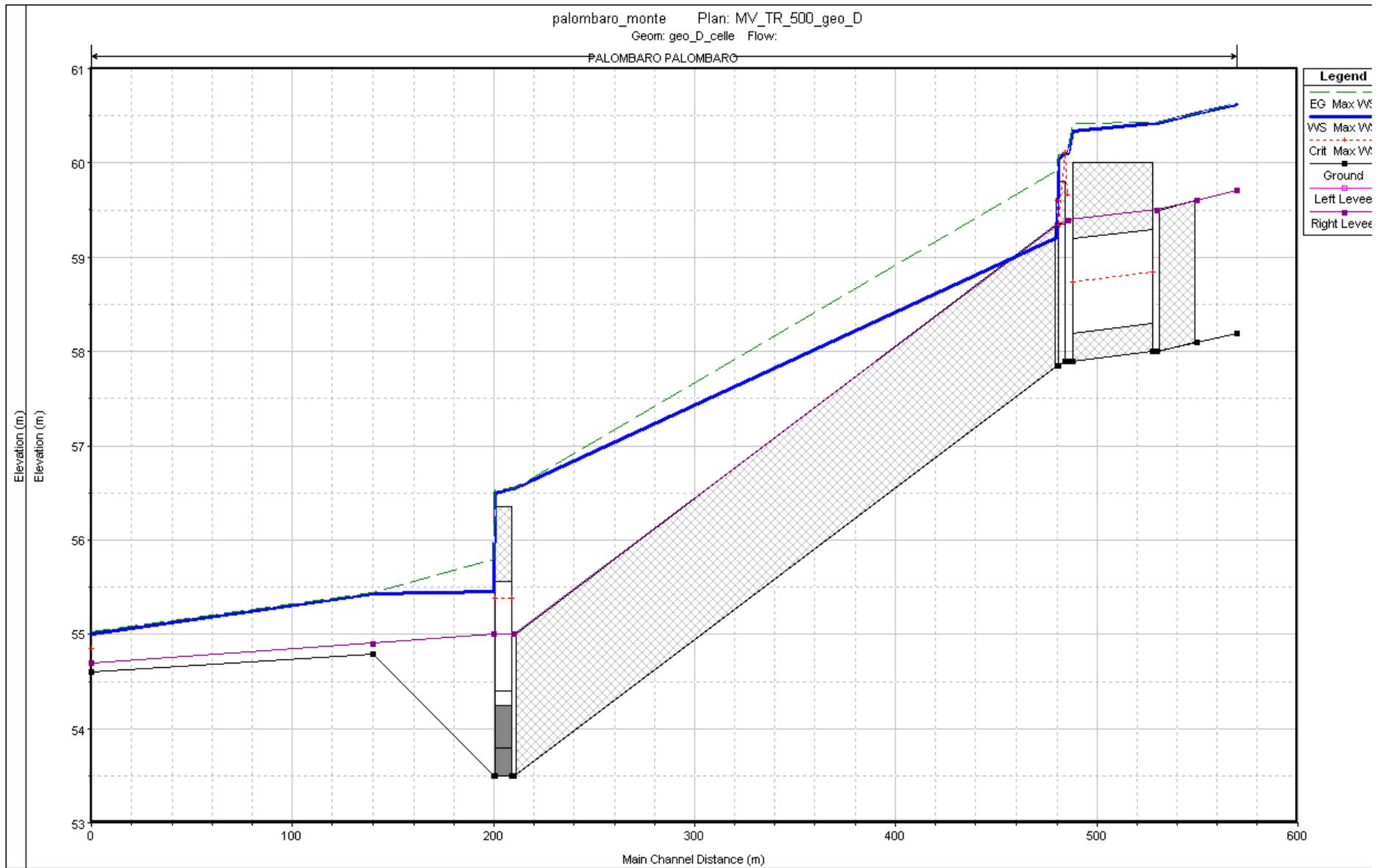


Fig. 3.2.h - Profilo massimo del pelo: evento di progetto con durata di 24 ore e Tr 500 anni

Analisi del rischio nel bacino del canale Patemisco e dei suoi principali affluenti – III parte

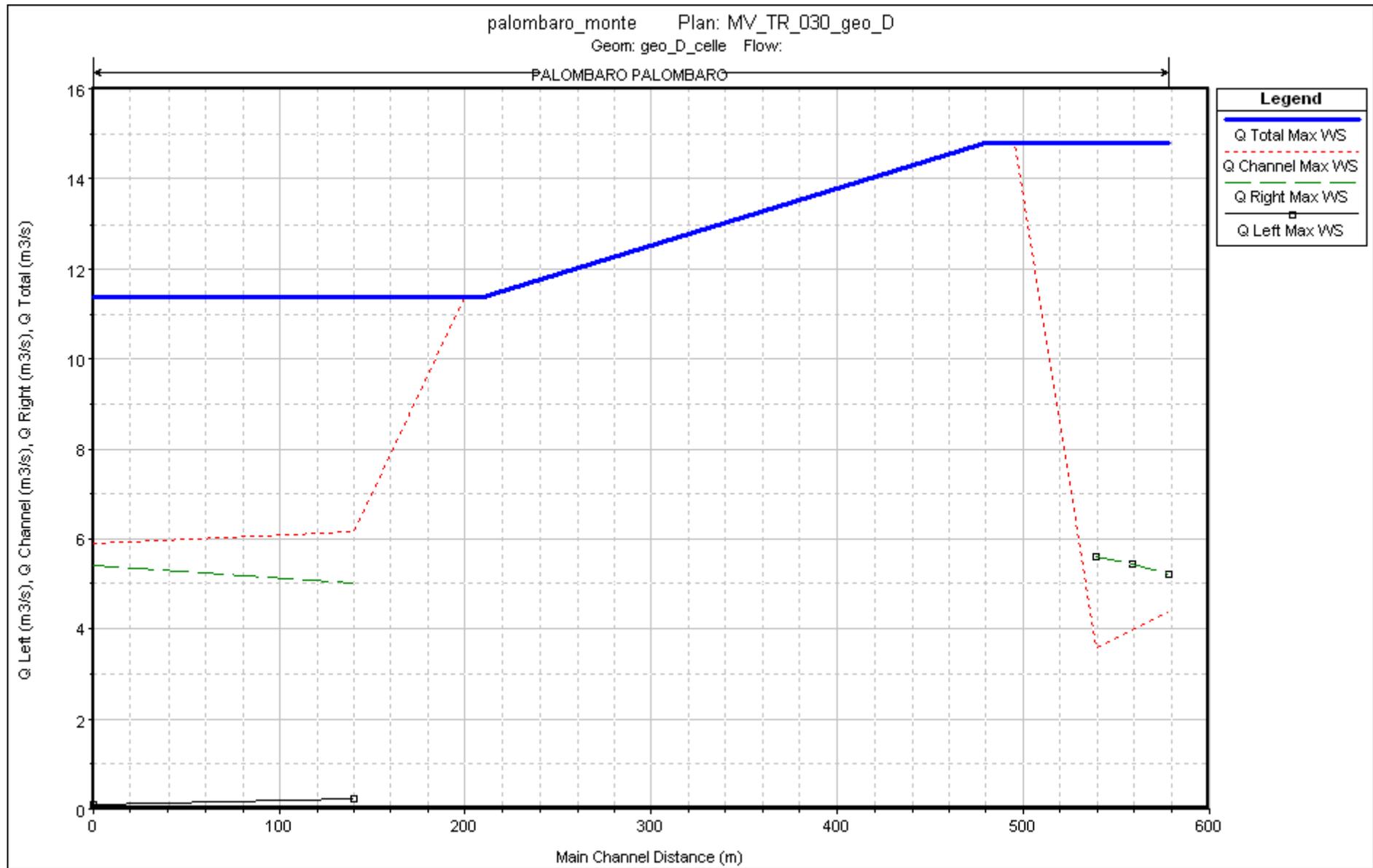


Fig. 3.2.i - Variazione di portata lungo il tronco per evento di progetto con durata di 24 ore e Tr 30 anni

Analisi del rischio nel bacino del canale Patemisco e dei suoi principali affluenti – III parte

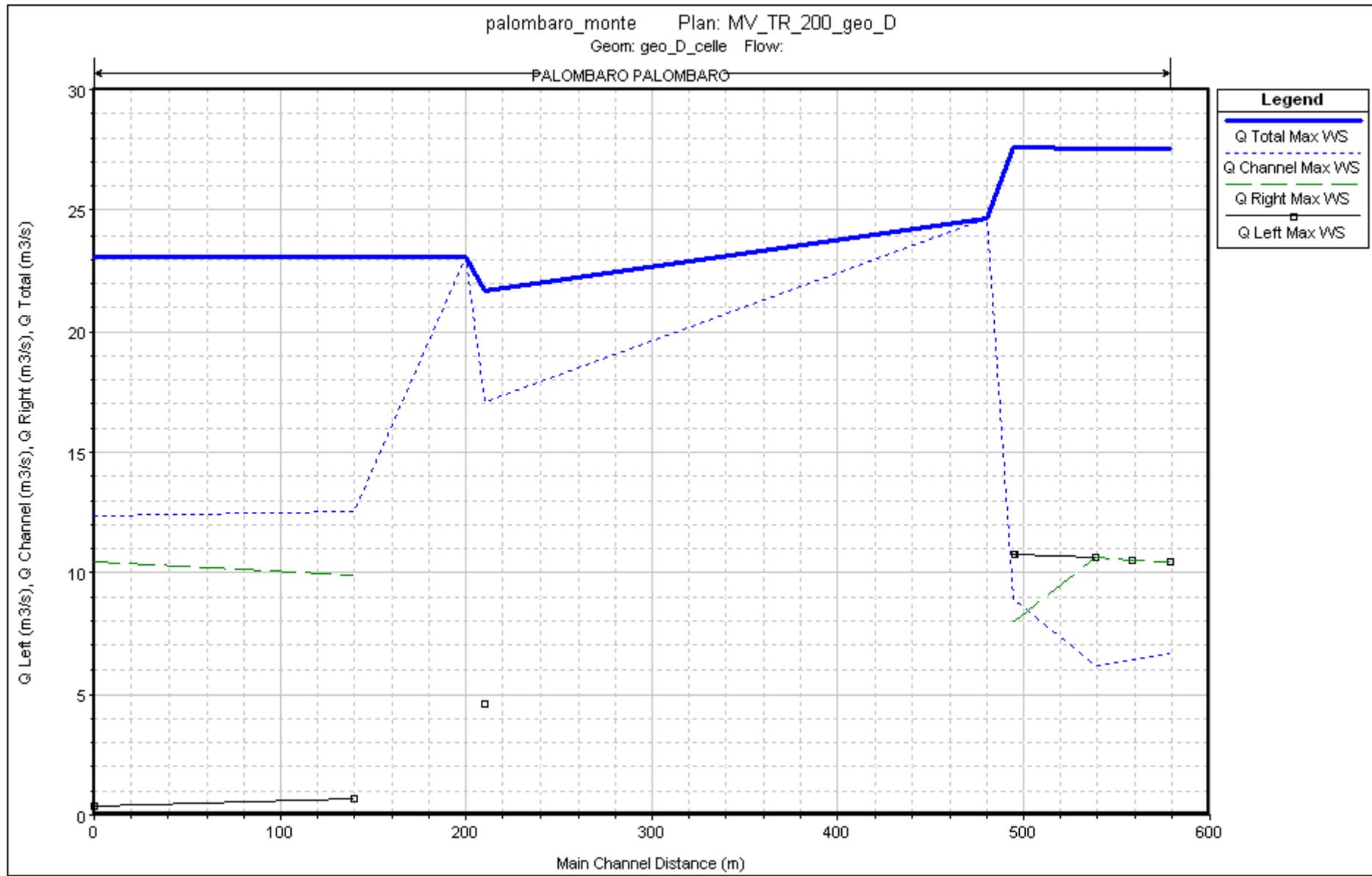


Fig. 3.2.1 - Variazione di portata lungo il tronco per evento di progetto con durata di 24 ore e Tr 200 anni

Analisi del rischio nel bacino del canale Patemisco e dei suoi principali affluenti – III parte

