

**AUTORITÀ DI BACINO DELLA PUGLIA**

L.R. 9 Dicembre 2002 n. 19

C/o INNOVA PUGLIA S.p.A. (Ex. TECNOPOLIS CSATA) | Str. Prov. per Casamassima Km 3 - 70010 Valenzano - Bari  
TEL. 080 9182000/242 - FAX. 080 9182244 | C.F. 93289020724 | [www.adb.puglia.it](http://www.adb.puglia.it) - E-MAIL: [segreteria@adb.puglia.it](mailto:segreteria@adb.puglia.it) - PEC: [segreteria@pec.adb.puglia.it](mailto:segreteria@pec.adb.puglia.it)**Autorità di Bacino della Puglia****PROTOCOLLO GENERALE**

adbp A00\_AFF\_GEN

0001564

E 07/02/2017 13:07:15

**Al Segretario Generale**  
**Prof. Ing. A. R. Di Santo**  
**SEDE****OGGETTO** **Comune di Monopoli: "Modifica al PAI assetto idraulico, nel territorio comunale di Monopoli nel territorio a sud della città, fino al limite comunale con Fasano."**

RELAZIONE ISTRUTTORIA

Nel corso degli ultimi anni questa Autorità ha acquisito agli atti alcune istanze di modifica al PAI contenenti valutazioni numeriche di dettaglio finalizzate alla definizione dei livelli di pericolosità idraulica nel territorio comunale di Monopoli, con particolare riferimento alla porzione sita a sud del centro abitato. Alcuni di questi studi risultano essere stati condotti con metodologie adeguate e sulla base di rilievi topografici di dettaglio, tanto da essere già stati valutati positivamente da questa Autorità ai fini della compatibilità idraulica di interventi. Si è ritenuto pertanto opportuno eseguire un approfondimento di carattere generale, finalizzato a definire nel dettaglio i livelli di pericolosità idraulica in tutta la porzione di territorio comunale posta a sud del centro abitato, al fine di redigere in maniera completa la mappa delle pericolosità idrauliche da inserire nel PAI.

Per questo motivo, lo scrivente, ha intrapreso l'analisi del territorio sopra richiamato che è stato possibile portare a compimento ottenendo adeguati output, applicando modelli di simulazione della propagazione delle piene su base Lidar, grazie alla copertura quasi totale del territorio disponibile agli atti di questo Ente.

Una sintesi delle istanze di modifica al PAI, maggiormente significative, acquisite nell'ultimo periodo agli atti sono di seguito elencate:

- prot. AdB n. 14755 del 8/11/2013 (RICHIESTA PARERE INDIVIDUAZIONE DELL'AREA DA DESTINARE A PARCHEGGIO TEMPORANEO CONNESSO A STRUTTURA AMOVIBILE TEMPORANEA DA REALIZZARSI IN CONTRADA LOSCIALE - FRAZIONE CAPITOLE IMPIASA LEONARDO PALAZZI );
- prot. AdB n. 8009 del 11/06/2013 (CONVOCAZIONE CONFERENZA DI SERVIZI PER IL 12/06/2013 - RENNA ANTONIO);
- prot. AdB n. 10721 del 06/08/2013 (PRAT. ED. PDC-0201-2011-RA PROT. 0038234/2011 ISTANZA DEL 17/08/2011 - RISCONTRO NOTA 425 DEL 10/01/2013 - INSTALLAZIONE DI SERRE FINALIZZATE ALLA COLTIVAZIONE INTENSIVA DI ORTAGGI IN CONTRADA LAMANDIA);
- prot. AdB n. 2833 del 05/03/2015 (FIUME PAOLO - PARERE PREVENTIVO PER PROGETTO AMPLIAMENTO PREESISTENTE FABBRICATO RURALE IN C.DA L'ASSUNTA 134/A - PARERE DELL'ADB)
- prot. AdB n. 4458 del 31/03/2015 (PRATICA EDILIZIA PDC 0148-2013-VM PROT. 00238337/2013 ISTANZA DEL 26/07/2013 PER COSTRUZIONE DI UNA TETTOIA IN AMPLIAMENTO DI UN PREESISTENTE FABBRICATO IN C.DA L'ASSUNTA N. 102/N - CARUCCI LEONARDO. PARERE DELL'ADB);



- prot. AdB n. 11108 del 31/07/2015 (RICHIESTA COMPATIBILITA' IDROLOGICA ED IDRAULICA PER AMPLIAMENTO DI UN EDIFICIO RESIDENZIALE);
- prot. AdB n. 11111 del 31/07/2015 (DITTA ALBANO CARMELA PARERE DI COMPATIBILITA' IDROLOGICA E IDRAULICA PER COSTRUZIONE ABITAZIONI UNIFAMILIARI IN C.DA LAMADIA);
- prot. AdB n. 14790 del 22/10/2015 (LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL NUOVO OSPEDALE DI MONOPOLI-FASANO. AFFIDAMENTO DEL SERVIZIO DI PROGETTAZIONE PRELIMINARE, COMPRENSIVA DI RELAZIONE TECNICO-SPECIALISTICA DI PROGETTAZIONE CLINICO-GESTIONALE DI PROGETTAZIONE DEFINITIVA).

Si riporta nel seguito una mappa riassuntiva con le principali istanze sopra richiamate.

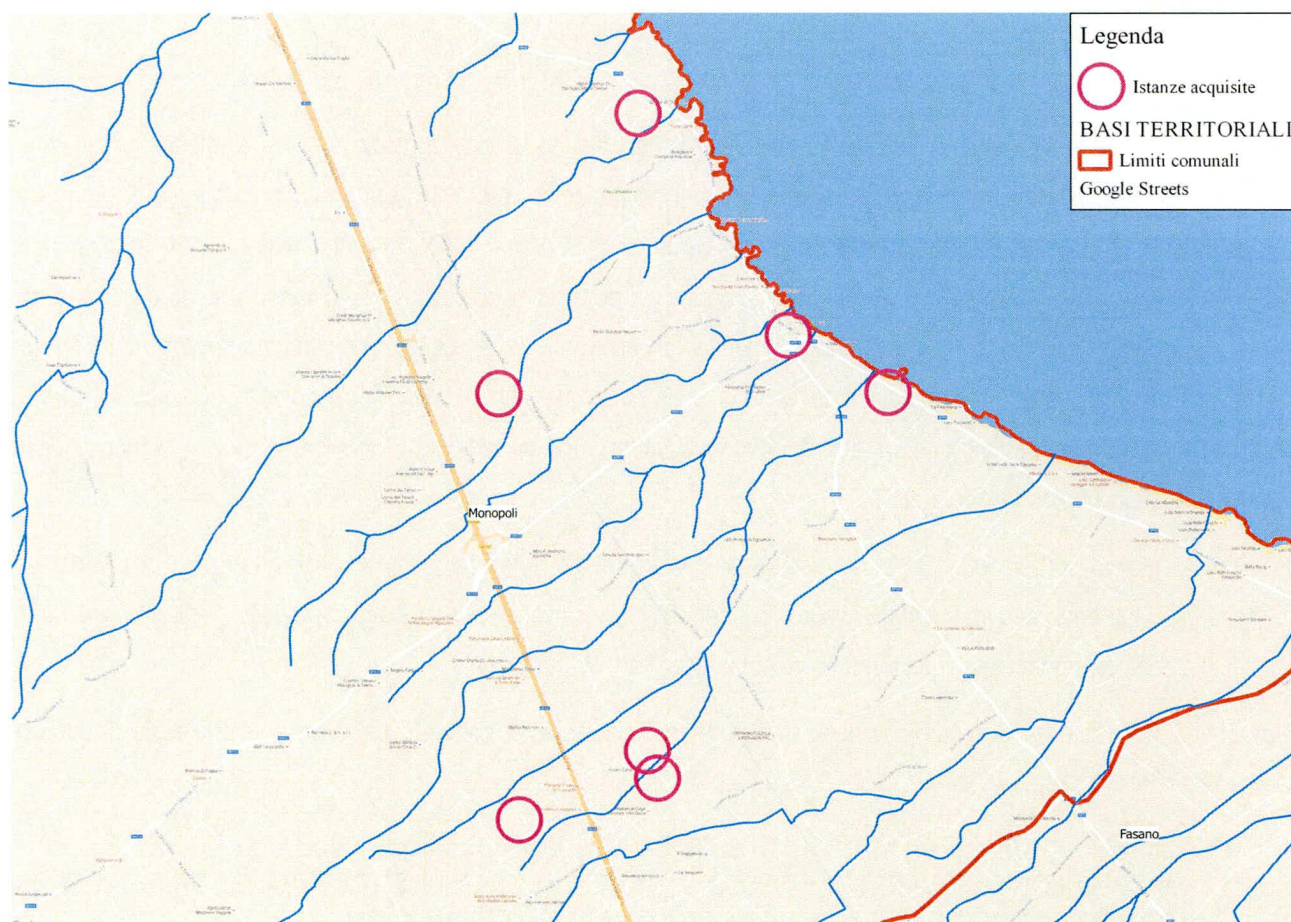


Figura 1 – Ubicazione delle istanze pervenute

Questa Autorità ha quindi eseguito uno studio di dettaglio su tutta l'area del territorio comunale di Monopoli a sud del centro abitato, al fine di definire i livelli di pericolosità esistenti.



Il lavoro è stato svolto eseguendo una serie di sopralluoghi sui siti al fine sia di acquisire elementi conoscitivi indispensabili per le analisi, sia per rilevare i tombini stradali e ferroviari e tutte le altre opere idrauliche presenti nell'area indagata.



Figura 2 - Alcuni attraversamenti oggetto di sopralluogo

Si descrivono nel seguito, in via sintetica, le procedure e le metodologie applicate per giungere all'individuazione dei livelli di pericolosità idraulica nella porzione di territorio indicata nel seguito e si specifica che il presente documento costituisce un atto endoprocedimentale rispetto alla modifica finale del PAI; fornisce pertanto elementi conoscitivi di base in grado di introdurre le argomentazioni necessarie per esaminare la proposta di modifica al PAI. Si rimanda alla Relazione Generale di Piano o alle comuni nozioni note in letteratura tecnico-scientifica per ogni approfondimento relativo alle metodologie di calcolo adoperate dalla Segreteria Tecnica Operativa nello studio in oggetto.



## INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

Lo studio riguarda un'area di circa 42 kmq sita a sud dell'agro di Monopoli, al confine con il territorio comunale di Fasano, e solcata da quattro aste principali del reticolo idrografico oltre che da altri reticoli minori. Le numerose aste del reticolo idrografico partendo dalla selva scendono sino a mare intervallando tratti morfologicamente molto evidenti ad altri sub-pianeggianti. Le essenziali criticità sono attribuibili alle intersezioni con le infrastrutture a rete che presentano, nella maggior parte dei casi, manufatti dediti all'attraversamento idraulico del tutto insufficienti e, in alcuni casi l'assenza di qualsivoglia opera idraulica. Il territorio analizzato è caratterizzato, inoltre dalla presenza della linea ferroviaria adriatica e della Strada Statale 16.

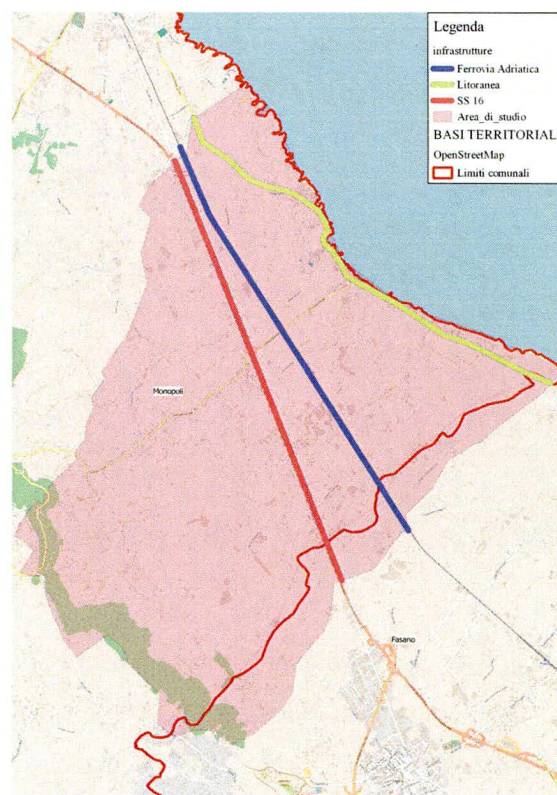


Figura 3 - Area di studio e principali infrastrutture

Alcune aste analizzate, lambiscono ed attraversano zone ampiamente urbanizzate. Attualmente tutta l'area studiata non possiede una classificazione a diversi livelli di pericolosità idraulica, nel vigente PAI.