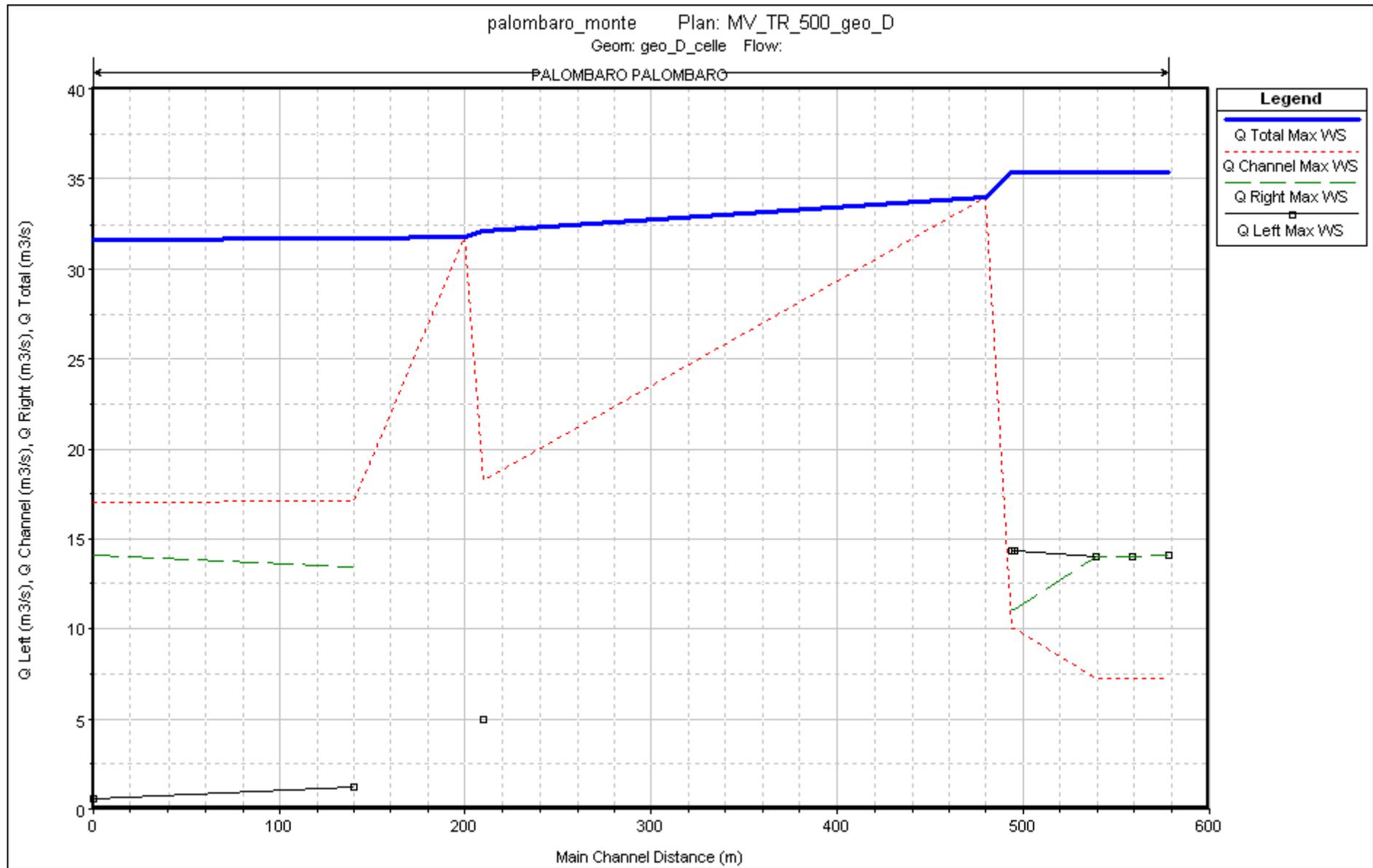


Fig. 3.2.m - Variazione di portata lungo il tronco per evento di progetto con durata di 24 ore e Tr 500 anni

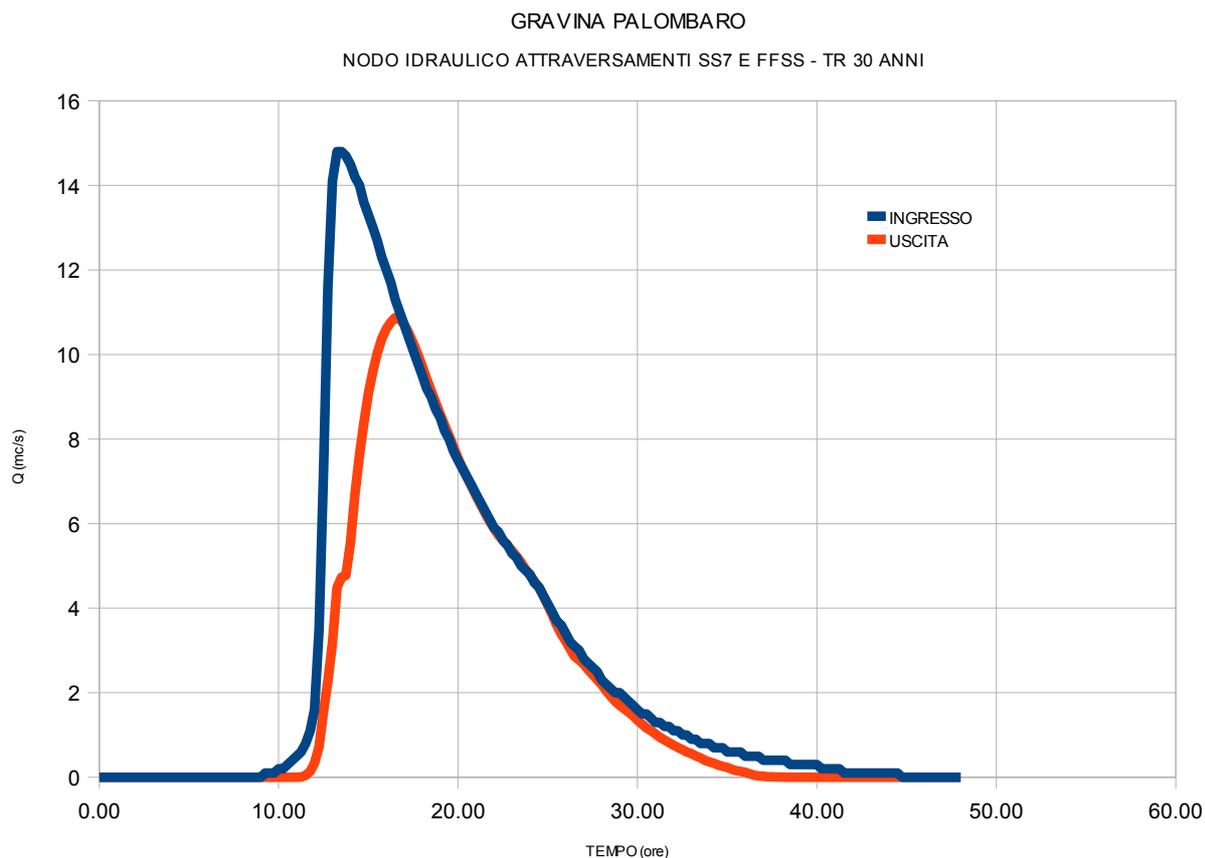


Fig. 3.2.n - Idrogramma evento di progetto con durata di 24 ore e Tr 30 anni

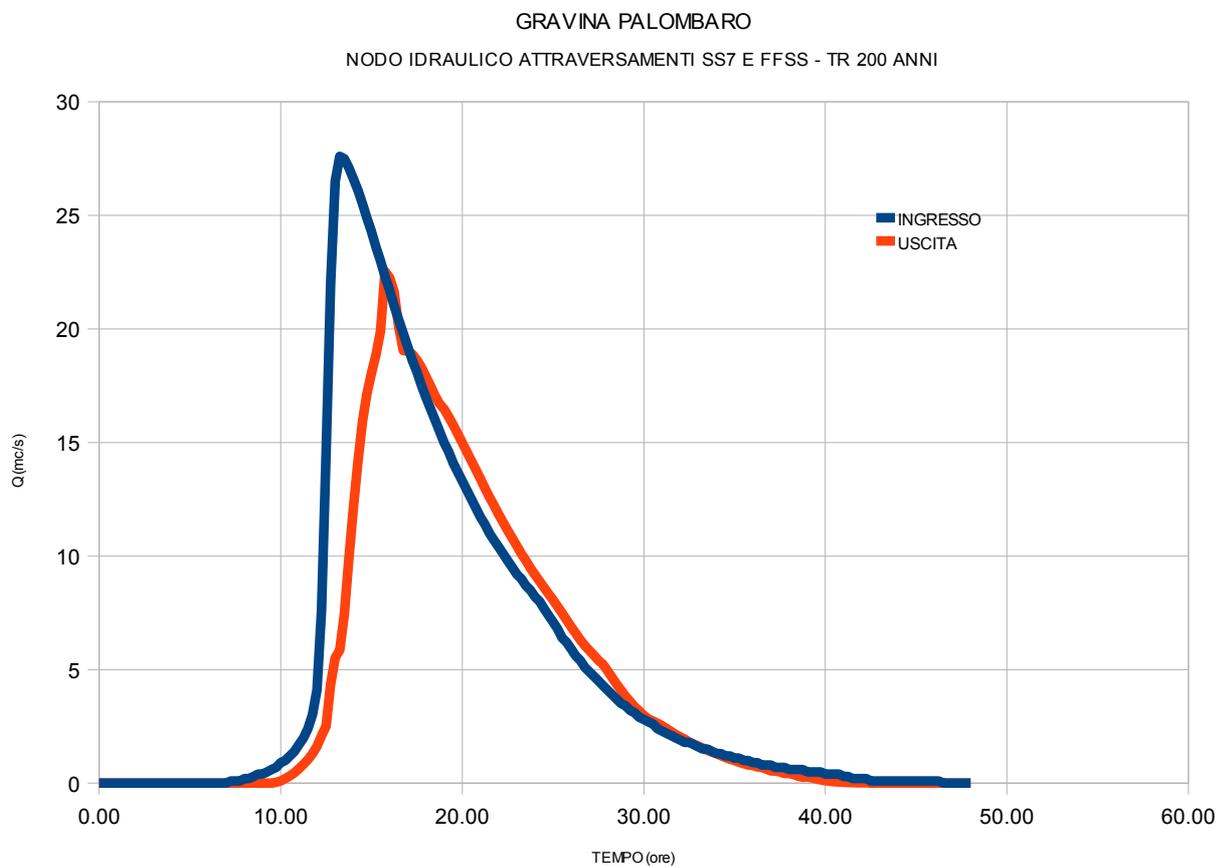


Fig. 3.2.o - Idrogramma evento di progetto con durata di 24 ore e Tr 200 anni

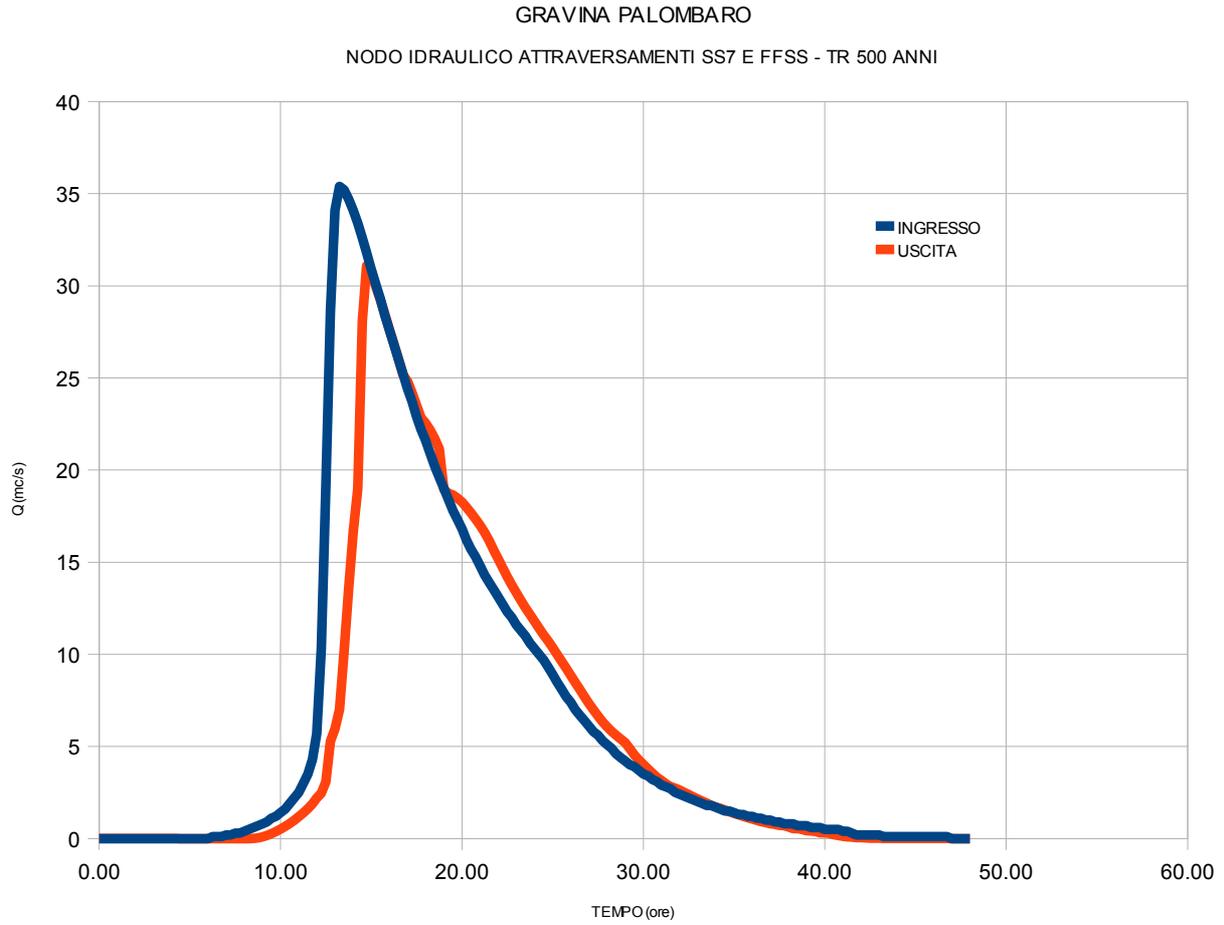


Fig. 3.2.p - Idrogramma evento di progetto con durata di 24 ore e Tr 500 anni

3.3 Modellazione bidimensionale

3.3.1 Gravina Palombaro

Le figure che seguono mostrano le varie fasi di predisposizione del dominio di calcolo del modello bidimensionale per la Gravina Palombaro nel tratto compreso tra gli attraversamenti della SS7 e della linea FFSS e la sua confluenza nel Canale Patemisco. I dati topografici utilizzati in questa fase sono quelli estratti dalla cartografia numerica disponibile integrati da rilievi appositamente eseguiti.

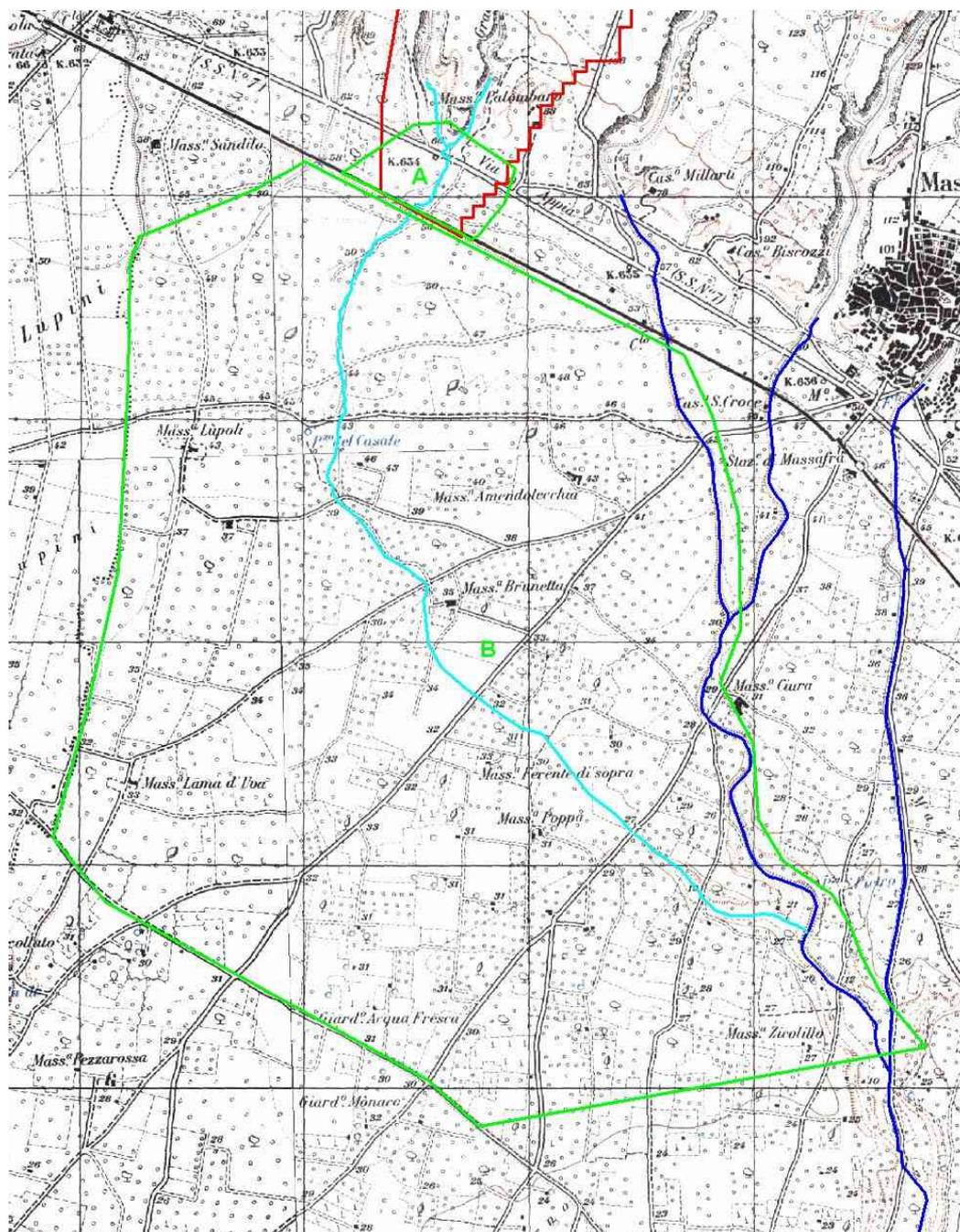


Fig. 3.3.a - Gravina Palombaro – Dominio studiato con modello bidimensionale - IGM

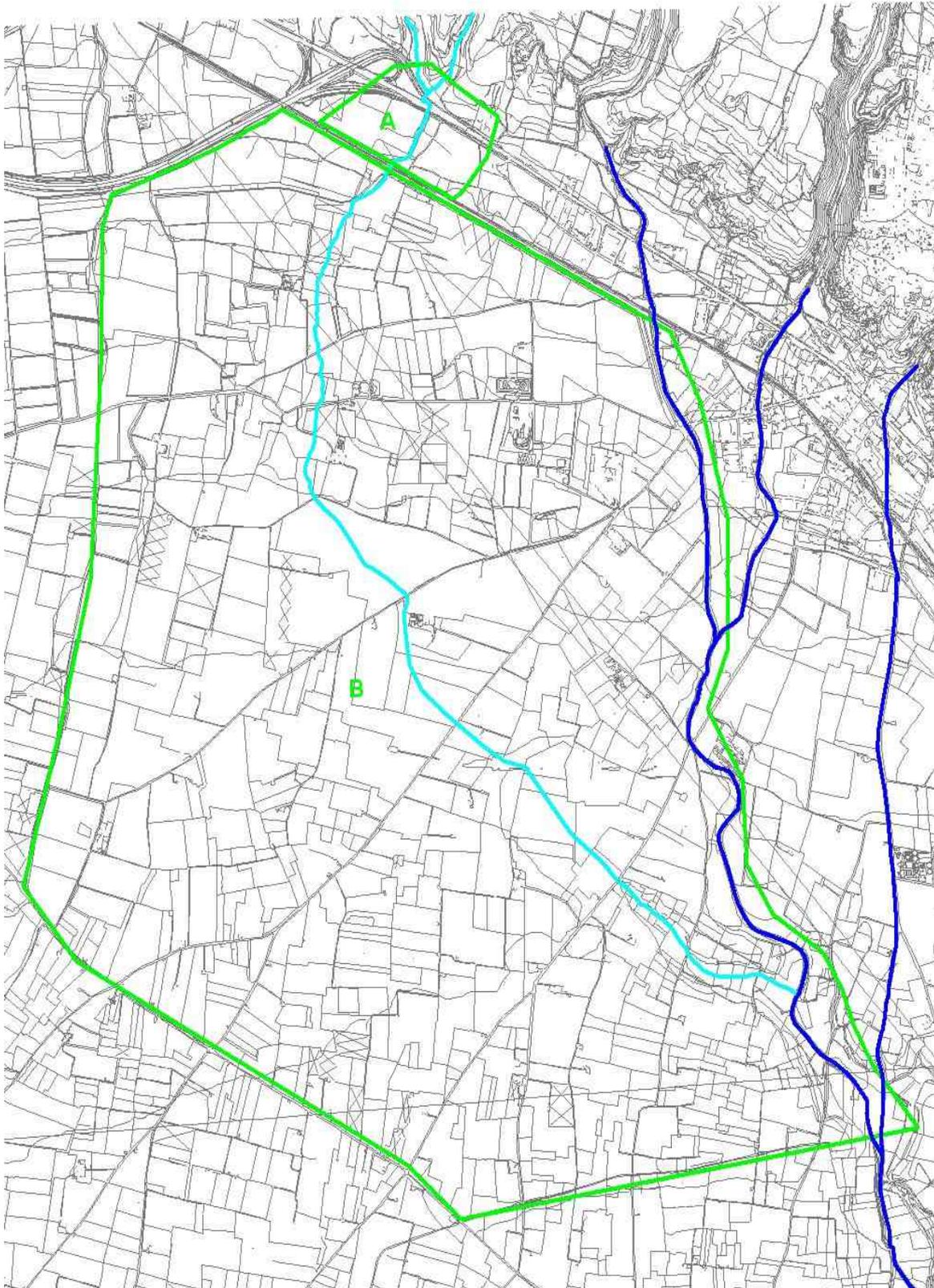


Fig. 3.3.b - Gravina Palombaro – Dominio studiato con modello bidimensionale - CTR

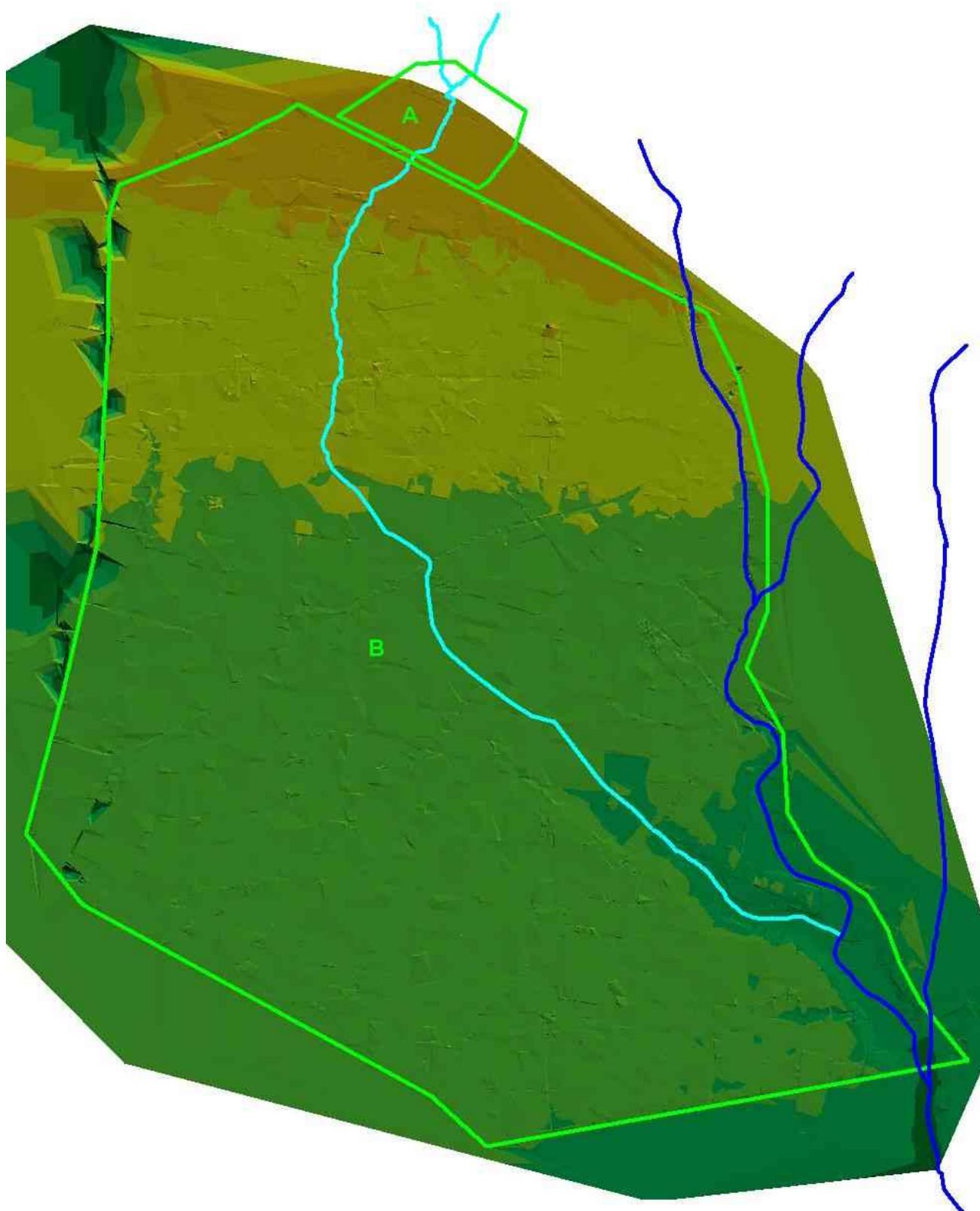


Fig. 3.3.c - Gravina Palombaro – Dominio studiato con modello bidimensionale - TIN