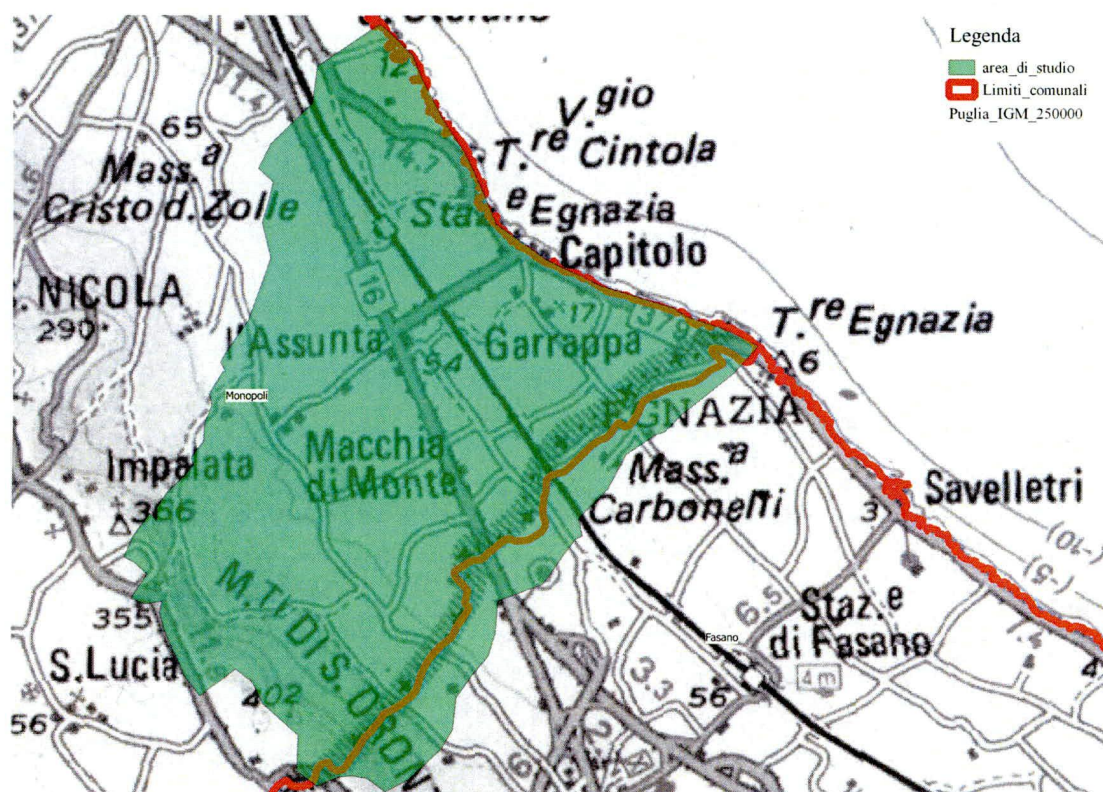


Figura 4 - Inquadramento dell'area analizzata

#### DATI DISPONIBILI

Lo studio condotto, finalizzato alla determinazione delle aree a diversa pericolosità idraulica nel territorio comunale analizzato, ha avuto come database di partenza per le elaborazioni effettuate i seguenti dati:

- Cartografia IGM 1:25000 formato raster;
- Cartografia CasMez 1:5000 formato raster;
- Nuova CTR 1:5000 formato vettoriale;
- Rilievo LIDAR con risoluzione a terra di 1 metro;
- Rilievo a terra dei manufatti idraulici;
- Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia;
- Foto aeree a colori.

Le cartografie indicate sono state utilizzate per le analisi di tipo numerico e di tipo interpretativo a seconda del geodatabase associato ad ognuna di esse.



## ANALISI MORFOLOGICA

L'analisi morfologica del territorio risulta un passaggio fondamentale e necessario per le valutazioni idrologiche che questo studio analizza. L'analisi a scala di bacino dei processi idrologici ed idraulici determinati dagli eventi meteorici estremi consente di determinare gli effetti al suolo prodotti dall'evento che risultano fortemente influenzati dallo stato dei luoghi, sia per quanto riguarda la loro geomorfologia sia dal punto di vista della loro destinazione d'uso.

Per giungere a determinazioni in linea con la realtà dei luoghi è evidentemente necessario ricostruire, con il maggior dettaglio disponibile, la conformazione dei luoghi oggetto dell'analisi; maggiore è il grado di dettaglio utilizzato e più realistici sono i risultati ottenuti. Nel caso in esame si è utilizzato un DTM derivato da rilievo LIDAR del Ministero dell'Ambiente.

### Il Modello Digitale del Terreno

La base di partenza per l'ottenimento dei bacini idrografici, grazie alle moderne tecnologie disponibili, è sicuramente il modello digitale del terreno. Il Modello Digitale del Terreno (DEM) è una rappresentazione tridimensionale georeferenziata della zona oggetto di studio. Quanto più il modello digitale del terreno approssima il reale andamento morfologico dei luoghi, tanto più aderente alle condizioni reali saranno le situazioni determinate dall'analisi morfologica. Il livello di dettaglio del modello digitale del terreno è strettamente legato al tipo di "dato grezzo" di partenza ovvero maggiore è il livello di dettaglio della cartografia disponibile migliore sarà la qualità del modello digitale del terreno da essa derivato.



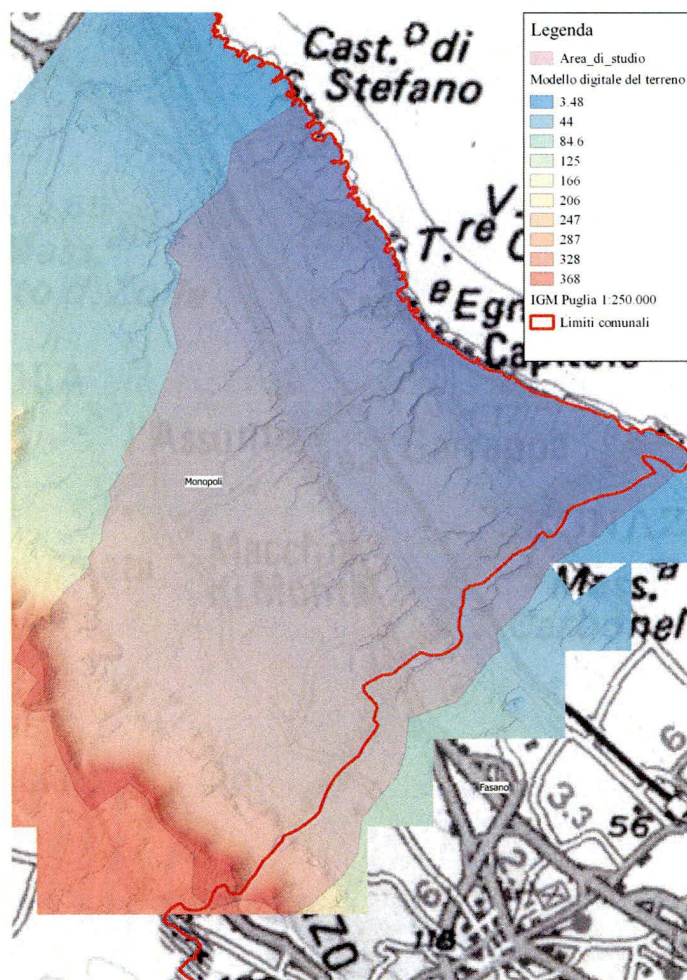


Figura 5 - Modello digitale del terreno

#### Individuazione del Bacino scolante e dei parametri caratteristici

L'individuazione del bacino scolante costituisce un passaggio fondamentale al fine della determinazione delle portate. I parametri individuati da questo tipo di analisi costituiscono una parte dell'input dei modelli idrologici e idraulici applicati nel seguito. Per questo motivo è importante investire risorse sufficienti in modo da avere la maggiore certezza possibile sui risultati ottenuti. Per l'estrazione dei bacini e della rete idrografica attraverso software GIS, sono stati utilizzati alcuni moduli del software GRASS, partendo dal DTM dell'area di studio.

Il modello del terreno, rappresentato nelle tre dimensioni, consente di effettuare valutazioni sull'altimetria dei luoghi, sulle pendenze, sul deflusso delle acque, ecc.; pertanto maggiore è la precisione del modello, intesa anche come densità di punti disponibili, e più attendibili sono le valutazioni che si possono fare.

Dall'analisi del modello digitale del terreno, determinato attraverso l'applicazione di software di elaborazione GIS così come descritto nel paragrafo precedente, è possibile determinare il bacino idrografico afferente alla sezione di chiusura individuata in corrispondenza dell'area di interesse.

Le elaborazioni condotte per il caso in esame hanno riguardato l'applicazione del modulo GRASS GIS - R.WATERSHED e del modulo GRASS GIS - R.SLOPE.ASPECT, le cui peculiarità sono nel seguito riportate.



## MODULO "GRASS GIS - R.WATERSHED"

### Output del modulo

#### - FLOW ACCUMULATION (*Number of cells that drain through each cell*) – Definizione aree contribuenti

E' il valore della singola cella derivato dal numero di celle che drenano idrologicamente su di essa. Le celle che appartengono al reticolo idrografico delineato hanno alti valori di *flow accumulation*, mentre le celle adiacenti o quelle delle linee spartiacque del bacino hanno valori più bassi. I valori negativi indicano celle che hanno un flusso diretto al di fuori della regione di analisi. A scala di bacino, il valore maggiore si ha alla sezione di chiusura.

#### - FLOW DIRECTION (*Drainage direction*) – Direzioni di flusso

Vengono stimate le traiettorie del flusso basandosi sulle direzioni di massima pendenza. Un valore 0 indica che la cella è un'area depressa, valori negativi indicano che il flusso è diretto al di fuori della regione di analisi.

#### - BACINI IDROGRAFICI (*Unique labels for each watershed basin*)

Ogni bacino è identificato da un numero intero assegnato a tutte le celle dello stesso bacino. Le celle che hanno valore 0 sono quelle che non appartengono ad un bacino completo.

#### - RETICOLO IDROGRAFICO (*Stream segments*)

#### - SOTTOBACINI IN SX E DX IDRAULICA (*Half basins*)

### Input del modulo

#### - DEM / LIDAR

Il DEM può contenere celle che non hanno un valore (NODATA o NULL). Nei calcoli queste vengono ignorate, mentre non vengono ignorate quelle che hanno valori negativi o 0.

*r.watershed* contiene l'algoritmo *A<sup>T</sup> least-cost search* che minimizza l'impatto di eventuali imprecisioni del DEM o di eventuali "vuoti" reali o artefatti (*pit* o *sink*, celle singole circondate da celle con elevazione superiore) che causano una indeterminazione del flusso in uscita. L'algoritmo è utile anche per interpretare la morfologia nei casi di aree a pendenze deboli. Diventa pertanto superfluo correggere il DEM preventivamente attraverso *r.fillnulls* o *r.fill.dir*.

### Parametri di configurazione del modulo

- DEFLUSSO: viene ipotizzato che il deflusso di una generica cella del DEM avvenga solo lungo la direzione che esprime il massimo gradiente topografico negativo tra la cella in esame e quelle adiacenti. Le possibili direzioni di uscita



del flusso sono 8 (SFD, D8). Nel raster risultante ogni cella avrà un valore intero che indica verso quale delle 8 direzioni avviene il flusso.

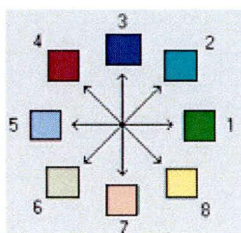


Figura 6 - Direzioni di deflusso (flow direction)

#### - THRESHOD (VALORE SOGLIA)

Indica il numero minimo di celle capace di originare deflussi iniziali, ovvero i reticoli definiti "di ordine 1" secondo Horton-Strahler. I canali di primo ordine sono gli elementi che hanno origine dalle sorgenti; dall'unione di due rami di ordine  $n$  ne deriva uno di ordine  $n+1$ ; dall'unione di due rami di ordine diverso il confluyente con ordine maggiore sarà il tratto di canale immediatamente a valle; la successione di due o più rami, caratterizzati dal medesimo ordine  $n$ , costituisce canali del loro stesso ordine; il canale caratterizzato dall'ordine più elevato  $N$  determina l'ordine stesso del bacino.

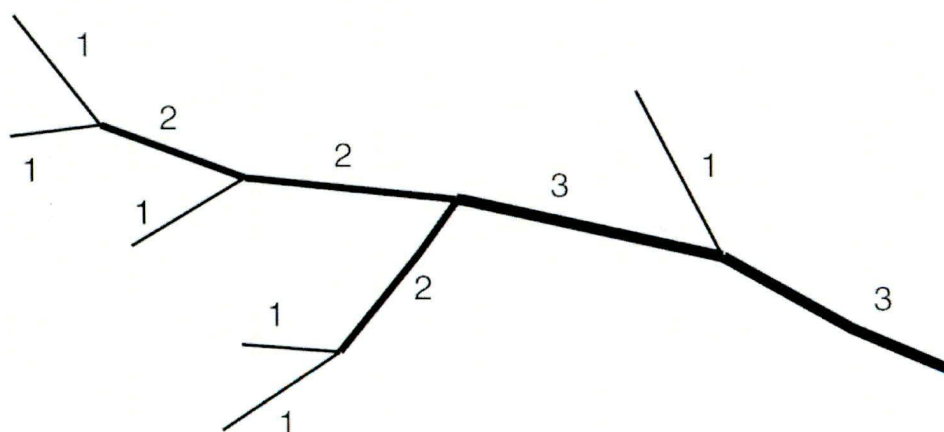


Figura 7 - Classificazione dei reticoli secondo Horton-Strahler

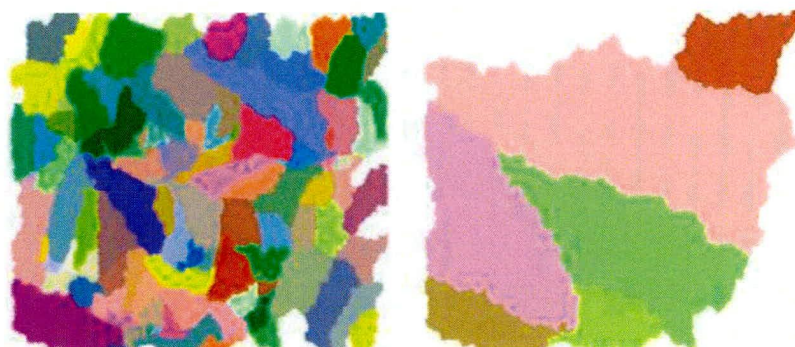


Figura 8 - Differenza tra valore di soglia basso (sx) e alto (dx)

Il valore da assegnare al parametro *threshold* è funzione del dettaglio che si vuole raggiungere. Minore è il numero di celle indicate e più dettagliato sarà il reticolo risultante (aumenterà di conseguenza anche il numero di bacini individuati). La scelta della soglia ottimale si effettua in generale per tentativi.

Nello studio in esame, si è lavorato con un DEM di risoluzione 2 m ed un valore soglia di 25.000 celle (10 ha).