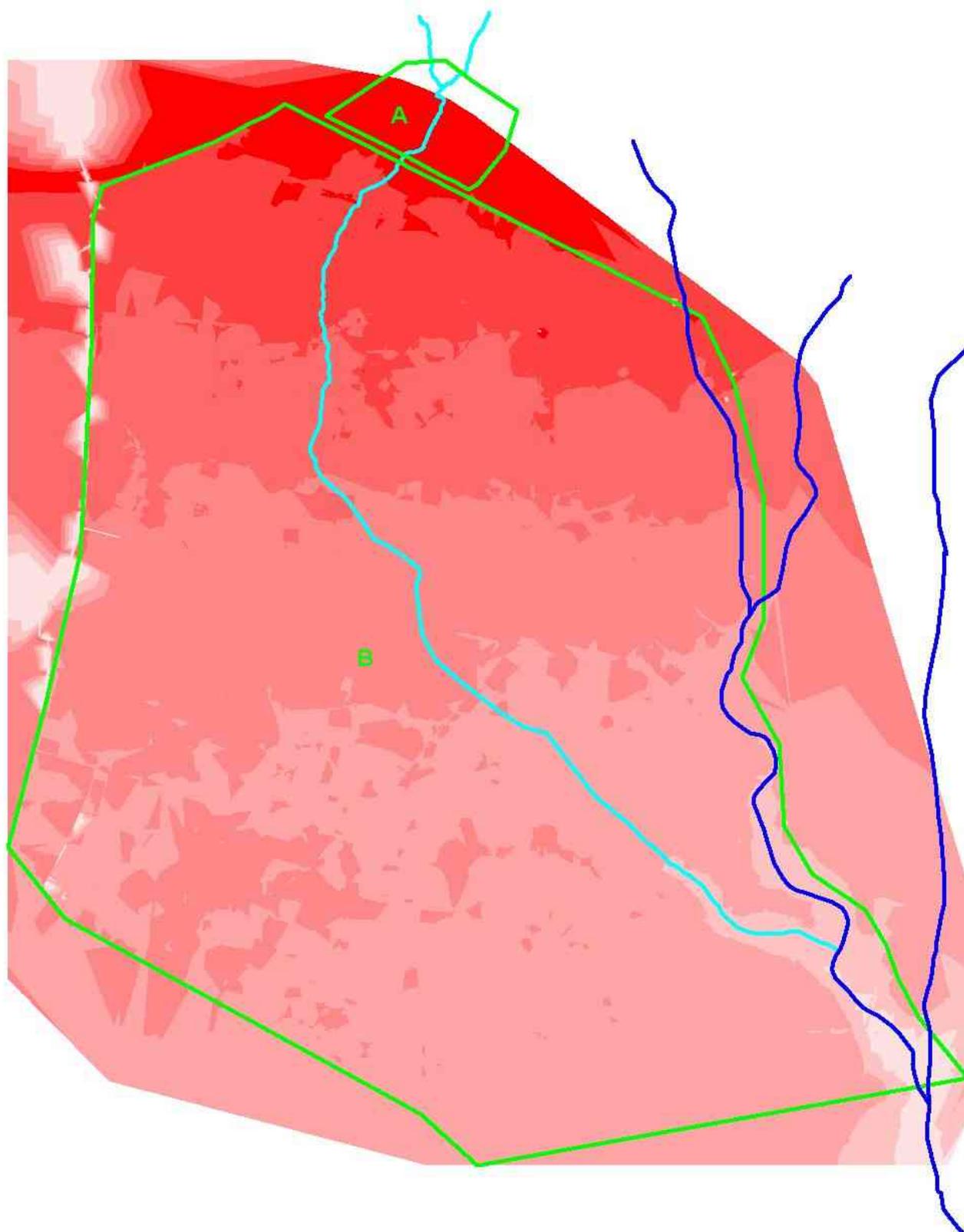


Fig. 3.3.d - Gravina Palombaro – Dominio studiato con modello bidimensionale - DEM

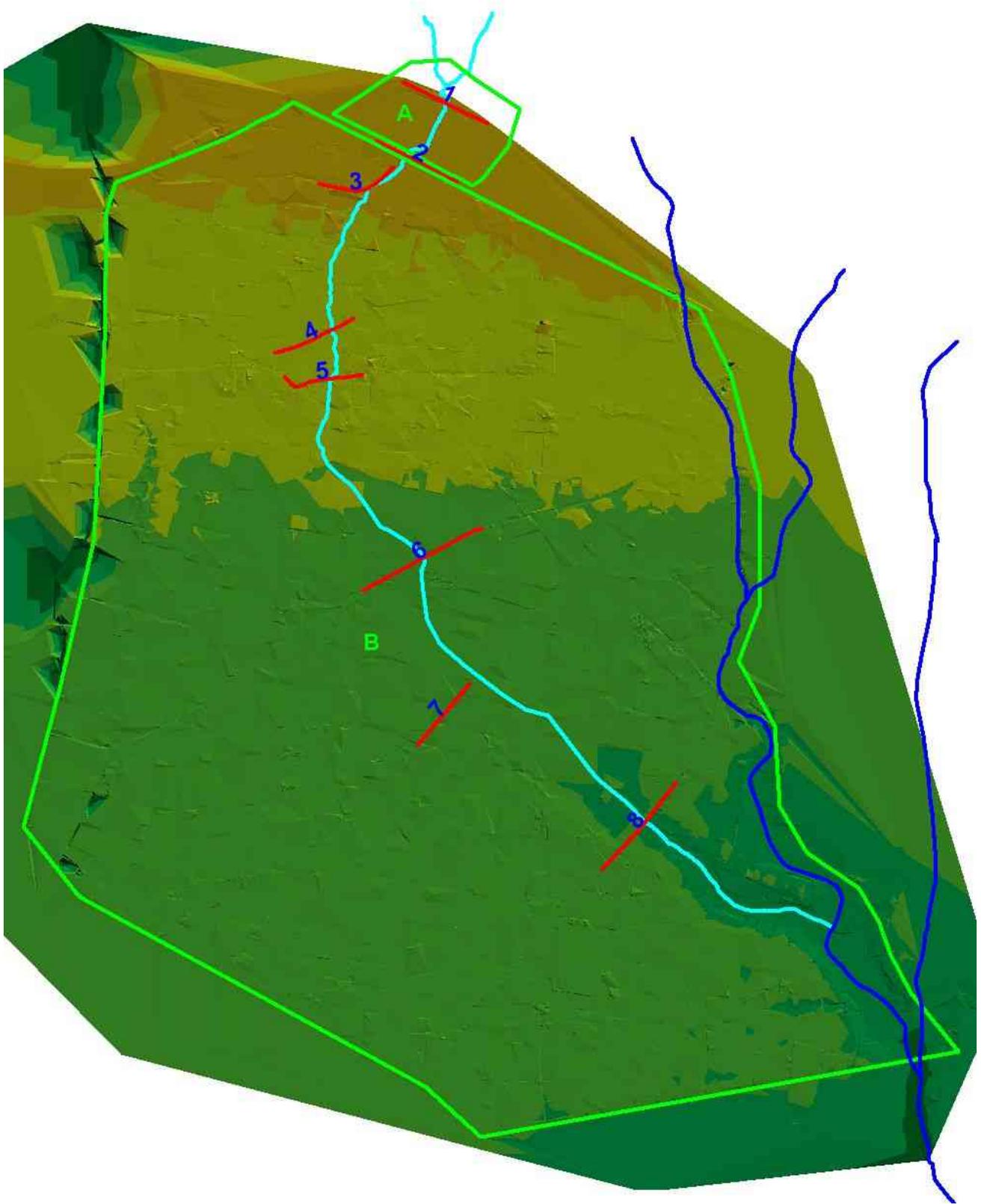


Fig. 3.3.e - Gravina Palombaro – Dominio studiato con modello bidimensionale – strade rilevate



Fig. 3.3.f - Gravina Palombaro – Rilievo attraversamenti (strade 4 e 5)

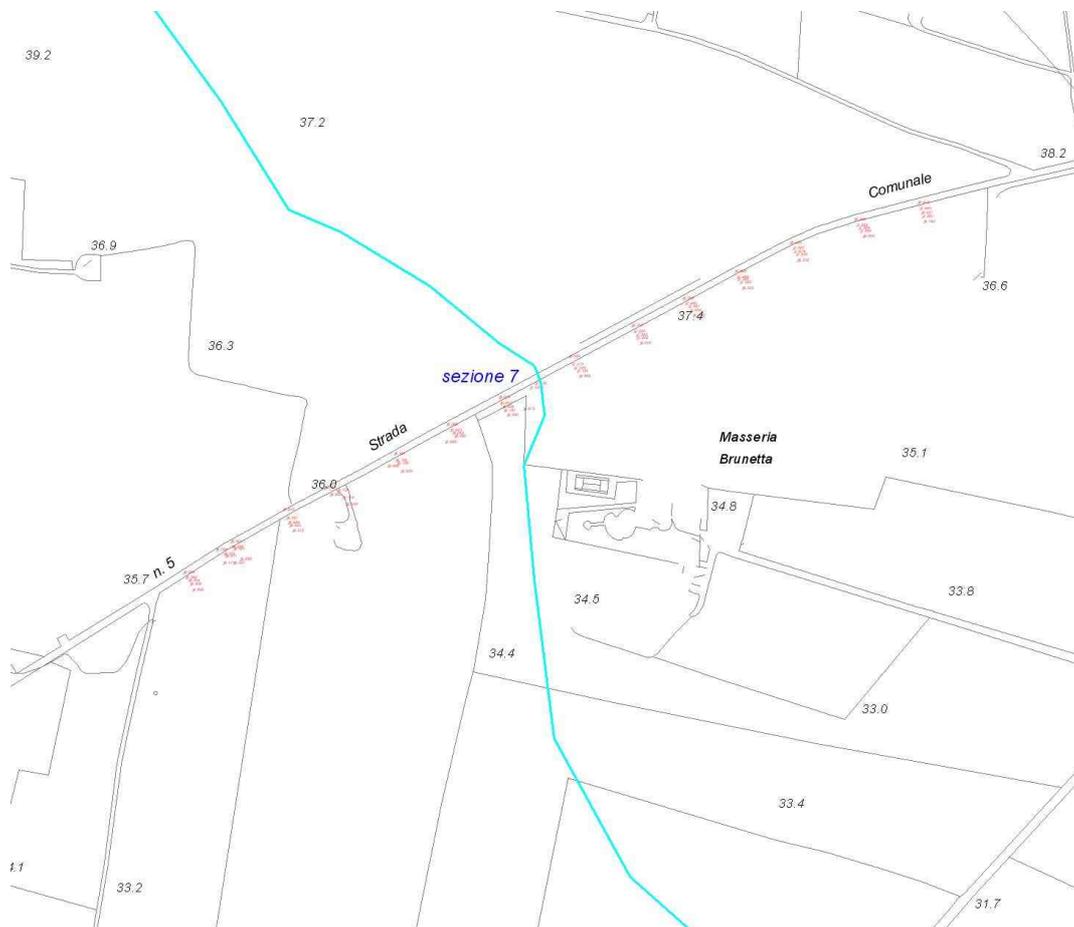


Fig. 3.3.g - Gravina Palombaro – Rilievo attraversamenti (strada 6)



Fig. 3.3.h - Gravina Palombaro – Rilievo attraversamenti (strada 7)



Fig. 3.3.h - Gravina Palombaro – Rilievo attraversamenti (strada 8)

3.3.2 Gravina Cave di Tufo

Le figure che seguono mostrano le varie fasi di predisposizione del dominio di calcolo del modello bidimensionale per la Gravina Cave di Tufo nel tratto compreso tra la sua origine e le depressioni, poste a monte della SS7, che costituiscono il suo corpo ricettore. I dati topografici utilizzati in questa fase sono quelli estratti dalla cartografia numerica disponibile integrati da rilievi appositamente eseguiti.

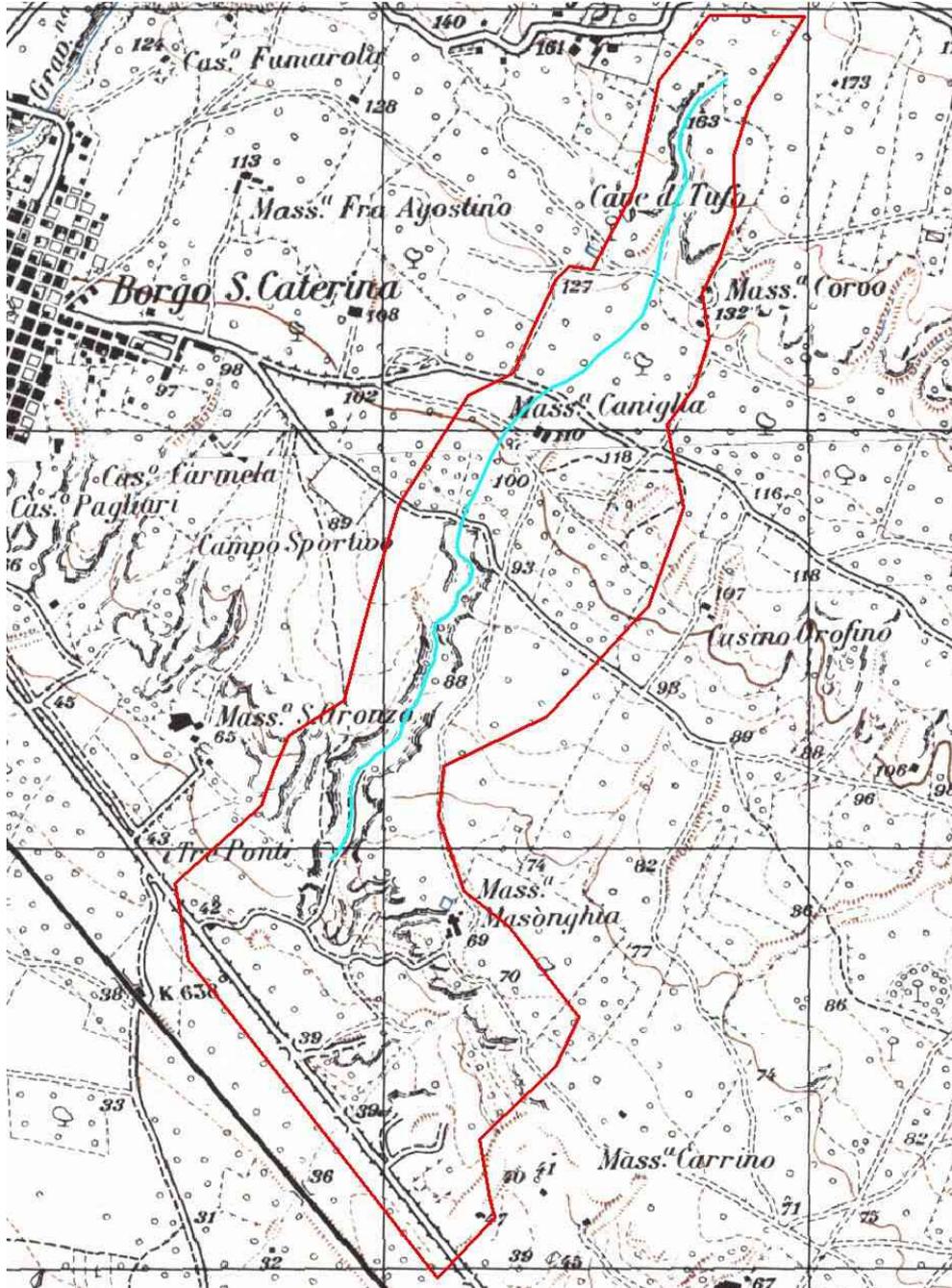


Fig. 3.3.i - Gravina Cave di Tufo – Dominio studiato con modello bidimensionale – IGM

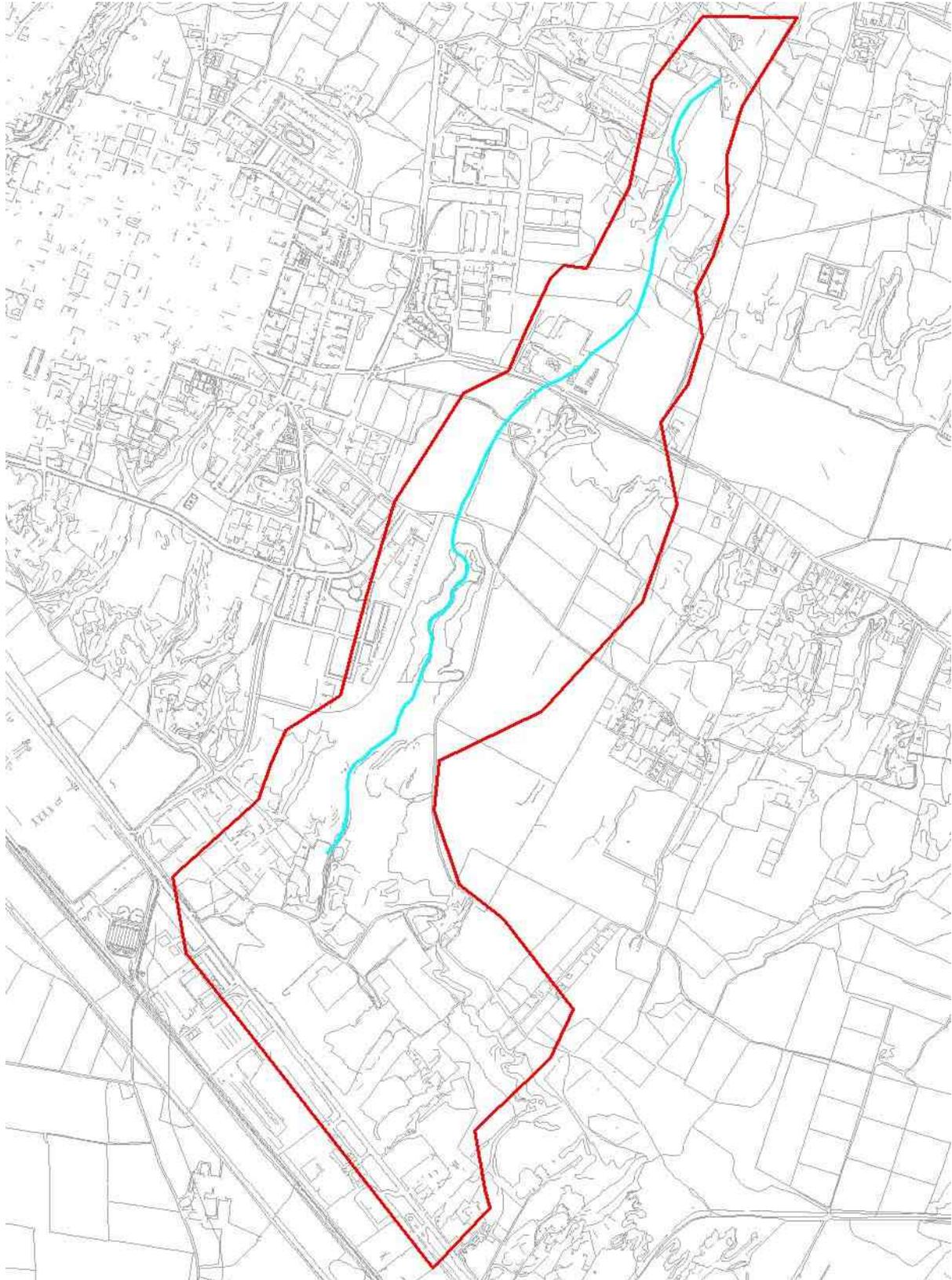


Fig. 3.3.I - Gravina Cave di Tufo – Dominio studiato con modello bidimensionale – CTR

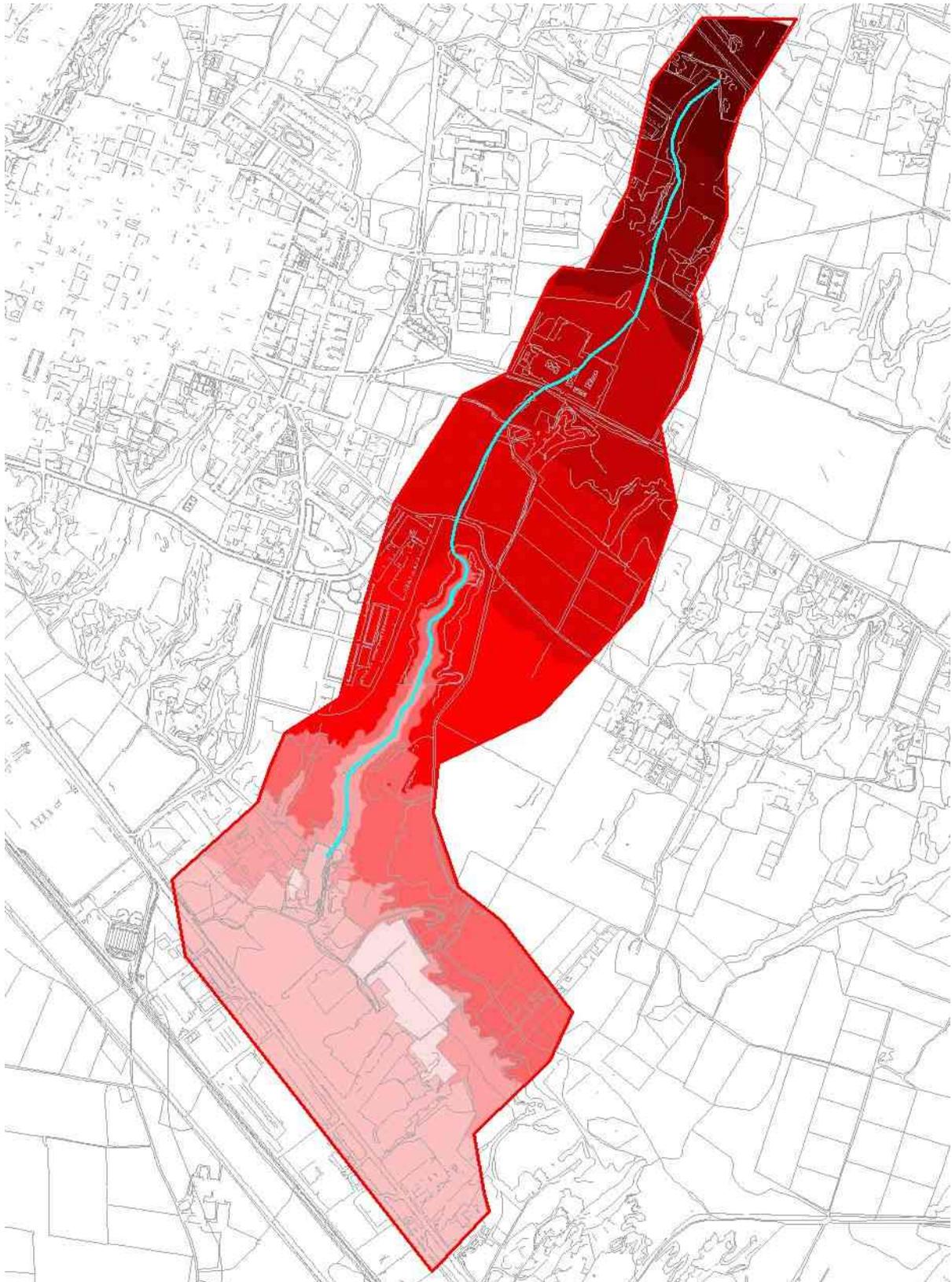


Fig. 3.3.m - Gravina Cave di Tufo – Dominio studiato con modello bidimensionale – DEM

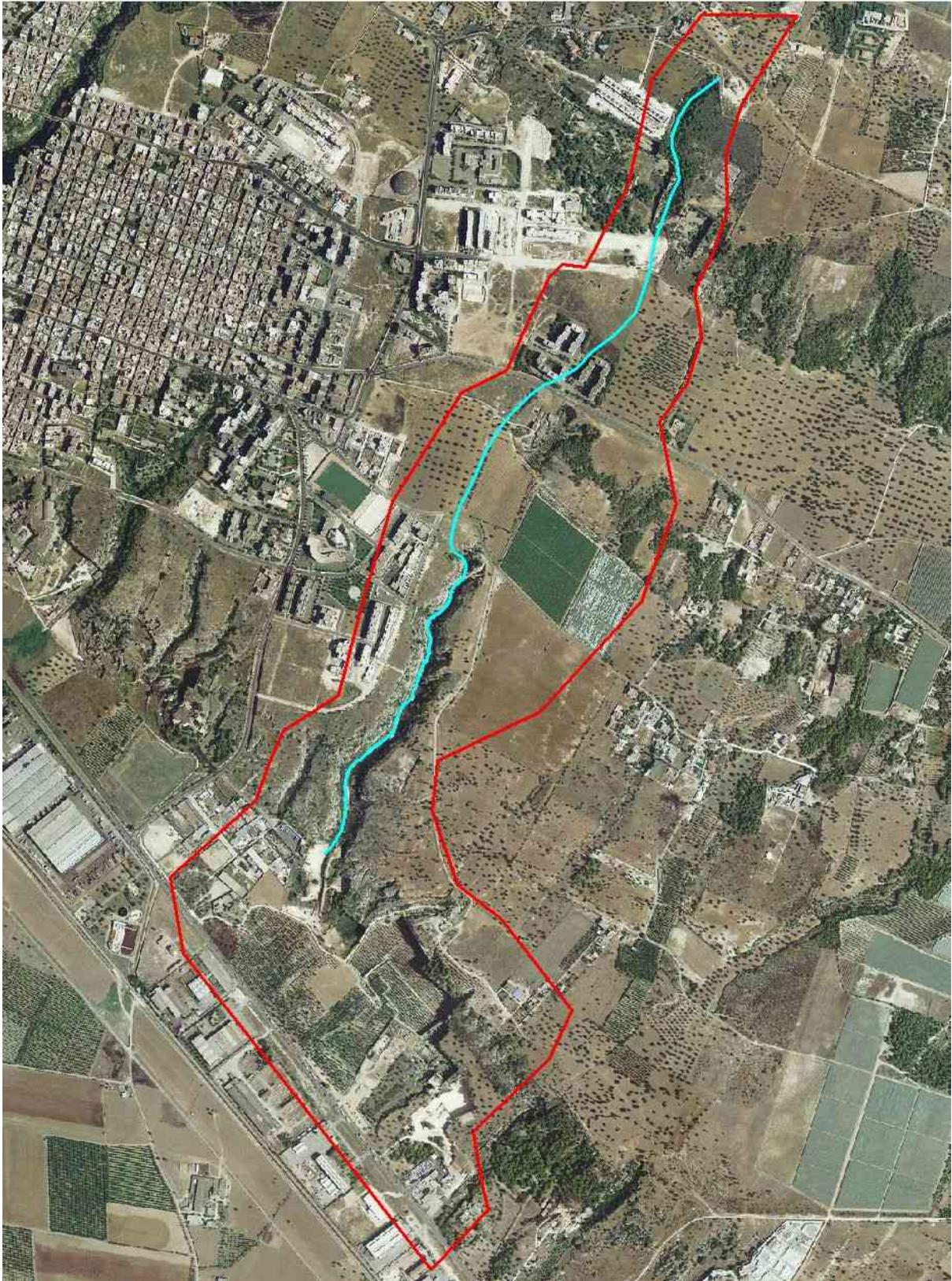


Fig. 3.3.n - Gravina Cave di Tufo – Dominio studiato con modello bidimensionale – Ortofoto

3.4 Risultati modellistica bidimensionale

3.4.1 Gravina Cave di Tufo

La modellistica idraulica utilizzata ha permesso di individuare le aree allagabili con diversi tempi di ritorno nel dominio di studio considerato, nella perimetrazione definitiva fatta sulla base dei risultati del modello occorrerà tener conto che la maglia utilizzata per il modello è di 15 metri di dimensione. Di seguito vengono presentate gli output del modello ottenuti con riferimento ai tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

I battenti idrici ottenuti sono rappresentati in funzione della loro altezza con diverse gradazioni del rosso come mostra la legenda, solo la classe compresa tra 0 e 10 cm di battente è stata evidenziata in giallo.

Dall'esame delle planimetrie con riportati i battenti idrici per le varie simulazioni, procedendo da monte verso valle, emerge che:

- nella zona di monte, nei tratti in cui è ancora presente l'incisione originaria il deflusso risulta largamente contenuto al suo interno;
- nel tratto più a valle, dove sono attualmente in corso alcuni interventi edilizi, il deflusso tende ad interessare zone più larghe;
- in corrispondenza della località Santa Croce il deflusso è fortemente influenzato dalla presenza del muro perimetrale di cinta del omonimo condominio che viene contornato dal lato est;
- più a valle a causa della deviazione del deflusso di cui sopra vengono riattivate i bracci più orientali della gravina che tendono a convogliare le acque in una zona con scarsa pendenza per cui la zona interessata dal deflusso si allarga;
- dove la gravina ritorna ad essere incisa il deflusso torna a concentrarsi al suo interno richiamando anche le acque provenienti dalla zona orientale;
- il deflusso tende a colmare la zona in cui sono presenti le due depressioni identificate come corpo ricevente della stessa gravina e quindi l'eccesso si espande verso la SS7 Appia.