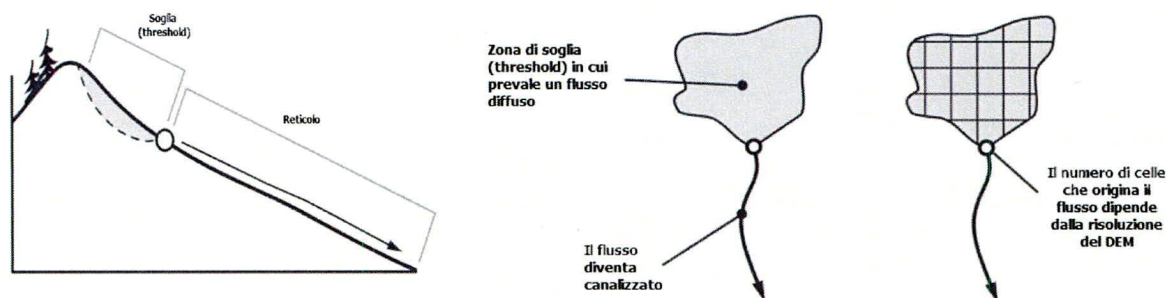


Figura 9 - Origine del deflusso superficiale

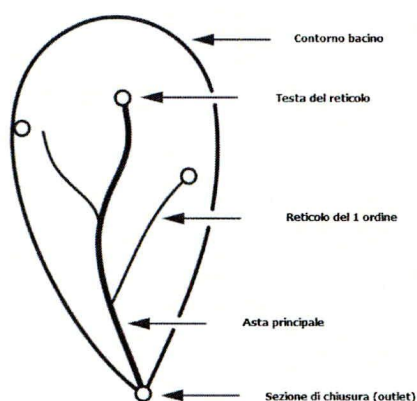


Figura 10 - Elementi di un bacino idrografico

I numerosi sottobacini generati dall'algoritmo *r.watershed* sono stati uniti in areali più estesi associati ai corsi d'acqua principali. Una volta definiti i bacini e le aste del reticolo, sono stati estratti i parametri morfometrici necessari alla successiva modellazione idologica:

- la pendenza media del bacino (*slope*);
- L'altitudine massima, minima e media;
- la lunghezza dell'asta principale (*flow length*).

Per il calcolo delle pendenze si è utilizzato il modulo GRASS *r.slope.aspect*



## MODULO "GRASS GIS - R.SLOPE.ASPECT"

L'algoritmo genera mappe raster per pendenza, esposizione dei versanti, curvatura e derivate di primo e secondo grado.

### Output del modulo

#### SLOPE (pendenza)

E' la mappa delle pendenze che può essere espressa in gradi o in percentuale. Il modello di calcolo (Horn) considera un intorno di 8 celle e risulta più adatto di altri a descrivere superfici più irregolari.

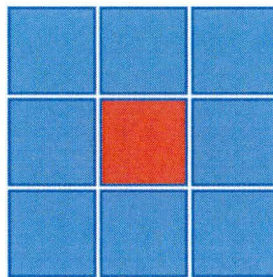


Figura 11 - Metodo di HORN (predefinito in GRASS)

#### ASPECT (esposizione dei versanti)

La mappa determina, utilizzando la direzione di massima pendenza, il valore dell'orientazione della singola cella misurato da 0 a 360° in senso orario partendo da NORD. Le celle prive di orientazione (e quindi pianeggianti) assumono un valore 0 (o -9999 per evitare confusioni). Per le celle che si trovano ai bordi della regione di analisi non è possibile individuare le celle circostanti e viene pertanto assegnato il valore 0. Matematicamente la pendenza rappresenta la derivata prima della superficie morfologica.

#### CURVATURA DEL PROFILO (celle concave/convesse)

Rappresenta la curvatura della superficie morfologica lungo la pendenza più ripida. E' espressa in 1/metri, per cui una curvatura di 0.05 corrisponde ad un raggio di curvatura di  $1/0.05 = 20$  metri. Valori positivi indicano celle convesse, valori negativi indicano celle concave mentre il valore 0 indica una superficie piana. Questa mappa evidenzia i "terrazzamenti" della superficie.

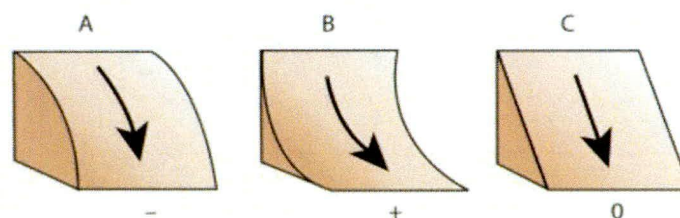


Figura 12 - Curvatura del profilo

## CURVATURA TANGENZIALE (celle convergenti/divergenti)

Rappresenta la curvatura in direzione perpendicolare alla tangente al profilo. Valori positivi indicano una divergenza verso i bordi, valori negativi indicano una convergenza dai bordi mentre il valore 0 indica una superficie piana. Questa mappa evidenzia le creste e le valli della superficie.

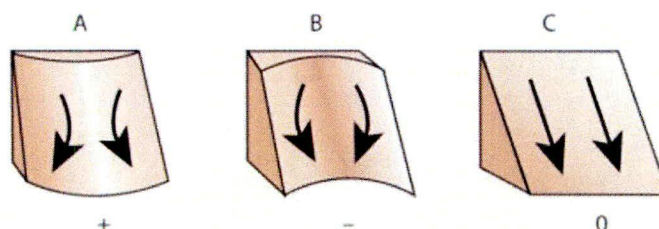


Figura 13 - Curvatura tangenziale

Matematicamente la curvatura rappresenta la derivata seconda della superficie morfologica o, in altri termini, la pendenza della pendenza di una cella. Il raster della curvatura, unito al raster del rilievo (*hillshade*), permette di risolvere con maggiore precisione variazioni locali della superficie.

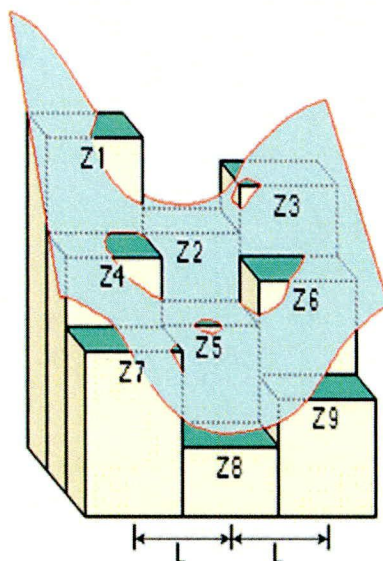


Figura 14 - Generazione delle curvature per celle contigue

DOMINI MONTE							
celle_SOGLIA	NOME	AREA_KM2	H_max_m	H_min_m	H_med_m	i_med_perc	FLENGTH_km
25000 (10 ha)	DOMINIO 1	7,83	388,14	64,18	157,99	13,31	5,53
25000 (10 ha)	DOMINIO 2	4,37	395,35	67,79	167,64	14,26	4,51
25000 (10 ha)	DOMINIO 3	2,36	380,78	76,59	140,6	10,58	4,79
25000 (10 ha)	DOMINIO 4	2,78	247,68	69,79	92,63	4,42	4,15
		17,34	352,9875	69,5875	139,715	10,6425	4,745

Figura 15 - Parametri morfologici calcolati per i domini di monte



L'analisi morfologica è stata condotta con la finalità di individuare i bacini idrografici afferenti alle sezioni di chiusura oggetto delle modellazioni idrodinamiche descritte nel seguito. La determinazione dei bacini idrografici è stata il risultato combinato di studi di dettaglio condotti con l'ausilio di software GIS, basandosi sulla cartografia tecnica e sugli algoritmi precedentemente elencati, nonché su molteplici indagini in campo che si sono rese necessarie a causa della moltitudine di situazioni di più complessa interpretazione, della cartografia e dei rilievi disponibili, legate al grado di antropizzazione del territorio esaminato.

Lo studio è stato condotto a scala globale interessando gli interi bacini idrografici dalla zona, sino a mare. Esso è stato condotto realizzando un modello morfologico-idrologico complessivo a scala di bacini, in grado di determinare i parametri per la valutazione degli idrogrammi di piena per ogni asta del reticolo idrografico sino allo sbocco a mare. Per realizzare il modello, si è proceduto individuando i bacini idrografici generali e i relativi sottobacini. Al fine di poter applicare in maniera corretta le metodologie di calcolo successivamente esposte, sono stati individuati i sottobacini iso-caratteristici determinati anche in funzione dei punti critici del reticolo idrografico in rapporto ai diversi territori comunali attraversati.

Attraverso l'applicazione dei modelli di analisi morfologica ed idrologica in ambiente GIS, sono stati determinati, per ciascuno dei sottobacini, i parametri necessari per le valutazioni idrologiche conseguenti tra cui: area del bacino contribuente, perimetro del bacino contribuente, quota massima, minima e media del bacino e, infine, i parametri necessari per l'applicazione del modello afflussi-deflussi SCS-CN (*curve number* e *basin lag*) che verranno descritti nei paragrafi successivi.

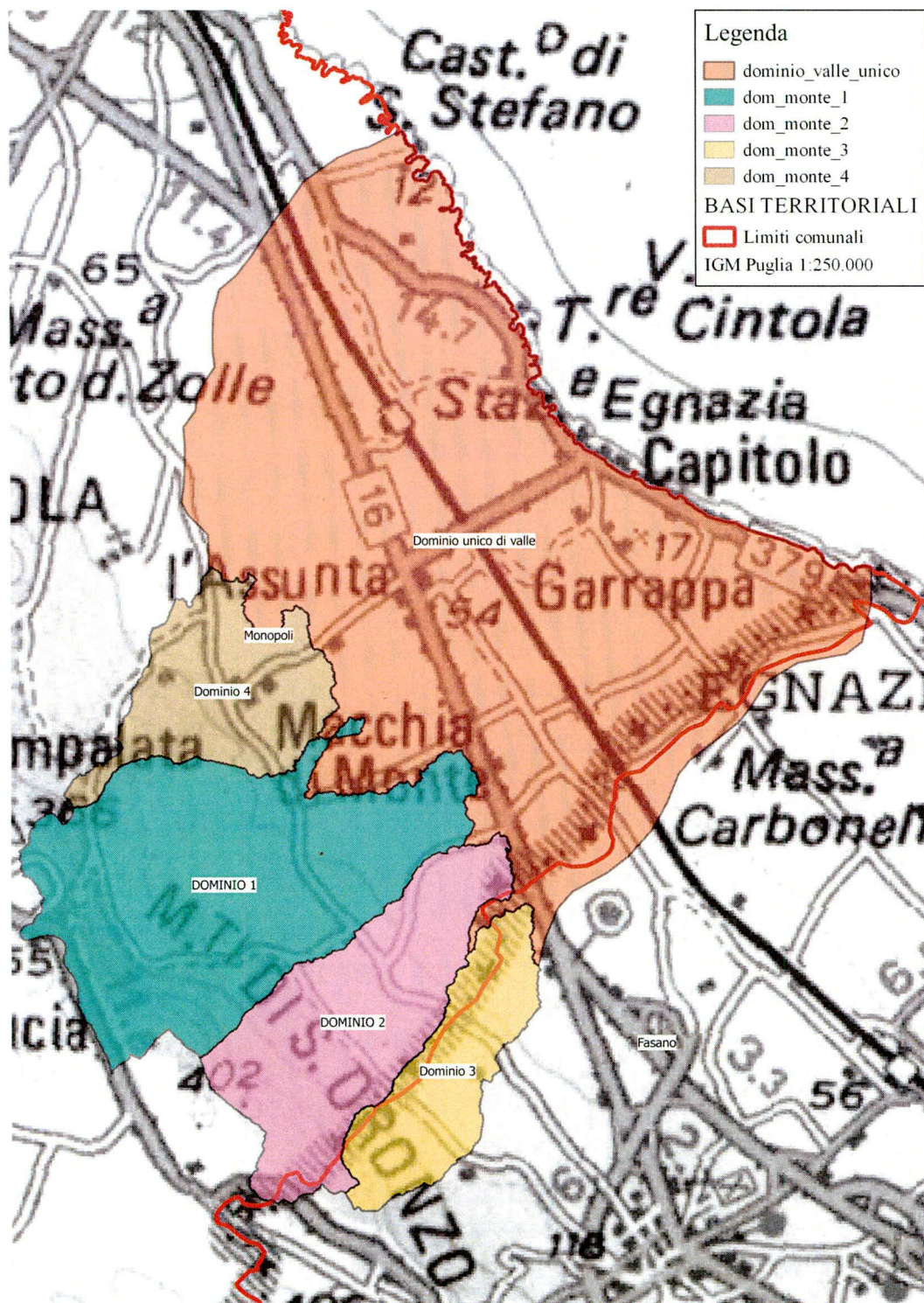


Figura 16 - Bacini oggetto di studio



## ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica, così come riportato nella normativa vigente sulla difesa del suolo, è stata condotta facendo riferimento allo studio sulla Valutazione delle Piene (VAPI) che riguarda la Puglia effettuato dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR, come inoltre suggerito dal DPCM del 29.09.1998 e riportato nella Relazione di Piano allegata al PAI approvato con delibera n.39 del 30/11/2005.

Nel VAPI l'analisi idrologica è basata sulla legge di distribuzione statistica TCEV (Rossi et al. 1984); la peculiarità di questo modello è quella di riuscire a considerare anche gli estremi idrologici, che sono di fatto gli eventi che inducono un livello di pericolosità più elevato, riconducendosi al prodotto di due funzioni di distribuzione di probabilità tipo Gumbel, una che riproduce l'andamento degli eventi ordinari e l'altra che riproduce l'andamento degli eventi eccezionali.

L'analisi idrologica effettuata viene affrontata effettuando le seguenti valutazioni:

- Analisi pluviometrica;
- Applicazione dei modelli afflussi-deflussi;

### Analisi Pluviometrica

Al fine di stabilire gli idrogrammi di piena da utilizzare come input nei modelli di calcolo idraulici è necessario in prima battuta stabilire gli ietogrammi di pioggia che consentiranno di applicare i modelli afflussi-deflussi per la determinazione delle portate di piena. Per questo motivo è necessario effettuare un'analisi statistica degli eventi piovosi verificatisi in passato che, attraverso l'analisi di un campione significativo di dati storici, di determinare le Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) dalle quali si determina lo ietogramma di pioggia.

La metodologia VAPI è fondata sulla funzione di distribuzione di probabilità denominata TCEV. La TCEV ha la caratteristica di conferire al modello idrologico maggiore flessibilità e capacità di adattamento alle serie di dati disponibili, tuttavia occorre disporre di una serie storica di dati sufficientemente lunga per non incorrere in errori di campionatura.

Per ovviare a questo problema il GNDCI ha messo a punto una procedura di *regionalizzazione* (Beran et al. 1986) che ha permesso di determinare i parametri della TCEV su tutto il territorio pugliese estendendo, in questo modo, la lunghezza delle serie storiche.

In Puglia la procedura di regionalizzazione ha individuato 6 zone omogenee la cui individuazione è rappresentata nella figura seguente.



$$\begin{aligned}
 \text{Zona 1: } & x(t,z) = 26.8 t^{\{(0.720+0.00503 z)/3.178\}} \\
 \text{Zona 2: } & x(t) = 22.23 t^{0.247} \\
 \text{Zona 3: } & x(t,z) = 25.325 t^{\{(0.0596+0.00531 z)/3.178\}} \\
 \text{Zona 4: } & x(t) = 24.70 t^{0.256} \\
 \text{Zona 5: } & x(t,z) = 28.2 t^{\{(0.628+0.0002 z)/3.178\}} \\
 \text{Zona 6: } & x(t,z) = 33.7 t^{\{(0.488+0.0022 z)/3.178\}}
 \end{aligned}$$

relazioni che regolano le sei zone sono omogenee

zone omogenee della Puglia

Per i massimi annuali delle precipitazioni giornaliere, è stato quindi adottato il modello di regionalizzazione basato sull'uso della distribuzione di probabilità TCEV (legge di distribuzione di probabilità del Valore Estremo a Doppia Componente), che rappresenta la distribuzione del massimo valore conseguito, in un dato intervallo temporale, da una variabile casuale distribuita secondo la miscela di due leggi esponenziali, nell'ipotesi che il numero di occorrenze di questa variabile segua la legge di Poisson (Rossi e Versace, 1982; Rossi et al 1984). Il modello proposto ammette, che le due componenti quella straordinaria e quella ordinaria appartengano a popolazioni diverse, tuttavia interferiscono tra loro seguendo il processo secondo cui una variabile  $X$  rappresenta il massimo valore in una certa durata  $D$  di una variabile casuale  $Y$  distribuita secondo la miscela di due esponenziali ( $Y_1$  e  $Y_2$ ) con funzione di probabilità cumulata (CDF):

$$FY(y) = [Y \leq y] = p(1 - e^{-y/\Theta_1}) + (1-p)(1 - e^{-y/\Theta_2}); \quad Y \geq 0 \quad 0 < p \leq 1$$

dove gli indici 1 e 2 si riferiscono alla componente ordinaria e straordinaria e  $p$  indica la proporzione della prima componente nella miscela.

Il numero di occorrenze  $K$ , cioè il numero di superamenti della variabile  $Y$ , in una durata  $D$ , è distribuito secondo la legge di Poisson con parametri uguali a  $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$  tali che:

$$\Lambda = \Lambda_1 + \Lambda_2 = E[Kt]$$

in cui  $\Lambda$  rappresenta la funzione parametro del processo, espressa come la media dei superamenti. Ipotizzando che  $Y_1$  e  $Y_2$  siano distribuite esponenzialmente con valori medi:

$$\Theta_1 = E[Y_1] \quad \Theta_2 = E[Y_2]$$

l'equazione diventa:



$$Fkt(k) = \exp [-\Lambda_1 \exp(-k/\Theta_1) - \Lambda_2 \exp(-k/\Theta_2)]$$

che definisce la distribuzione TCEV.

La probabilità  $p_2$  che un certo valore della  $X$  provenga dalla componente straordinaria è espresso dalla relazione:

$$p_2 = -\Lambda_*/\Theta_* \sum_j (-1)^j / j! \Lambda_*^j \Gamma(j+1/\Theta_*)$$

nella quale  $\Gamma$  è la funzione speciale e:

$$\Theta_* = \Theta_2/\Theta_1, \quad \Lambda_* = \Lambda_2/(\Lambda_1^{1/\Theta_*})$$

Se si dispone di un campione  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  della variabile  $X$  (massimo annuale delle  $Y$ ) osservato in  $n$  anni, la stima dei parametri della distribuzione può essere effettuata utilizzando le serie dei massimi annuali applicando il metodo della massima verosimiglianza (ML).

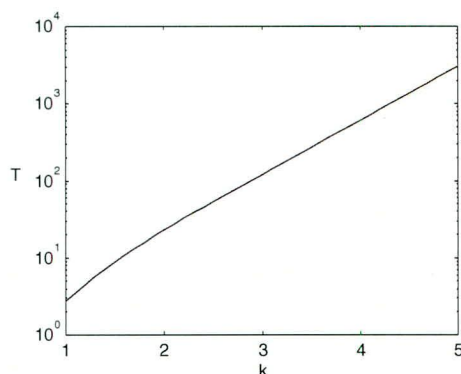
L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV consente di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, grazie a cui è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria ( $G$ ), quindi risultano costanti i due parametri  $\Theta_*$  e  $\Lambda_*$  ad esso legati (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante anche il coefficiente di variazione, e quindi il parametro  $\Lambda_1$  che da esso dipende (secondo livello di regionalizzazione). Il terzo livello è poi finalizzato alla ricerca di eventuali relazioni esistenti, all'interno di più piccole aree, tra il parametro di posizione della distribuzione di probabilità della  $X$  e le caratteristiche morfologiche. In particolare si nota che, all'interno di dette aree, i valori medi dei massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata sono o costanti o strettamente correlati alla quota del sito di rilevamento.

L'analisi condotta per l'intero territorio pugliese suggerisce la presenza di una unica zona omogenea di primo livello (cioè caratterizzate dalla costanza di  $\Theta_*$  e  $\Lambda_*$ ), comprensiva di tutte le stazioni della Puglia, e di due sottozone omogenee al secondo livello.

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 ( $CV$  e  $G$ ), è utile rappresentare la legge  $F(Xt)$  della distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata  $Xt$  come prodotto tra il suo valore medio  $\mu(X_t)$  ed una quantità  $KT, t$ , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno  $T$  e della durata  $t$ , definito dal rapporto:

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

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



Fattore di crescita al variare del tempo di ritorno

E' possibile rappresentare graficamente la funzione  $K_T = K_T(T)$  al variare del tempo di ritorno  $T_r$ ; si riporta nel grafico successivo tale legge di variazione. In alternativa alle rappresentazioni grafiche delle curve di crescita, il valore di  $K_T$  può essere ricavato direttamente in funzione di  $T_r$  attraverso una approssimazione asintotica (Rossi e Villani, 1995) della legge di crescita. E' utile sottolineare che l'uso di questa approssimazione comporta una leggera sottostima del fattore di crescita, con valori che sono superiori al 5% solo per  $T < 40$  anni.

La relazione è la seguente:

$$K_T = a + b \ln T \quad (1)$$

in cui:

$$a = (\Theta \cdot \ln \Lambda_* + \ln \Lambda_1) / \eta$$

$$b = \Theta_* / \eta$$

$$\eta = \ln \Lambda_1 + C - T_0$$

$T_0$  è una funzione il cui valore è stato ottenuto grazie a un programma di calcolo iterativo.

Pertanto nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri  $a$  e  $b$ , e i relativi valori  $\eta$  e  $T_0$ , che consentono di determinare nella forma (1) le leggi di crescita relative all'area in esame:

Zona omogenea	a	b	$T_0$	$\eta$
Puglia centro-merid.	0.0183	0.6219	-0.8256	4.2673

Coefficienti utilizzabili per l'uso dell'espressione asintotica (1)

Le aree omogenee individuate al primo e secondo livello di regionalizzazione si parzializzano al terzo livello, nel quale si analizza 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 (Viparelli, 1964), per ciascuna stazione è stato possibile correlare il valore medio  $x_t$  dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata  $t$  alle durate stesse, attraverso la relazione:



$$x_t = a \cdot t^n \quad (2)$$

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

Si riporta la relazione tra l'altezza media di precipitazione al variare della durata, in dipendenza con la quota del sito oggetto dello studio:

$$x_t = a \cdot t^{\frac{(C \cdot h + D + \log \alpha - \log a)}{\log 24}} \quad (4)$$

dove:

$a$  è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di  $x_t$  relativi alle serie con  $N \geq 10$  anni ricadenti nella zona omogenea;

$\alpha = x_g/x_{24}$  è rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata  $t=24$  ore per serie storiche relative ad uno stesso periodo di misura. Per la Puglia il valore del coefficiente  $\alpha$  è risultato in pratica costante sull'intera regione e pari a 0.89.

$C$  e  $D$  sono i coefficienti della regressione lineare fra il valore medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota del sito di riferimento.

I valori delle stime dei parametri sono riportati nel prospetto seguente:

$\alpha$	$a$	$C$	$D$
0.89	33.7	0.0022	4.1223

*Valori delle stime dei parametri utilizzati nella relazione (4)*

L'area in oggetto si inquadra, nell'ambito dell'area pluviometrica omogenee individuata nel territorio regionale, in **zona 5**; pertanto l'equazione da applicare è la seguente:

$$\text{Zona 5: } x(t,z) = 28.2t^{[(0.628 + 0.0002 Z)/3.178]}$$

Tale equazione consente di valutare le altezze critiche per i differenti intervalli di precipitazione e per i vari tempi di ritorno prescelti, in funzione del solo parametro della quota assoluta sul livello del mare.

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 kmq, e della durata dell'evento di progetto espressa in ore).

Determinando i valori di  $x$  per piogge di durata variabile da 1 a 24 ore è possibile costruire le curve di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni per la zona omogenea numero 5.

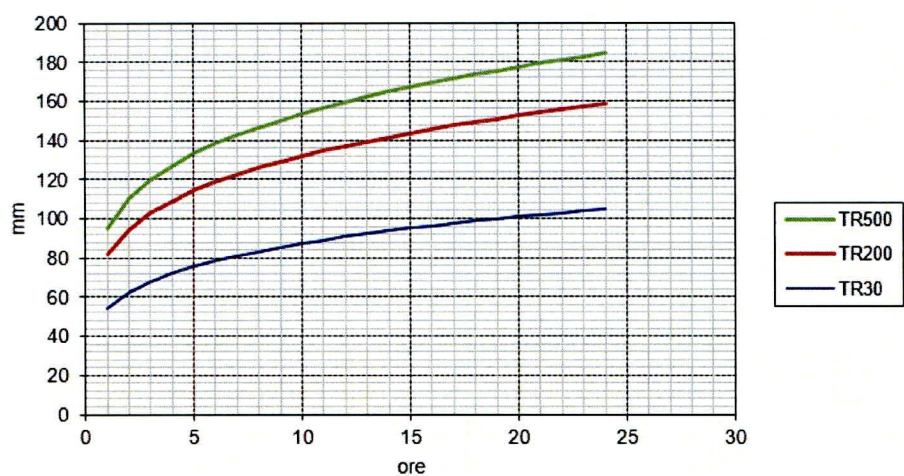


Figura 17 - Curva CPP bacino 1-monte

A titolo di esempio nella figura sopra riportata viene mostrata la CPP relativa al bacino 1-monte per i diversi tempi di ritorno.



### DETERMINAZIONE DELLA PIENA: modello afflussi-deflussi

Per giungere alla valutazione della portata nelle sezioni di interesse, stante le dimensioni dei bacini, la non continuità conclamata delle fluenze idriche, il fattore di forma e la classificazione gerarchica dei reticoli, si è utilizzato il metodo SCS-CN;

#### *Metodo SCS-CN*

Il metodo indicato si fonda sulla stima della portata generata da un bacino, a seguito di una certa precipitazione caratteristica, attraverso l'analisi geomorfologica e di uso del suolo; l'idrogramma di piena, ovvero il valore della portata al picco, si valuta attraverso i diversi parametri elencati nel seguito:

- CN (*Curve Number*);
- S grado di saturazione del terreno;
- IA (*Initial Abstraction*), grado di assorbimento iniziale del terreno;
- AMC (*Antecedent Moisture Condition*), grado di imbibizione precedente l'evento;
- TL (*Time Lag*), tempo di ritardo tra il centro del pluviogramma e quello dell'idrogramma;
- RL (*Reach Lag*), tempo impiegato dall'onda di piena per il trasferimento attraverso l'asta.
- Durata precipitazione caratteristica.

Il metodo SCS trova oramai larga diffusione per qualunque tipologia di bacino. Il metodo consente sia la semplice valutazione del volume della piena o della sua portata al colmo sia la ricostruzione dell'idrogramma.

La metodologia si basa sull'ipotesi che sia sempre valida la seguente relazione:

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S}$$

con:

- V = volume di deflusso;
- P<sub>n</sub> = Pioggia netta;
- W = volume idrico realmente invasato nel suolo;
- S = volume massimo che il suolo può immagazzinare.

La pioggia netta si può determinare sottraendo alla precipitazione totale il parametro *I<sub>a</sub>* che tiene conto dell'accumulo di volumi idrici in superficie, dell'infiltrazione iniziale e superficiale nel suolo e dell'intercettazione operata dalla copertura vegetale.

Il valore di  $Ia$  può essere assunto, secondo le indicazioni dell' SCS, pari a:

$$Ia = 0,2 S$$

Pertanto il volume di deflusso  $V$  può essere ricavato dalla seguente relazione:

$$V = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}$$

La valutazione di  $S$  viene effettuata con l'ausilio della relazione seguente:

$$S = 25,4 \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Il parametro  $CN$  è denominato *Curve Number* esso indica l'attitudine del bacino a produrre deflusso e si stima sulla base delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale. La stima del  $CN$  si effettua determinando il gruppo idrologico di appartenenza e, all'interno di ciascun gruppo, valutando la copertura d'uso del suolo; alle sottoclassi così determinate viene associato un valore di  $CN$ .

L'applicazione del metodo SCS-CN, quindi, è possibile previa determinazione del *curve number* "CN" che individua, come detto, attraverso l'analisi geolitologica dei suoli del bacino, la capacità di risposta che lo contraddistingue, in termini di infiltrazione e ruscellamento, a fronte di un evento di pioggia. Le caratteristiche geolitologiche sono state determinate facendo riferimento alla carta dei suoli redatta dall'IRSA CNR in scala 1:100.000, ed è stato possibile caratterizzare i suoli dal punto di vista della permeabilità secondo la classificazione SCS.