In considerazione di quanto sopra esposto si è proceduto a valutare con maggiore precisione i volumi che effettivamente possono essere contenuti all'interno delle due principali depressioni situate nella zona identificata come corpo ricevente della gravina prima che il loro contenimento venga trascinata. È stato quindi ricostruito un modello digitale del terreno di dettaglio della zona, vedi figura 3.4.d, sulla base del quale sono state ricostituite le curve altezze/volume delle due depressioni riportate in tabella 3.4.a.

Considerando il livello di contenimento posta a quota 43.5 m.s.l.m. risulta che le due depressioni possono ricevere un volume di circa 100.000 mc senza avere trascinamento e quindi espansione del deflusso verso valle senza tener conto dell'infiltrazione del suolo.

In considerazione del fatto che le due depressioni sono poste in corrispondenza di una zona carsica storicamente caratterizzata dalla presenza di inghiottitoi, come si rileva dalla cartografia IGM, tuttora attivi come rilevato in occasione dei sopralluoghi effettuati si può ragionevolmente considerare che i volumi di deflusso per gli eventi di piena considerati con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni vengano completamente assorbiti dalle due depressioni come peraltro confermato dal fatto che non risultano notizie storiche di allagamenti in quella zona.

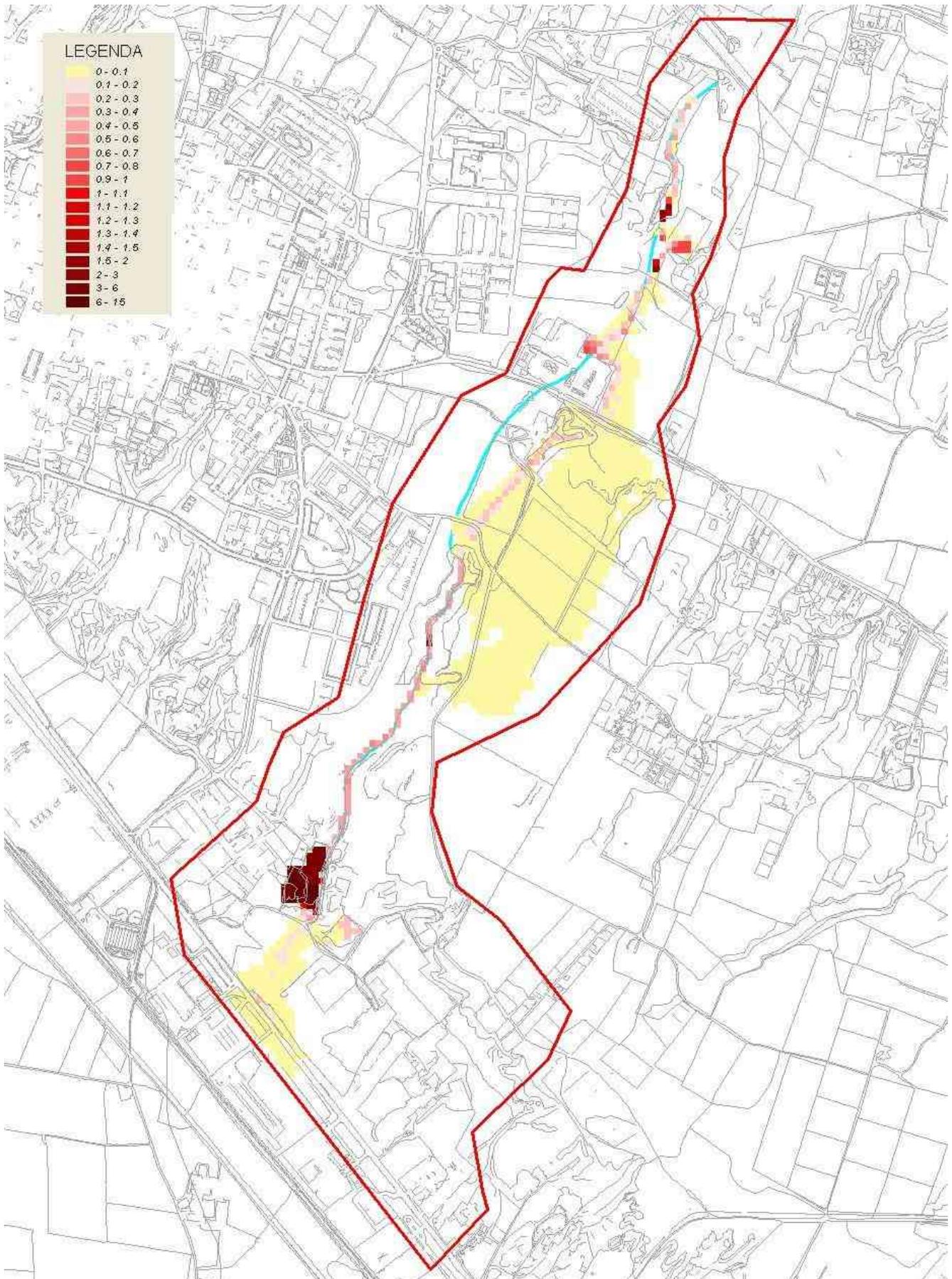


Fig. 3.4.a - Gravina Cave di Tufo – Battenti simulazione TR 30 anni

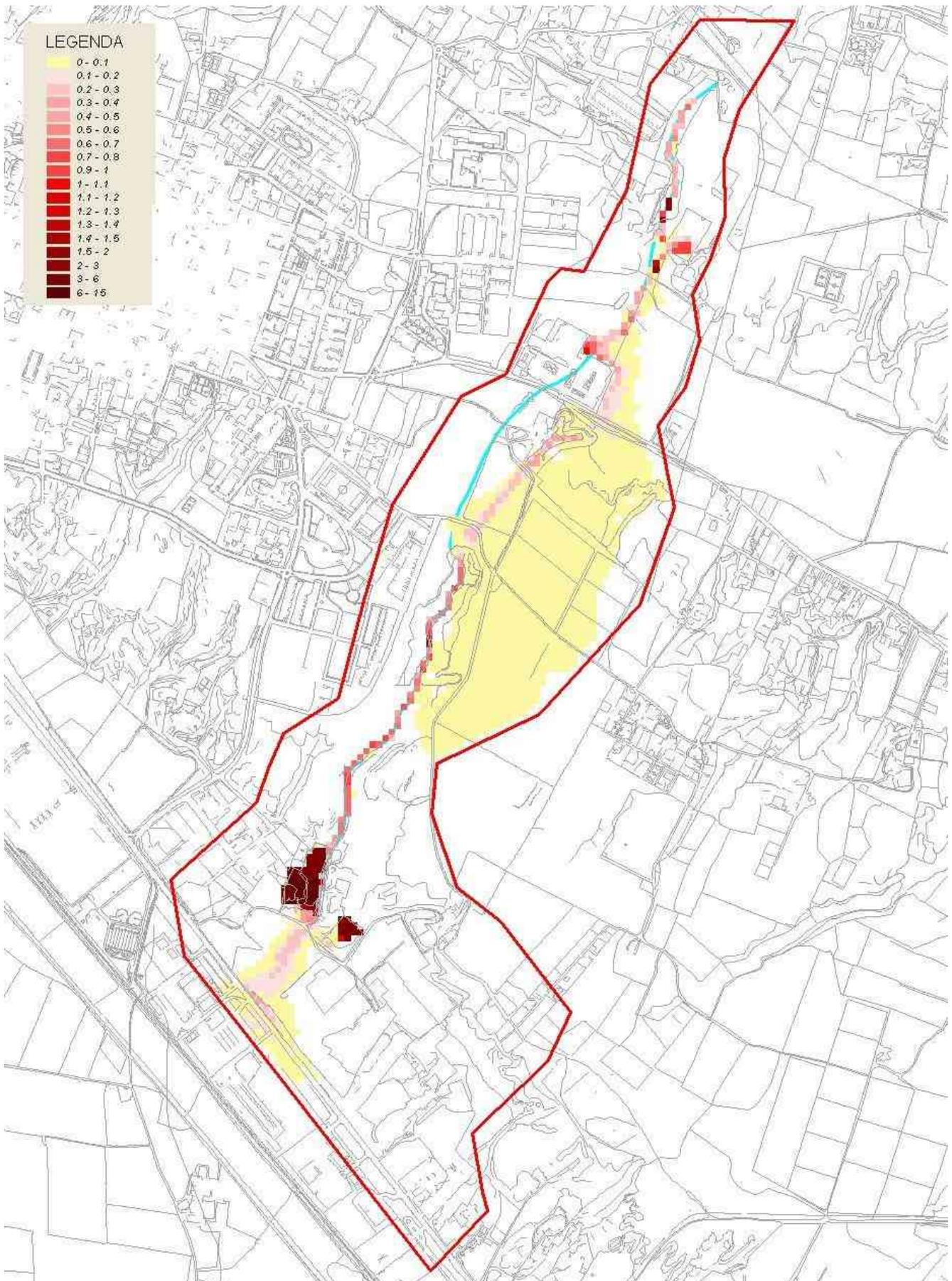


Fig. 3.4.b - Gravina Cave di Tufo – Battenti simulazione TR 200 anni

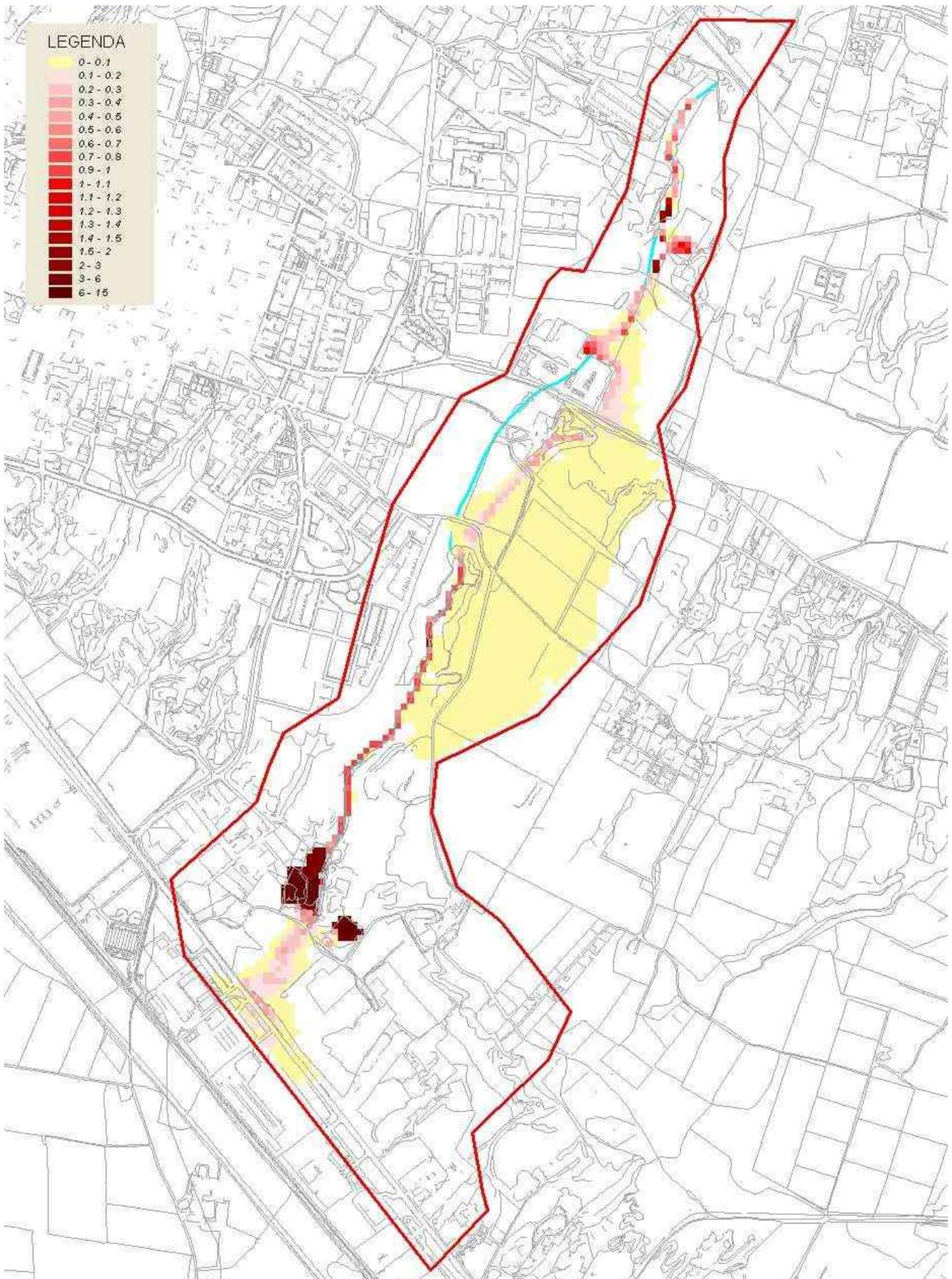


Fig. 3.4.c - Gravina Cave di Tufo – Battenti simulazione TR 500 anni

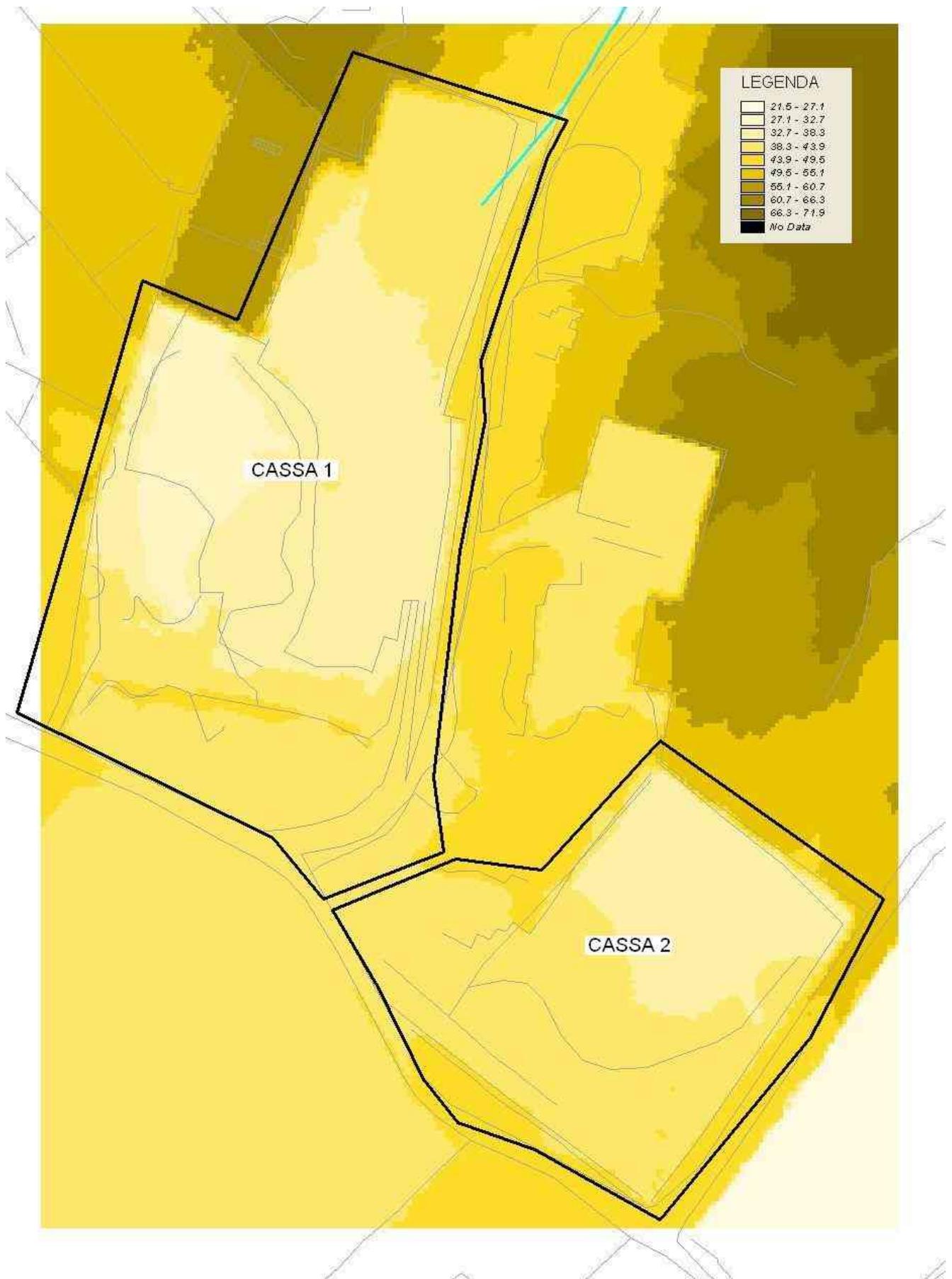


Fig. 3.4.d - Gravina Cave di Tufo – Corpo ricettore (depressioni esistenti)

QUOTA (M)	CASSA 1		CASSA 2	
	Sup (mq)	Vol (mc)	Sup (mq)	Vol (mc)
30	281	101	0	0
31	916	673	0	0
32	1264	1781	0	0
33	1654	3232	0	0
34	1991	5061	0	0
35	2296	7204	1792	930
36	2566	9633	2000	2835
37	4228	12921	2178	4931
38	6563	18190	2345	7191
39	8440	25745	2518	9625
40	9545	34852	2713	12247
41	10112	44699	2890	15050
42	10413	54976	3331	18063
43	11174	65596	5352	22646
44	13449	78178	7227	29261

Tab. 3.4.a – Volumetrie corpo ricettore Gravina Cave di Tufo

3.4.2 Gravina Palombaro

La modellistica idraulica utilizzata ha permesso di individuare le aree allagabili con diversi tempi di ritorno nel dominio di studio considerato, nella perimetrazione definitiva fatta sulla base dei risultati del modello occorrerà tener conto che la maglia utilizzata per il modello è di 30 metri di dimensione. Di seguito vengono presentate gli output del modello ottenuti con riferimento ai tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

I battenti idrici ottenuti sono rappresentati in funzione della loro altezza con diverse gradazioni del rosso come mostra la legenda, solo la classe compresa tra 0 e 10 cm di battente è stata evidenziata in giallo.

Dall'esame delle planimetrie con riportati i battenti idrici per le varie simulazioni, procedendo da monte verso valle, emerge che:

- nella zona subito a valle dell'attraversamento ferroviario il deflusso si espande in una fascia con larghezza variabile tra i 200 e i 300 m;
- nella zona a ridosso della strada che da Massafra si diparte in direzione sud-ovest, caratterizzata da un rilevato che si eleva di circa 2 metri in media dal piano campagna, si ha un forte accumulo di acqua;
- a valle della strada di cui al punto precedente il deflusso torna ad interessare una fascia di larghezza più ridotta finché non ritrova l'incisione e quindi si canalizza in essa fino alla confluenza con il canale Patemisco.

In considerazione di quanto sopra esposto si è proceduto alla perimetrazione delle aree a diversa pericolosità idraulica come specificato nel seguito.

Analisi del rischio nel bacino del canale Patemisco e dei suoi principali affluenti – III parte

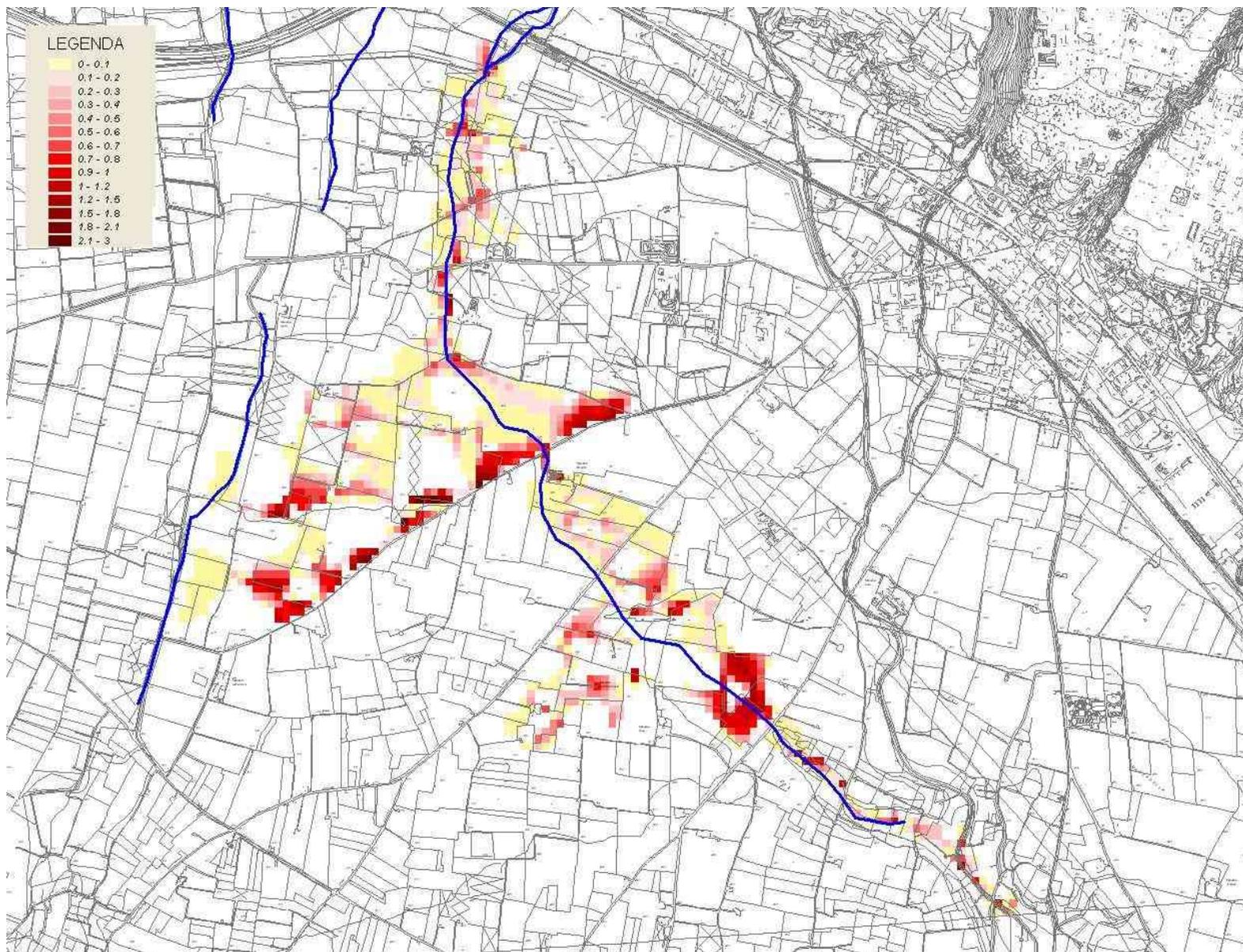


Fig. 3.4.e - Gravina Palombaro – Battenti simulazione TR 30 anni

Analisi del rischio nel bacino del canale Patemisco e dei suoi principali affluenti – III parte

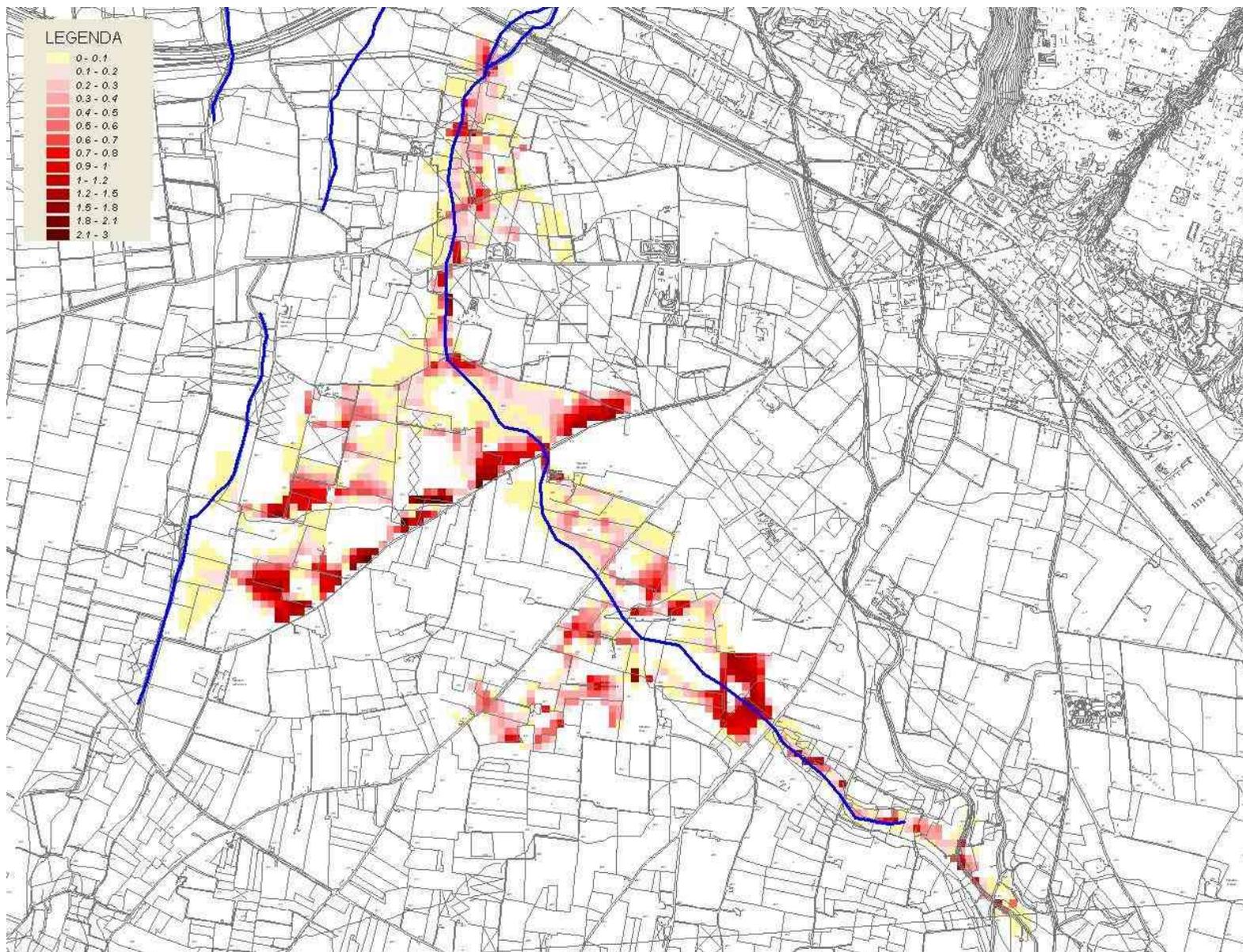


Fig. 3.4.f - Gravina Palombaro – Battenti simulazione TR 200 anni

Analisi del rischio nel bacino del canale Patemisco e dei suoi principali affluenti – III parte