Tabella 1 - Gruppi geolitologici

<b>Gruppo A</b>	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.
<b>Gruppo B</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.
<b>Gruppo C</b>	Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta. Suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali. Scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
<b>Gruppo D</b>	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.

Nell'ambito delle differenti classi di permeabilità così individuate, attraverso un calcolo ponderale di una carta dell'uso del suolo, si individuano la classe di  $CN$  per il bacino analizzato.



Nel caso in esame, come carta di uso del suolo, si è fatto riferimento allo studio ACLA condotto dal CHIEAM in cui sono state individuate le seguenti classi alle quali sono stati associati i parametri di CN riscontrati in letteratura scientifica.

Tabella 2 - Valori del CN in funzione del gruppo idrologico e dell'uso del suolo

Uso del Suolo	A	B	C	D
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aree agricole con presenza di spazi naturali</li> <li>• Seminativi in aree non irrigue</li> <li>• Vigneti non irrigui</li> <li>• Colture temporanee associate a colture permanenti</li> <li>• Frutteti e frutti minori non irrigui</li> </ul>	62	71	78	81
Aree Urbane	92	92	92	92
Area residenziale	77	85	90	92
Bacini d'acqua	100	100	100	100
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo</li> <li>• Colture orticole a ciclo estivo autunnale/primaverile</li> <li>• Colture orticole a ciclo primaverile-estivo</li> <li>• Frutteti e frutteti minori irrigui</li> <li>• Oliveti irrigui</li> <li>• Sistemi colturali e particellari complessi</li> <li>• Vigneti irrigui</li> <li>• Sistemi colturali e particellari complessi</li> <li>• Vigneti irrigui</li> </ul>	72	81	88	91
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Zone Boscate	45	66	77	83

Poiché lo studio è rivolto al calcolo delle portate di piena e considerato che in occasione di queste ultime il terreno del bacino idrografico si presenta in condizioni di imbibimento variabile, si è ritenuto di far riferimento ad una condizione di elevata saturazione iniziale e pertanto di adottare il valore di CN corrispondente alla classe AMC-tipo III (CN3).

Tabella 3 - Classi AMC (Antecedent Moisture Conditions)

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

In questa analisi è stata ipotizzata una pioggia uniformemente distribuita sul territorio studiato, in funzione della zona omogenea considerata e una condizione di assorbimento iniziale del suolo pari a 0,2S. Si è inoltre fatto riferimento alla condizione AMC=III.

### ***Analisi accoppiata Afflussi-Deflussi e propagazione***

Il calcolo della precipitazione efficace e del ruscellamento superficiale è stato effettuato utilizzando il metodo del CN-SCS (*Curve Number del Soil Conservation Service*). La metodologia utilizzata, particolarmente adatta alla realtà territoriale in esame, consente la ricostruzione delle piene attraverso la definizione dell'indice CN (*Curve Number*), valore che dipende dalla geologia e dall'uso del suolo.

Il CN rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e si determina in base alle caratteristiche idrologiche dei suoli, della copertura vegetale e dal grado di antropizzazione dei luoghi; il metodo tiene anche conto delle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento (in questo studio si è ipotizzata una condizione di tipo 2).

In particolare, attraverso analisi della carta geologica, dell'ortofoto, della carta dell'uso del suolo, si è provveduto a valutare il valore del *Curve Number* ponderato per ciascun sottobacino.

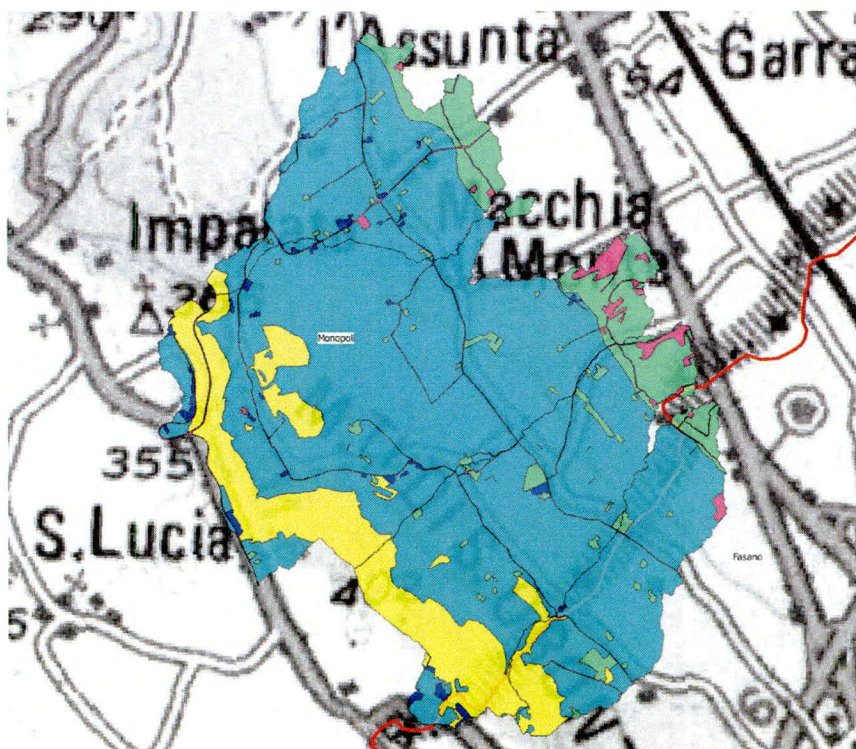


Figura 18 - Distribuzione del CN per i bacini di monte

Il valore del *Curve Number* è stato determinato per ogni cella del dominio di calcolo, in funzione della risoluzione della griglia determinata. Il CN non è stato l'unico parametro calcolato ma si sono determinate tutte le grandezze



necessarie per l'applicazione del metodo cella per cella. Il tutto al fine di utilizzare un approccio modellistico a parametri distribuiti dove l'input nel modello idraulico non è un idrogramma di piena ma bensì la pioggia netta uniformemente distribuita su tutto il territorio.

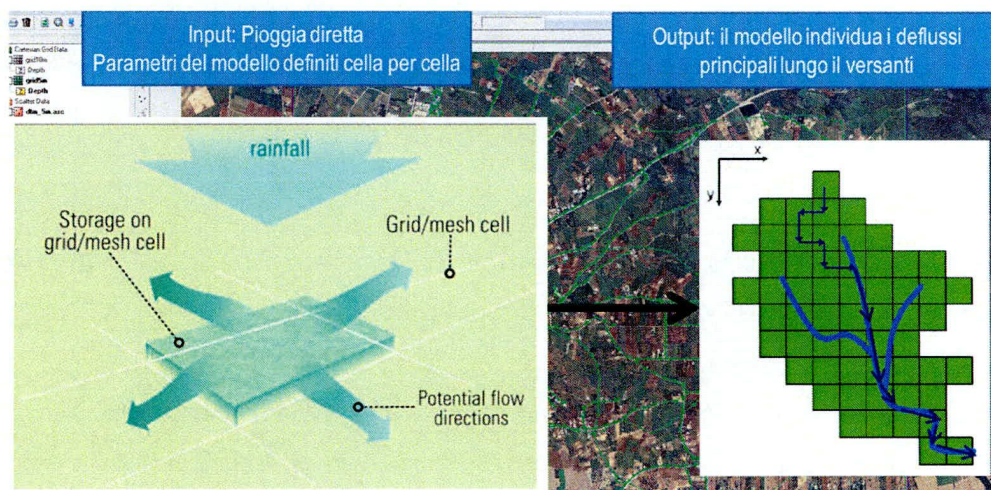


Figura 19 - Schema applicativo dell'approccio distribuito

## ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica è stata condotta simulando la simulazione degli idrogrammi di piena calcolati, utilizzando un modello di calcolo a schema mono e bi dimensionale, effettuando un'analisi in moto permanente. Si è inoltre prestata particolare attenzione all'analisi delle infrastrutture viarie con le lame studiate, al fine di determinare sia l'efficacia delle opere idrauliche esistenti, in rapporto alla sicurezza idraulica delle stesse infrastrutture, sia gli effetti che la loro presenza determina sul regime idraulico delle aree contermini.

### Modello di calcolo

Il modello di calcolo utilizzato è il TUFLOW (*Two-dimensional Unsteady Flow*) della BMT WBM, con interfaccia SMS v.10.1 della Aquaveo Inc, di cui l'Autorità di Bacino della Puglia possiede regolare licenza d'uso. Il TUFLOW è specifico per le simulazioni idrauliche bidimensionali delle correnti a superficie libera e risulta quindi particolarmente idoneo per descrivere comportamenti idrodinamici in ambienti come aree costiere, estuari, fiumi, pianure alluvionali e aree urbane, dove le complesse direzioni di flusso non sono correttamente rappresentabili mediante i tradizionali modelli monodimensionali. Pertanto si presta bene alle valutazioni idrodinamiche dell'area murgiana pugliese che, come è noto, alterna in maniera irregolare tratti di impluvi morfologicamente molto evidenti a zone sostanzialmente sub pianeggianti o morfologicamente depresse dove non è possibile stabilire a priori una direzione preferenziale di deflusso dei volumi di piena.

Da un punto di vista analitico, il TUFLOW fornisce le soluzioni delle equazioni monodimensionali e bidimensionali delle acque basse (*Shallow Water Equations*), conosciute anche come equazioni complete di De Saint Venant, utilizzate per simulare la propagazione dell'onda nelle correnti a superficie libera. Tali equazioni sono impiegate per modellare onde lunghe, come quelle delle alluvioni e delle onde oceaniche, in quanto si basano sulla ipotesi che la componente orizzontale della velocità sia uniforme lungo la verticale e sulla ipotesi di mancanza di accelerazione verticale (ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni), assunzioni valide per l'appunto dove la lunghezza delle onde è decisamente maggiore del tirante idrico. Le 2D SWE sul piano orizzontale sono descritte dalle equazioni differenziali parziali della continuità della massa e della conservazione della quantità di moto nella direzione X, parallela all'asse dell'alveo, e Y, normale all'asse dell'alveo, in moto vario. Di seguito si riporta la formulazione del sistema di equazioni.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} + \frac{\partial(Hv)}{\partial y} = 0 \quad (\text{Eq. di continuità 2D}) \\ \\ \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - c_f v + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + g u \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = F_x \quad (\text{Eq. di moto X}) \\ \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + c_f u + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + g v \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2 H} - \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = F_y \quad (\text{Eq. di moto Y}) \end{array} \right.$$



dove  $\zeta$  = elevazione del pelo libero

$u$  e  $v$  = componenti della velocità mediate lungo la verticale nelle direzioni X e Y

$H$  = tirante del pelo libero

$t$  = tempo

$x$  e  $y$  = distanze nelle direzioni X e Y

$c_f$  = coefficiente di Coriolis

$C$  = coefficiente di Chezy

$\mu$  = coefficiente di viscosità

$p$  = pressione atmosferica

$\rho$  = densità dell'acqua

$F_x$  e  $F_y$  = somma delle componenti delle forze esterne nelle direzioni X e Y

#### Implementazione della geometria del modello

Data la morfologia dei luoghi e i dati disponibili si è realizzato il modello geometrico, alla base dei calcoli idraulici, sulla base delle informazioni utilizzando il rilievo LIDAR di recente acquisizione e i rilievi a terra degli attraversamenti. L'analisi idraulica è stata eseguita implementando 8 domini di calcolo, ognuno relativo ad una macroarea. Per ognuno di essi si è condotta la simulazione relativa ad ognuno dei tre tempi di ritorno prefissati (30, 200 e 500 anni). Nello specifico sono stati analizzati con parametri distribuiti 4 domini di monte e 3 domini di valle. Un'ulteriore analisi deriva dall'applicazione a parametri concentrati eseguita esclusivamente sull'unico dominio di valle di estensione pari alla sommatoria dei 3 analizzati in precedenza. Le perimetrazioni finali risultano dalla combinazione dei risultati di tutti i modelli.

L'applicazione relativa al dominio globale è partita dalla costruzione dei modelli tridimensionali del terreno utilizzando, come detto, il rilievo LiDAR che offre una maglia topografica di ampiezza 1 metro. Una risoluzione così alta per domini a scala di decine di Km<sup>2</sup>, non risulta direttamente implementabile nel modello di calcolo, essa imporrebbe tempi computazionali improponibili, ovvero lo spaccettamento in un numero elevato di sottodomini che per le elevate condizioni al contorno necessarie per renderli fra loro comunicanti, renderebbero il risultato meno accurato. Si è optato quindi per l'utilizzo di una risoluzione comunque elevata con maglia di 5 metri che permette un elevato dettaglio negli output forniti dal modello con tempi computazionali accettabili. Permette inoltre di costruire le geometrie della maggior parte dei manufatti esistenti sul territorio direttamente, senza far diventare la loro presenza puramente parametrica. Pertanto le informazioni del rilievo lidar di maglia 2x2 metri sono state distribuite su di una griglia 5x5 metri. Solo per l'analisi di situazioni particolari sono stati implementati ulteriori domini di calcolo basati su una griglia topografica di calcolo con risoluzione 2 metri.

Si riporta nel seguito una figura esemplificativa del software di calcolo utilizzato e della geometria implementata.

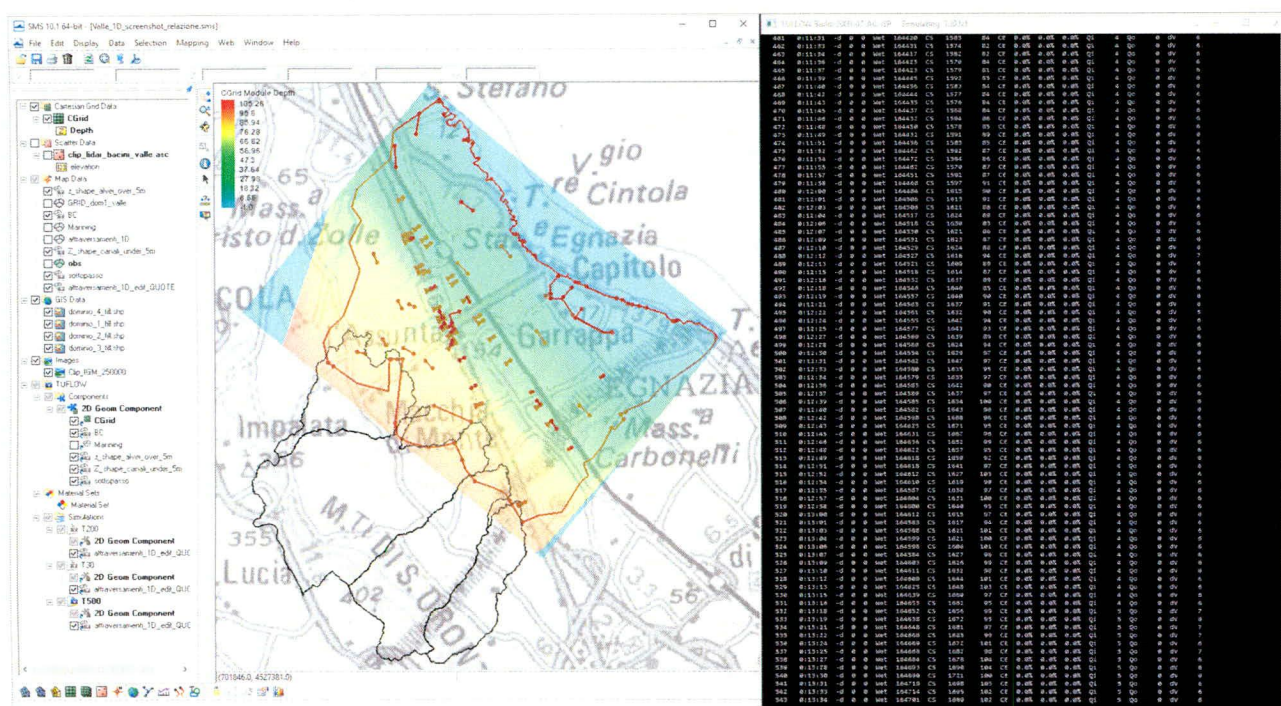


Figura 20 - Geometria del sistema in SMS ed esecuzione del modello in TUFLOW

Per tutti i modelli di calcolo implementati che vengono nel seguito elencati, si è fatto riferimento ad un valore di scabrezza di Manning variabile in funzione dell'uso del suolo ricavato dalla Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:5000. Il valore di scabrezza si è ritenuto fisso al variare del tirante idraulico.

Nella mappa seguente sono indicati i valori del parametro di Manning utilizzato per ogni classe di uso del suolo.

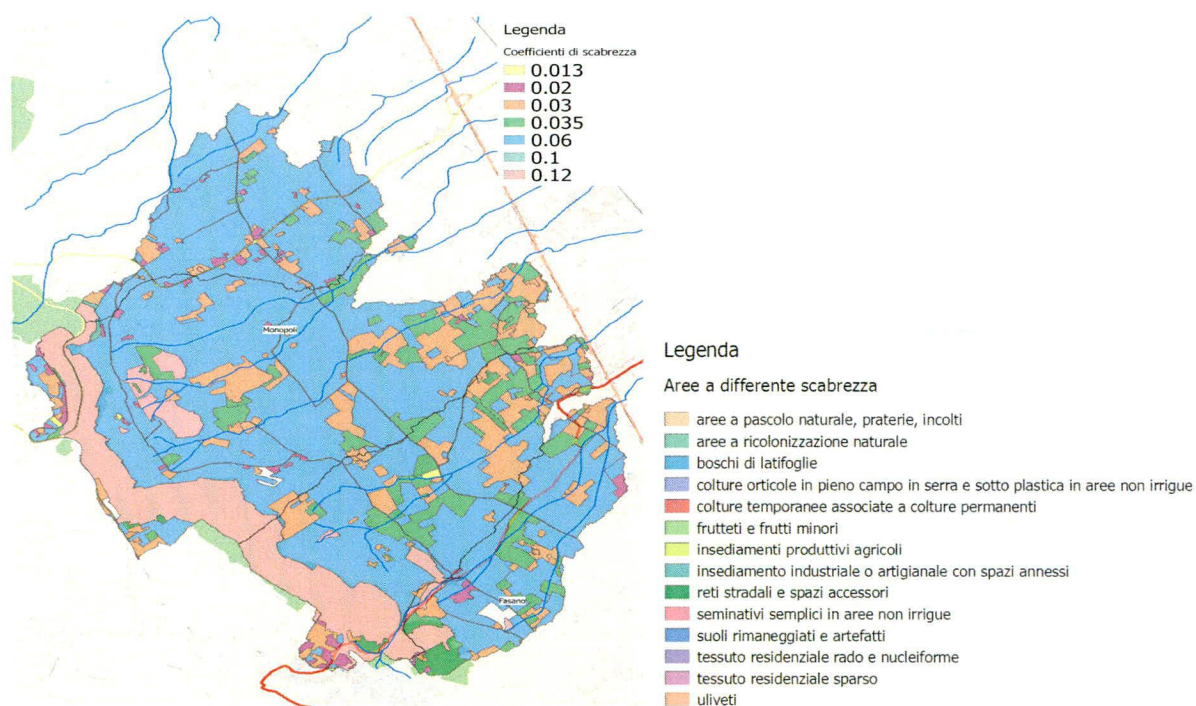


Figura 21 - rappresentazione della distribuzione dei coefficienti di scabrezza di manning sul territorio analizzato



Nel seguito si riportano i risultati ottenuti rappresentativi sia della geometria implementata, sia dell'output fornito dal modello in relazione alla piena bicentenaria.

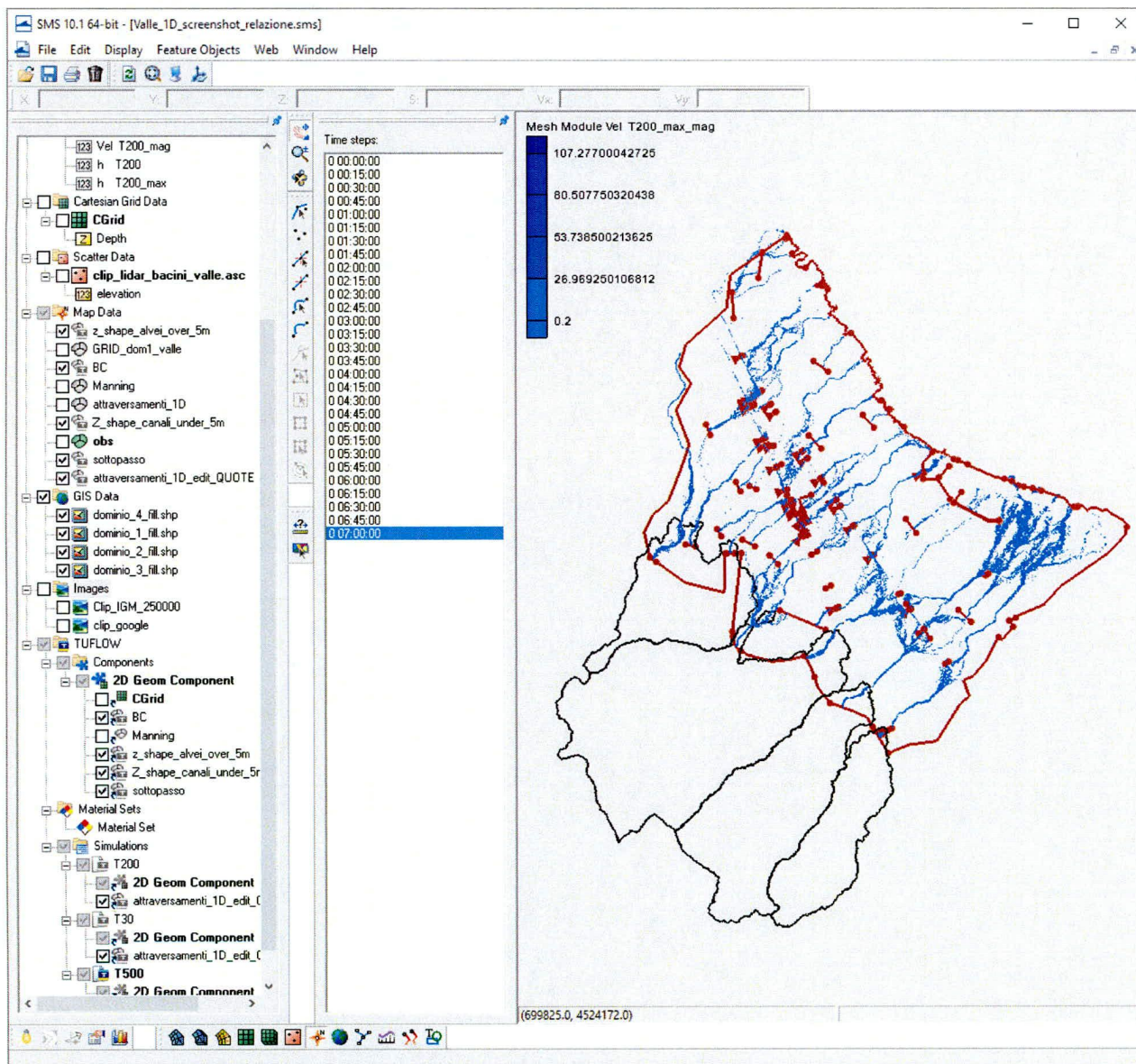


Figura 22 - Output del modello unico di valle con rappresentazione di tutti i domini di calcolo e della Velocità max per TR200

Nel seguito vengono rappresentati gli otto domini di calcolo in precedenza citati evidenziando gli aspetti più rilevanti della geometria implementata e le velocità, massime temporali, fornite come output dal modello.