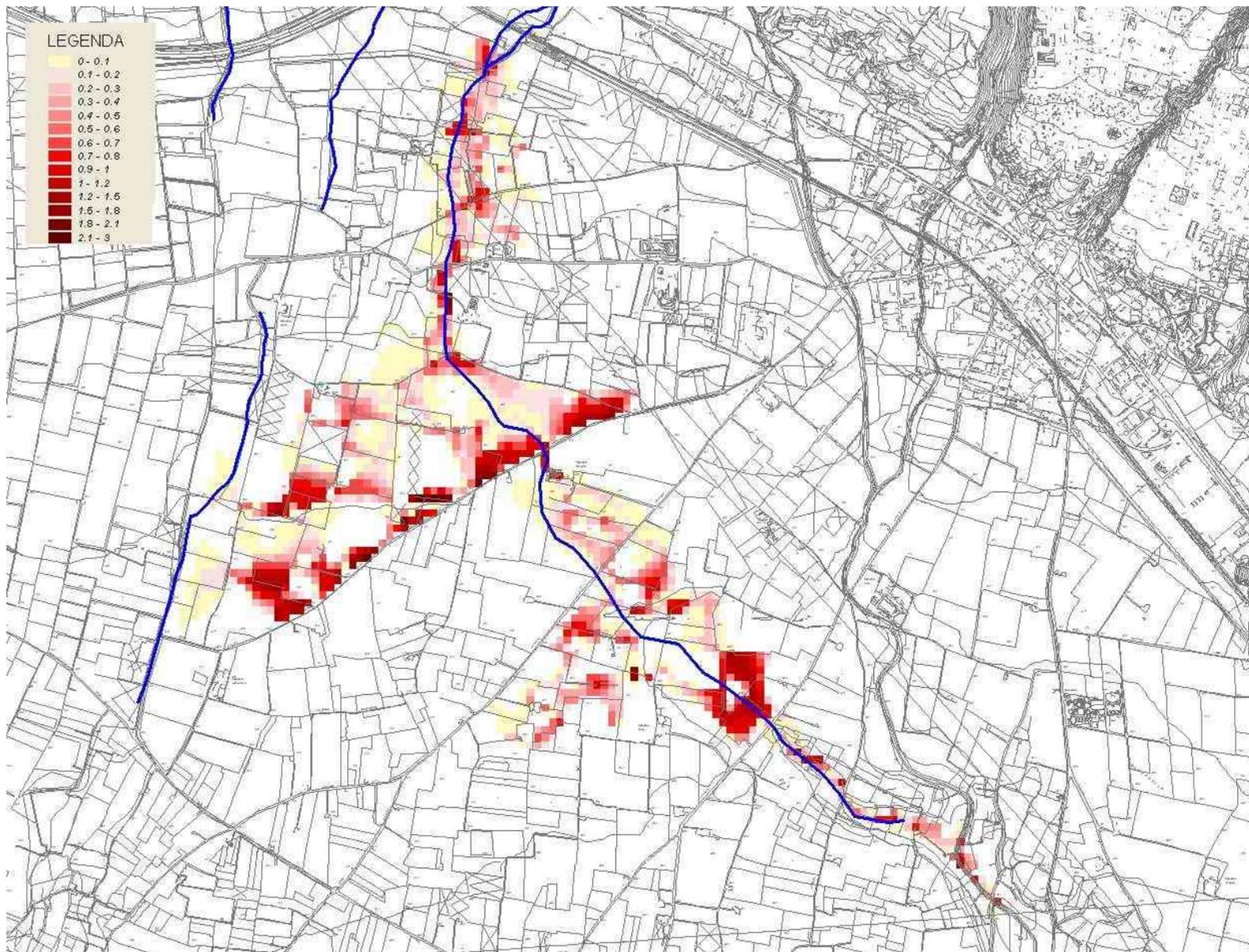


Fig. 3.4.f - Gravina Palombaro – Battenti simulazione TR 500 anni

3.5 Perimetrazione aree allagabili

Sulla base dei risultati ottenuti dalla simulazione idraulica si è proceduto alla perimetrazione delle aree allagabili con differenti tempi di ritorno. Il primo passaggio è stato quello di effettuare una riperimetrazione automatica importando nel GIS i risultati ottenuti dai vari modelli, HEC-RAS per la zona della Gravina Palombaro simulata con modello quasi bidimensionale e Flo-2D nel restante tratto della Gravina Palombaro e nella Gravina Cave di Tufo e sfruttando il modello digitale del terreno di dettaglio ottenuto dal rilievo topografico della zona.

In una seconda fase la perimetrazione automatica ottenuta è stata rivista su base geomorfologica utilizzando anche la cartografia di dettaglio e le ortofoto disponibili nella zona. In particolare considerando anche la possibilità che eventi di piena estremi si accompagnano sempre a portate solide tali da modificare anche in modo sostanziale lo stato dei luoghi e quindi le caratteristiche di deflusso del reticolo idrografico in particolare in corrispondenza dei numerosi attraversamenti che funzionano in pressione, come già verificatosi negli ultimi eventi alluvionali (2003 e 2005) che hanno colpito la zona, si è ritenuto cautelativo estendere in modo opportuno e sulla base della morfologia del terreno le aree allagabili tenendo conto anche della presenza dei manufatti.

I risultati della perimetrazione così ottenuta sono riportati nelle figure seguenti, dove le aree a diversa probabilità di esondazione sono evidenziate in colori diversi. In ogni caso tali figure rappresentano stralci dell'allegato cartografico Tavola 7 che rappresenta in una scala più adeguata, 1:5.000, tutta la zona studiata.

Gravina Cave di Tufo

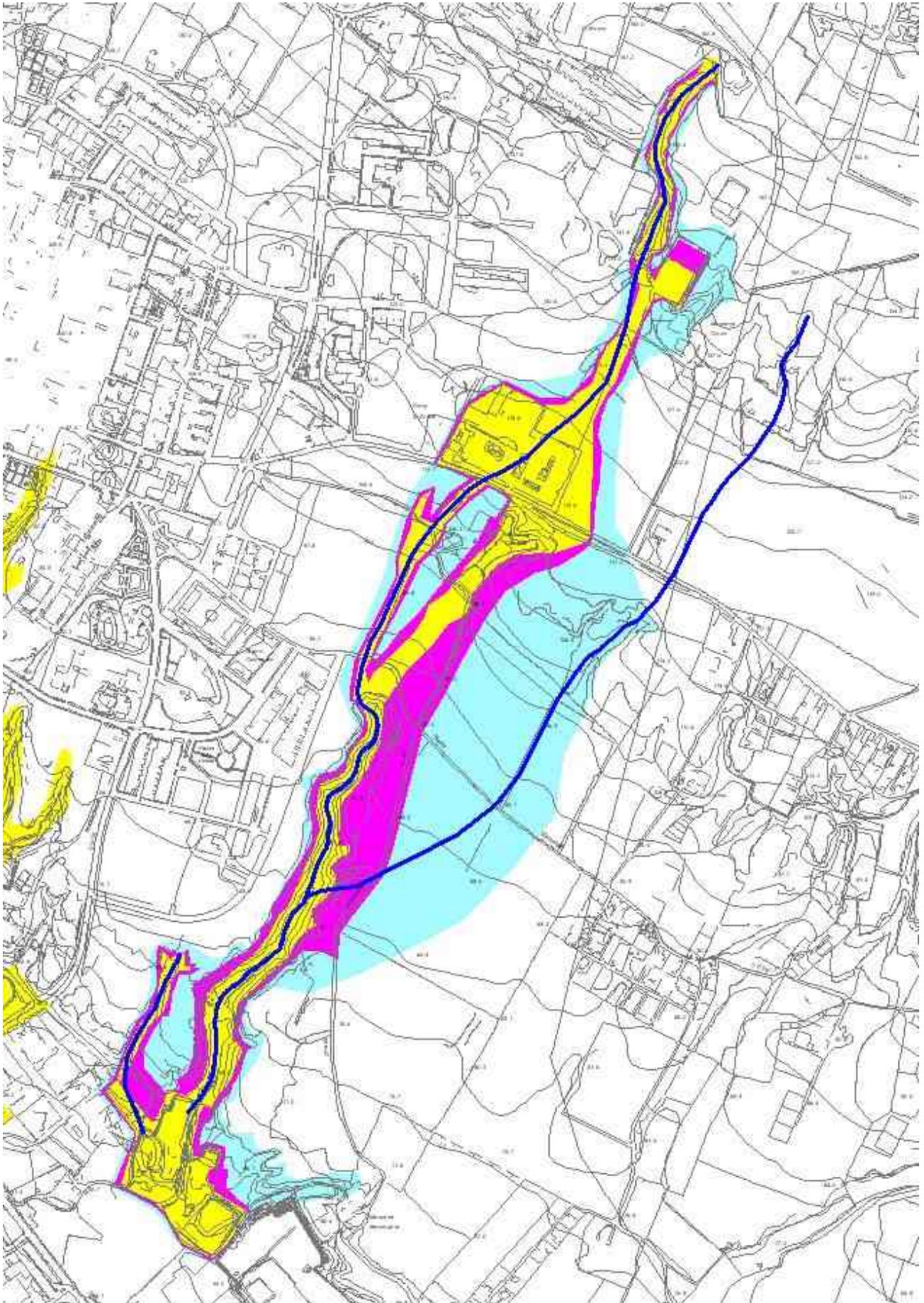


Fig. 3.4.a– Gravina Cave di Tufo - Perimetrazione aree allagabili con diversi tempi di ritorno

Gravina Palombaro

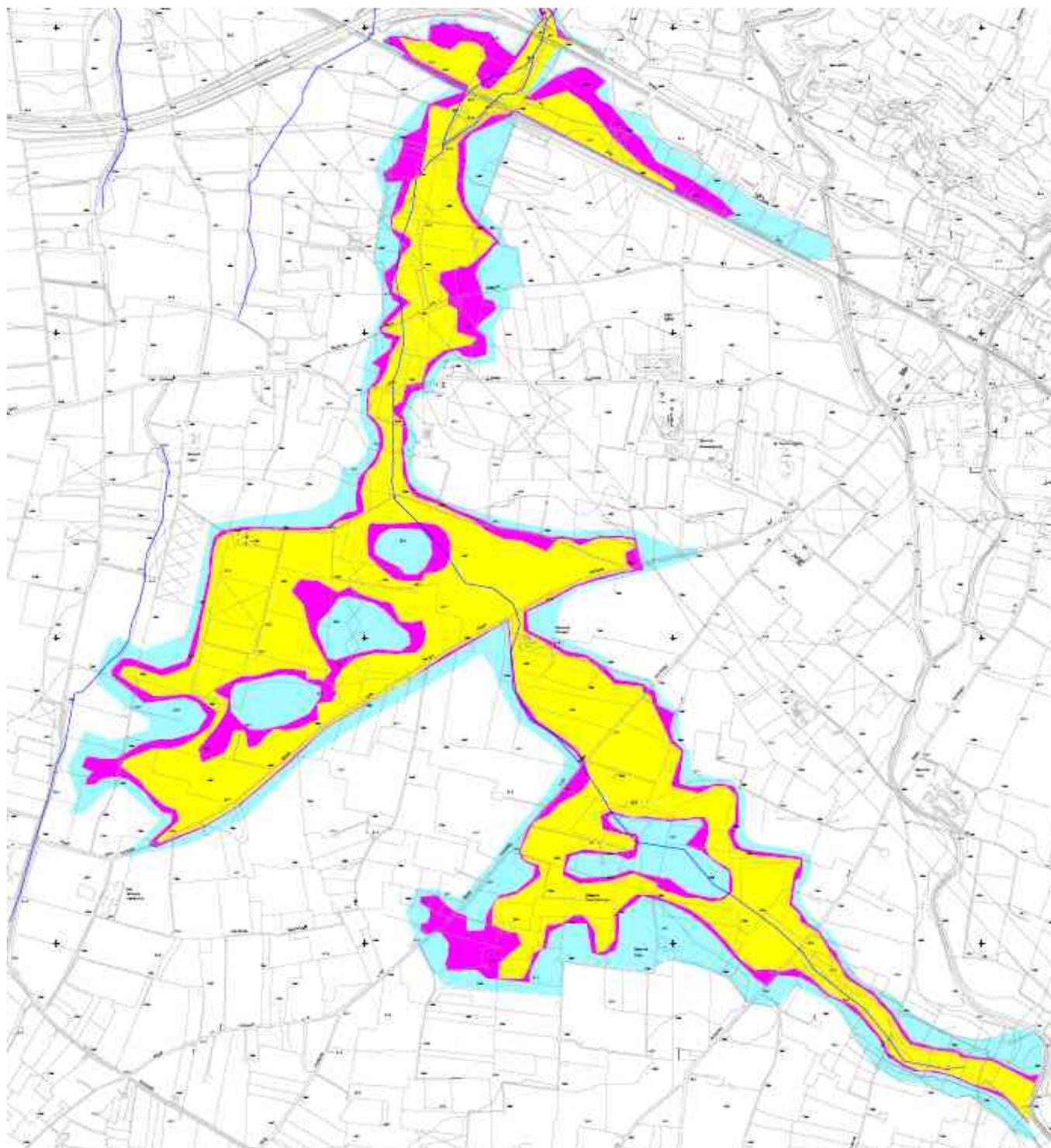


Fig. 3.4.b– Gravina Palombaro - Perimetrazione aree allagabili con diversi tempi di ritorno