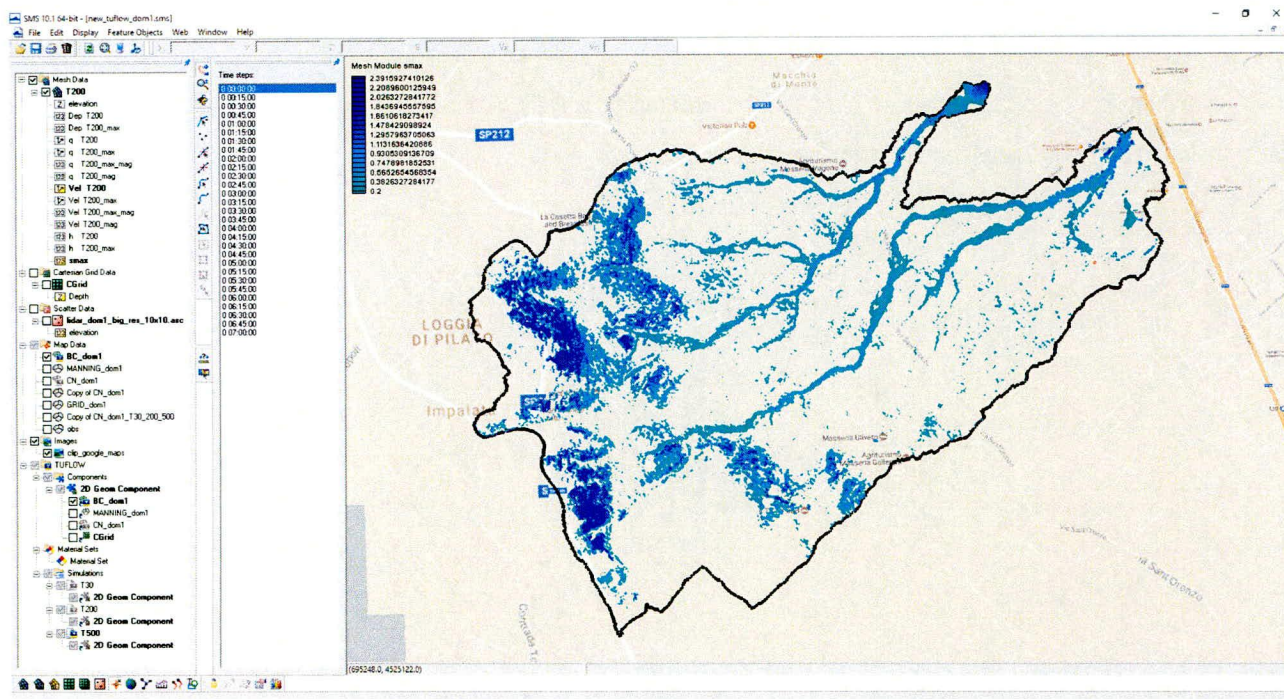


FIGURA 23 - OUTPUT DEL MODELLO N.1 A PARAMETRI DISTRIBUITI CON OUTPUT DELLA MAX VELOCITÀ TEMPORALE PER TR200

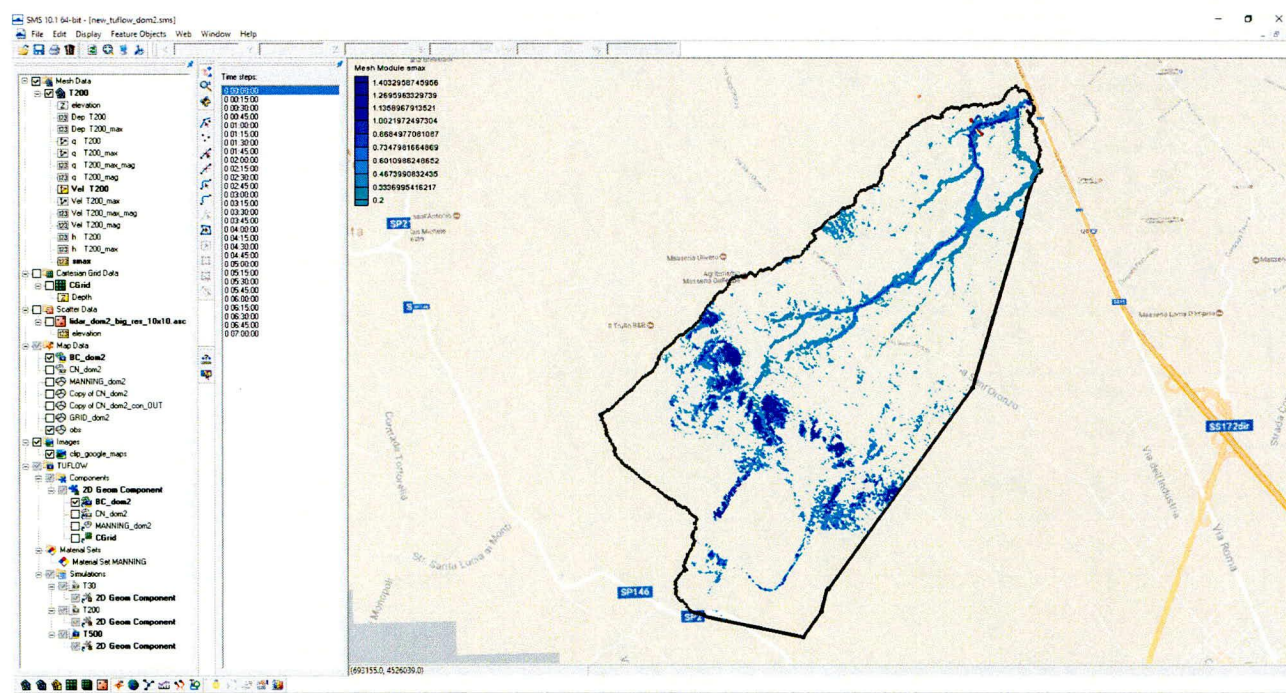


FIGURA 24 - OUTPUT DEL MODELLO N.2 A PARAMETRI DISTRIBUITI CON OUTPUT DELLA MAX VELOCITÀ TEMPORALE PER TR200



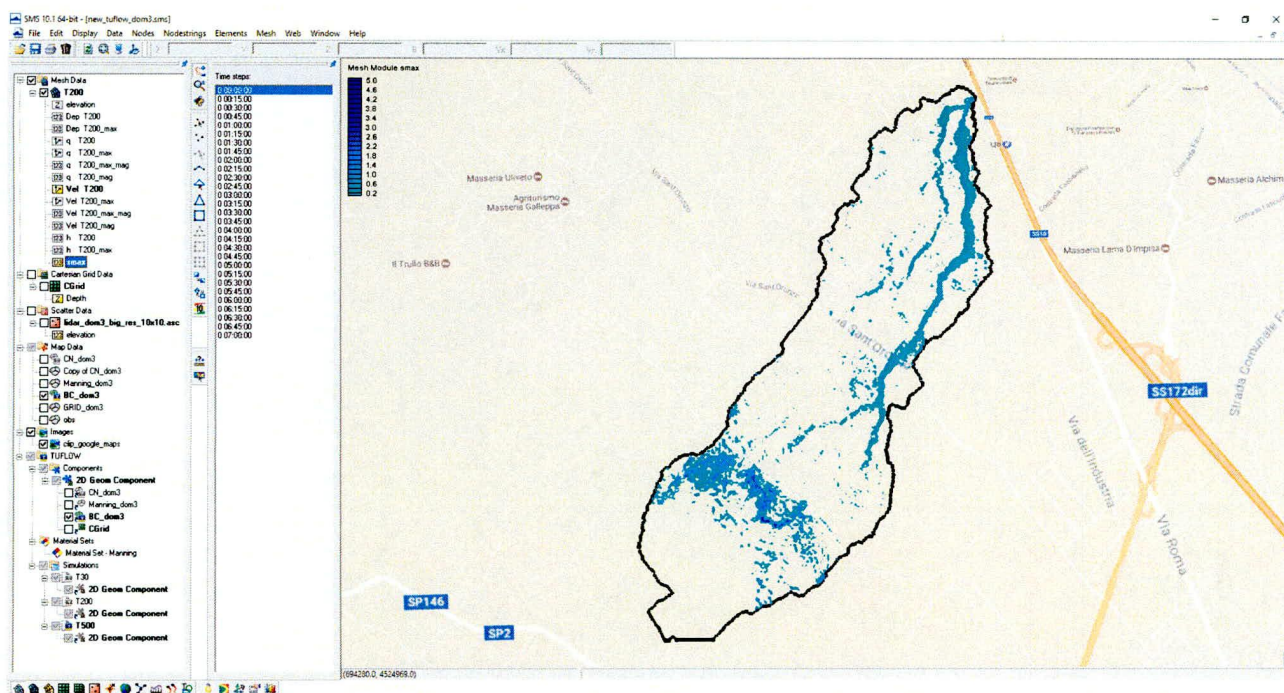


FIGURA 25 - OUTPUT DEL MODELLO N.3 A PARAMETRI DISTRIBUITI CON OUTPUT DELLA MAX VELOCITÀ TEMPORALE PER TR200

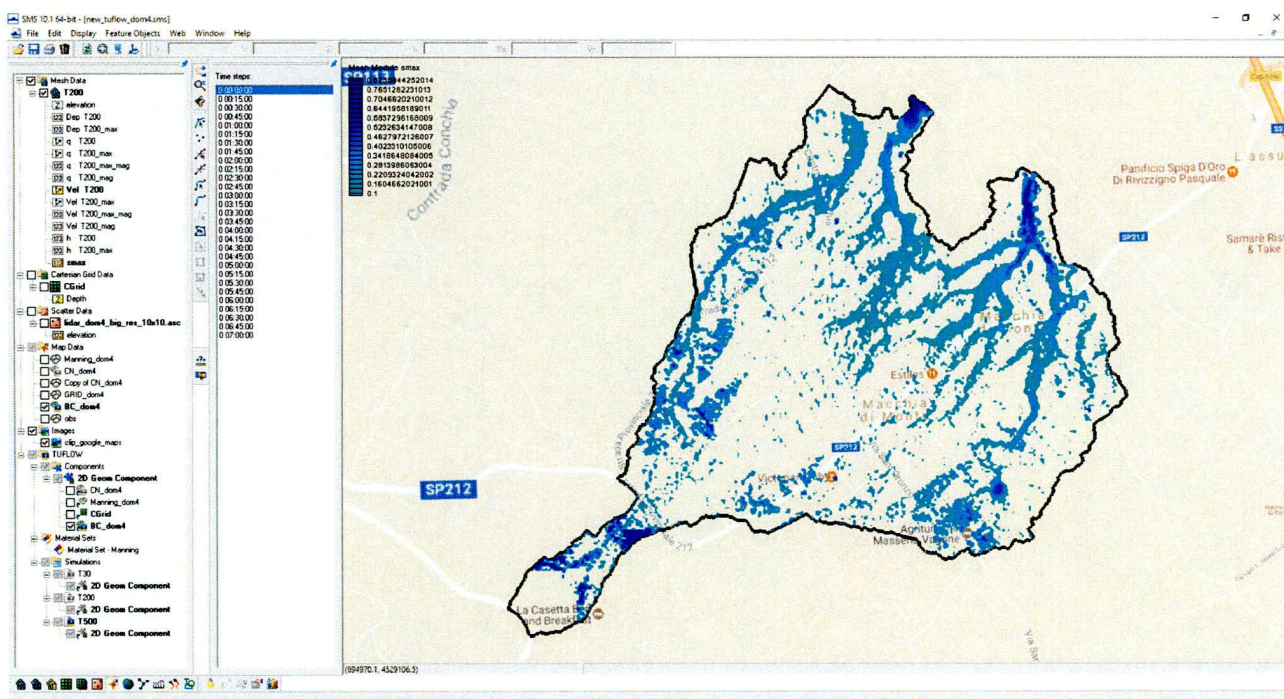


FIGURA 26 - OUTPUT DEL MODELLO N.4 A PARAMETRI DISTRIBUITI CON OUTPUT DELLA MAX VELOCITÀ TEMPORALE PER TR200



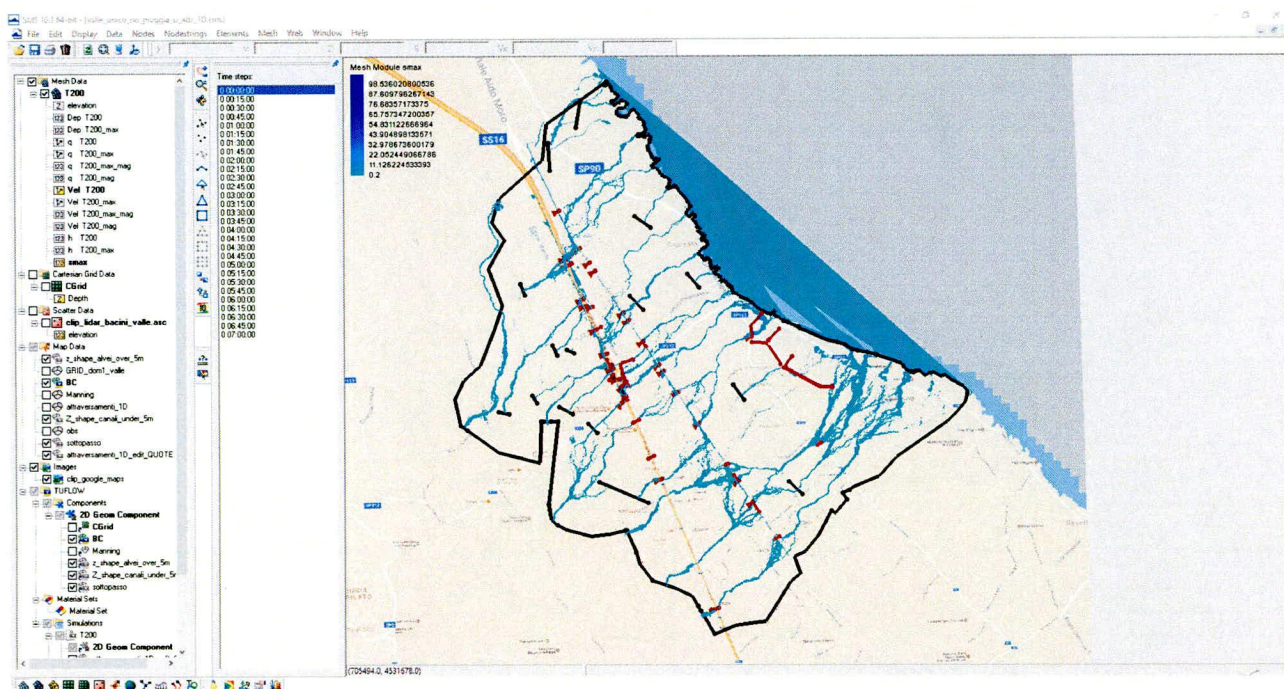


FIGURA 27 - OUTPUT DEL MODELLO N.5 A PARAMETRI CONCENTRATI CON OUTPUT DELLA MAX VELOCITÀ TEMPORALE PER TR200

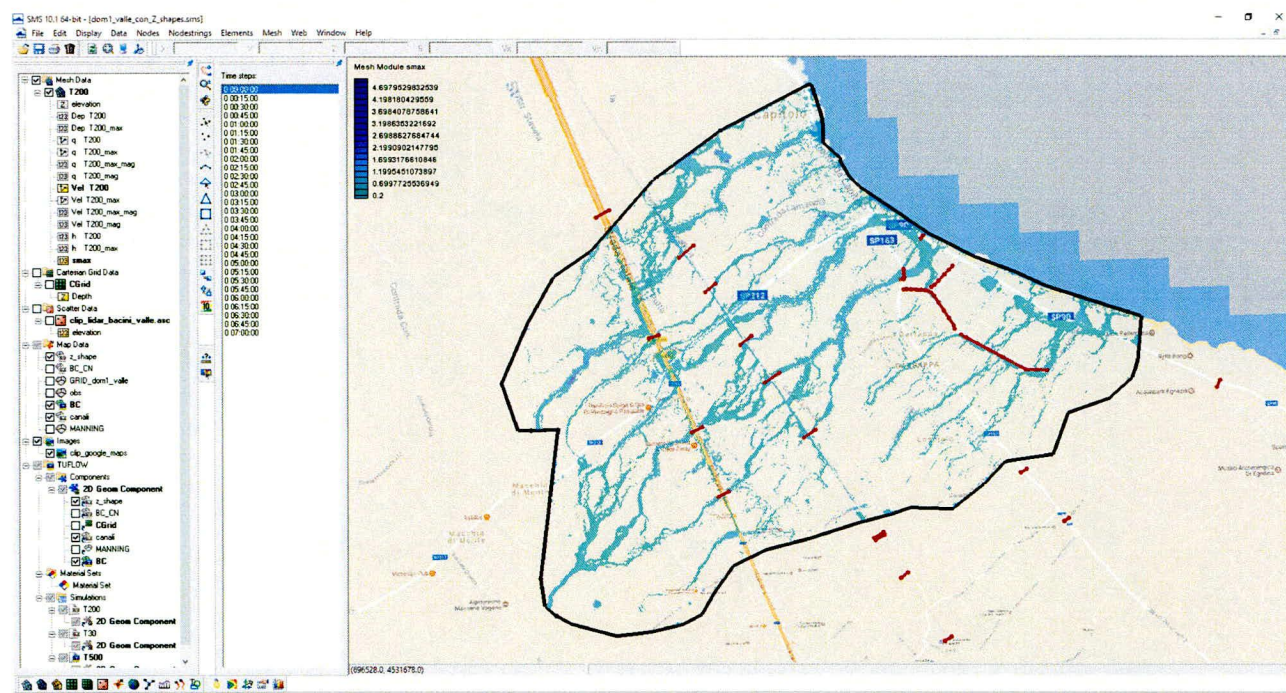


FIGURA 28 - OUTPUT DEL MODELLO N.6 A PARAMETRI CONCENTRATI CON OUTPUT DELLA MAX VELOCITÀ TEMPORALE PER TR200





Al fine di meglio dettagliare alcune situazioni in aree particolarmente antropizzate e dotate di opere idrauliche, di dimensioni e di congruenza limitata in rapporto alle problematiche di difesa del suolo ma comunque in grado di regimentare un certo quantitativo di deflussi idrici, sono stati realizzati ulteriori 3 domini con mesh di calcolo a risoluzione



di 2 metri. In ognuno di essi le condizioni al contorno di monte sono state inserite come idrogrammi di piena, ricavati dagli output dei modelli precedentemente descritti.

Si riportano nel seguito le immagini rappresentative, comprensive di output di calcolo esemplificativi.

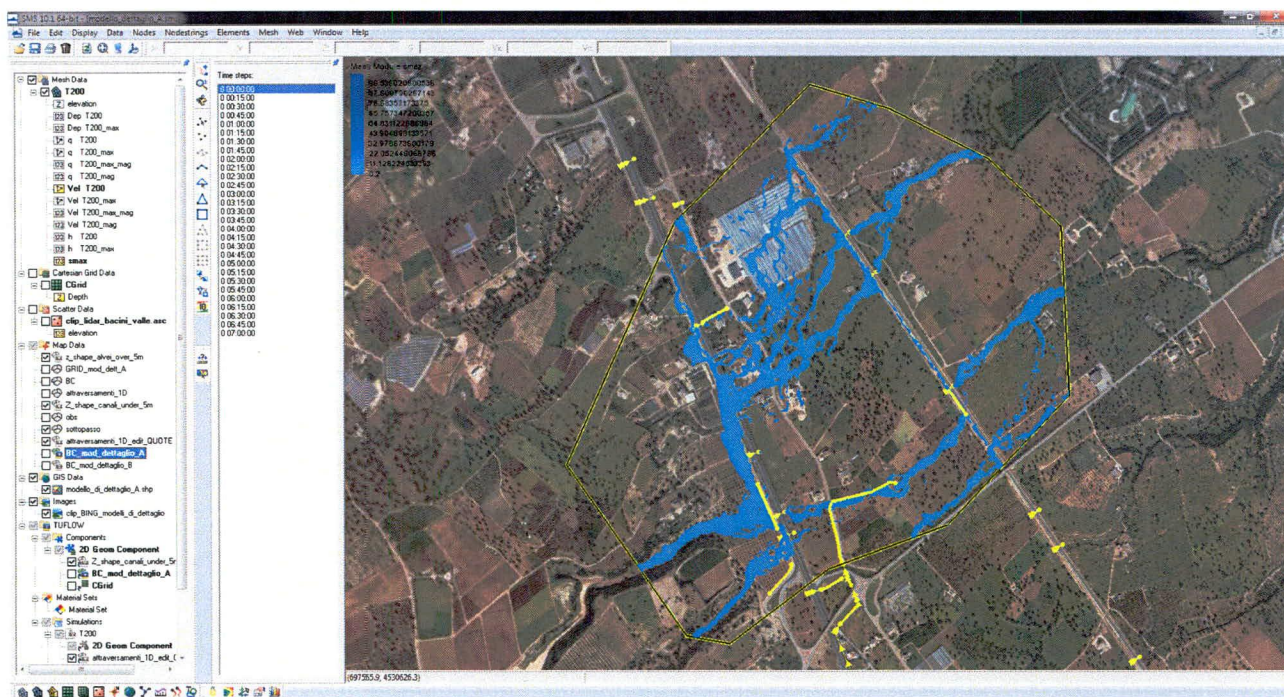


FIGURA 31 - OUTPUT DEL MODELLO N.9 (LOCALITÀ LAMA DEI TAVARI – CONTRADA LAMANDIA) A PARAMETRI CONCENTRATI CON OUTPUT DELLA MAX VELOCITÀ TEMPORALE PER TR200

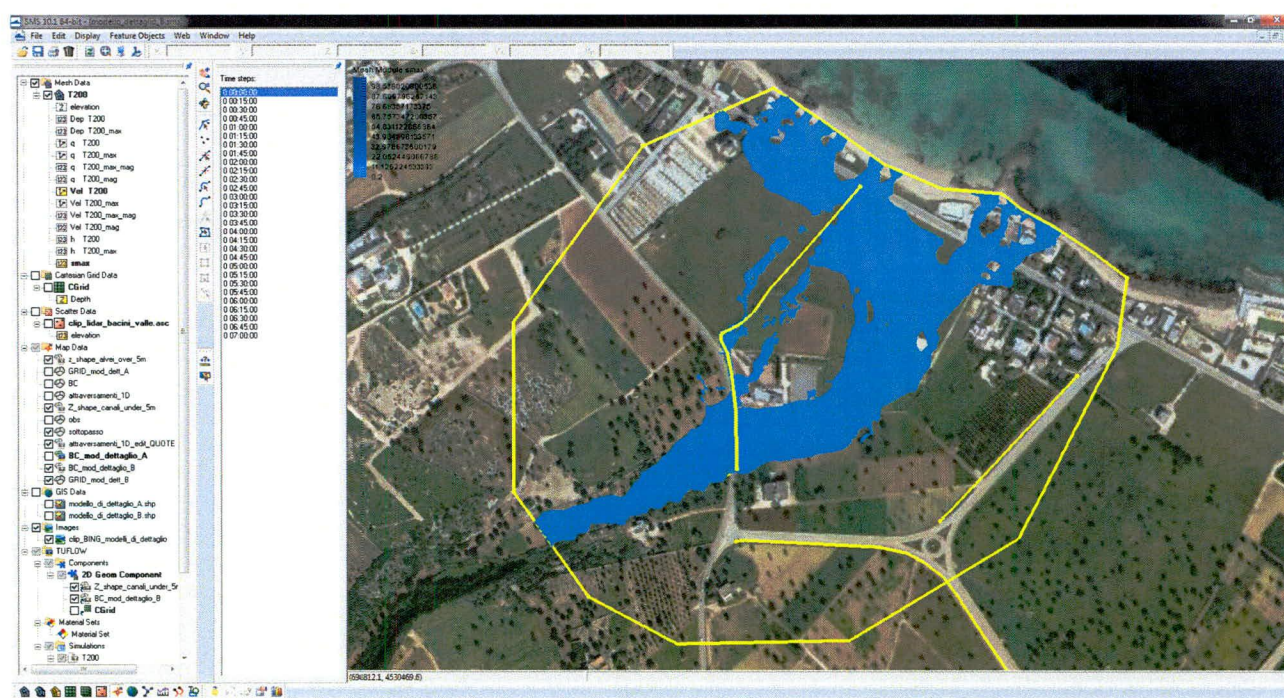




FIGURA 32 - OUTPUT DEL MODELLO N.10 (LOCALITÀ LOSCIALE) A PARAMETRI CONCENTRATI CON OUTPUT DELLA MAX VELOCITÀ TEMPORALE PER TR200

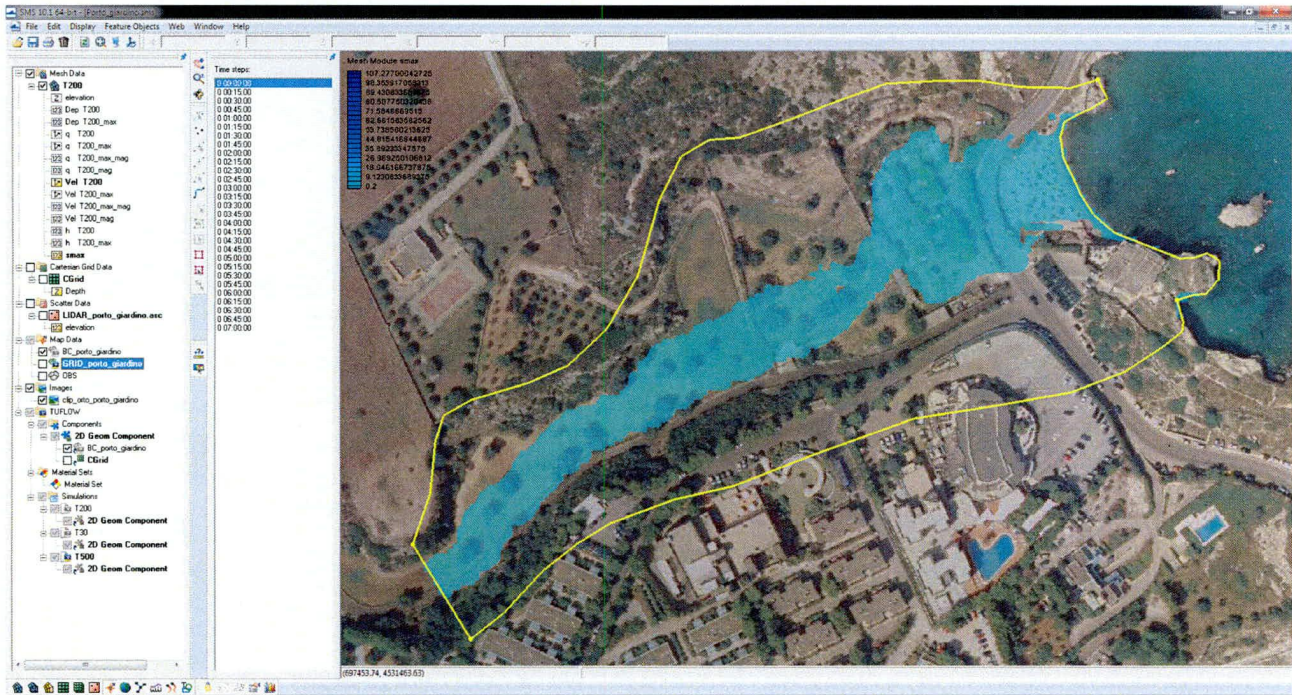


FIGURA 33 - OUTPUT DEL MODELLO N.11 (LOCALITÀ PORTO GIARDINO) A PARAMETRI CONCENTRATI CON OUTPUT DELLA MAX VELOCITÀ TEMPORALE PER TR200

### ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI E PROPOSTA DI MODIFICA AL PAI

Le valutazioni idrologiche ed idrauliche condotte secondo le metodologie sopra descritte hanno portato all'individuazione delle aree a diversa pericolosità idraulica nella porzione di territorio comunale analizzata. Il modello idraulico a cui si è fatto riferimento per la simulazione dei fenomeni di piena, ha fornito come output i valori dei tiranti idraulici e delle velocità (oltre a numerosi altri parametri), per ognuna delle aste idrografiche studiate.

I massimi temporali dei tiranti e delle velocità, calcolati in ogni cella dei domini di calcolo implementati, sono stati combinati secondo la relazione, istante per istante:

$$S = h + (0,5/1,3) * v > 0,2$$

dove:

S=pericolosità idraulica;

h=tirante idrico;



$v$ =velocità della corrente.

I risultati ottenuti hanno consentito di definire le pericolosità idrauliche dell'area analizzata per ognuno dei tempi di ritorno prefissati dalle NTA del vigente PAI, ottenendo le mappe nel seguito indicate che costituiscono la proposta di aggiornamento del PAI nelle territorio studiato.

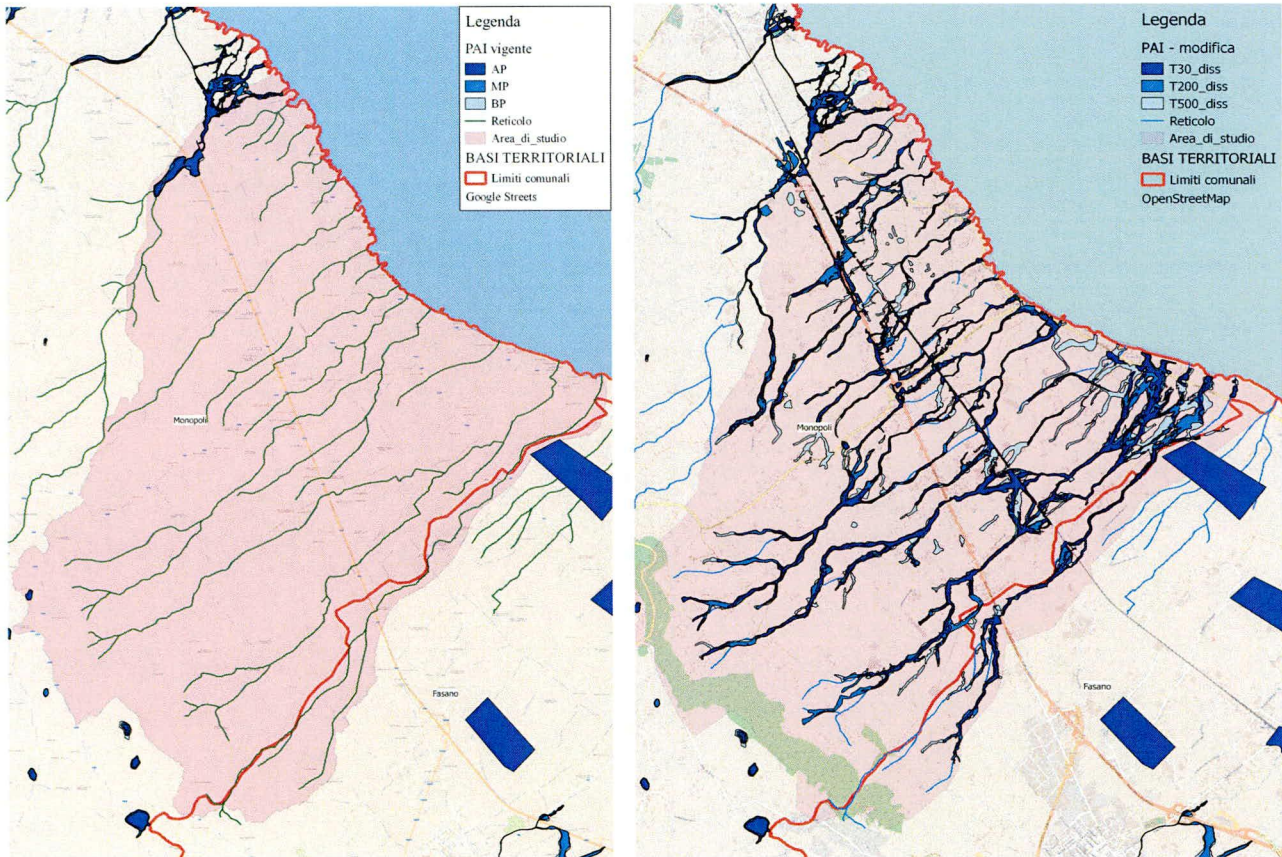


Figura 34 - PAI assetto idraulico vigente (a sx) e proposta di modifica (a dx)

Ing. Rocco Bonelli

Dott. Massimiliano Lamendola