



**CONSORZIO DI BONIFICA
MONTANA DEL GARGANO**

Consorzio di Bonifica Montana del Gargano
Viale Cristoforo Colombo n. 243
71121 Foggia (FG)
www.bonificadelgargano.it
info@bonificadelgargano.it

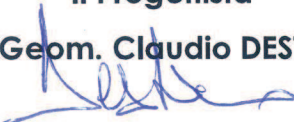


**REALIZZAZIONE DI UN ACQUEDOTTO RURALE A SERVIZIO DELLE COMUNITA'
AGRICOLE PRESENTI SUL TERRITORIO MONTANO DI MONTE SANT'ANGELO (FG)**

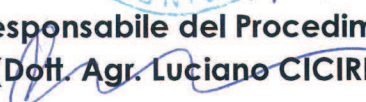
PROGETTO DEFINITIVO

DATA: Settembre 2019	STUDIO DI COMPATIBILITA' IDROLOGICA ED IDRAULICA AREA IMPIANTO SOLLEVAMENTO	Tavola ES 02
REV. 00		

REDATTO DA : Settore Tecnico - Agrario
Consorzio di Bonifica Montana del Gargano

Il Progettista
Geom. Claudio DESTINO


Geologo
Dott. Geol. Domenico Impagnatiello


Il Responsabile del Procedimento
(Dott. Agr. Luciano CICIRETTI)


COMUNE DI MONTE SANT'ANGELO (FG)**Realizzazione di un acquedotto rurale a servizio delle comunità agricole
presenti sul territorio montano di Monte Sant'Angelo (FG)**

(CIG: ZD1290E0A4, CUP 0PROVV0000013308)

*Studio di compatibilità idrologica ed idraulica
(Area impianto di sollevamento)*

COMMITTENTE:

Consorzio di Bonifica Montana del Gargano

PROGETTISTI:

geom. Claudio Destino
ing. Salice Roberto (strutture ed idraulica)

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

dott. agr. Luciano Ciciretti

GEOLOGO:

dott. geol. Domenico P. Impagnatiello

SOMMARIO

1. PREMESSA	2
2. RAPPORTI CON IL PAI (PIANO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO).....	3
3. ANALISI MORFOLOGICA ED INDIVIDUAZIONE DEL BACINO TRIBUTARIO.....	4
3.1. INDIVIDUAZIONE DEL BACINO SCOLANTE E DEI PARAMETRI CARATTERISTICI	5
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL BACINO DI STUDIO	8
5. USO DEL SUOLO	10
6. STUDIO IDROLOGICO DEL BACINO	12
6.1. PREMESSA	12
6.2. ANALISI REGIONALE DELLE PIOGGE IN PUGLIA	13
6.3. CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA.....	20
6.4. PIOGGE DI DURATA INFERIORE ALL'ORA	21
7. VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA	22
7.1. STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE	23
7.2. STIMA DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO – METODO DEL CURVE NUMBER	26
8. STUDIO IDROLOGICO MEDIANTE IL SOFTWARE HEC-HMS.....	31
8.1. APPLICAZIONE DEL MODELLO HEC-HMS AL CASO DI STUDIO	33
8.2. RISULTATI SIMULAZIONE HEC-HMS	35
9. ANALISI IDRAULICA BIDIMENSIONALE CON IL SOFTWARE HEC-RAS 5.0.X	36
9.1. MODELLAZIONE DEL TERRENO	38
9.2. SVILUPPO DEL 2D COMPUTATIONAL MESH E CREAZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO	39
9.3. CONDIZIONI AL CONTORNO.....	39
9.4. CREARE UNA VARIABILITÀ SPAZIALE DEL MANNING.	40
9.5. RISULTATI MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE.....	42
9. CONCLUSIONI.....	45

1. Premessa

Il Consorzio di Bonifica Montana del Gargano ha in progetto la **Realizzazione di un acquedotto rurale a servizio delle comunità agricole presenti sul territorio montano di Monte Sant'Angelo (FG)**. L'intervento consiste, essenzialmente, nella sostituzione di un tratto di condotta dell'Acquedotto Pugliese che da Monte Sant'Angelo collega San Giovanni Rotondo e la realizzazione di una diramazione dalla stessa condotta per approvvigionare le sole aree interne del comune di Monte Sant'Angelo, così da disporre di risorse sufficienti anche per aree diverse e maggiori rispetto a quelle servite oggi. Completa il progetto la realizzazione di un serbatoio di accumulo da realizzare nella parte alta del tracciato, in posizione topograficamente elevata (circa 755 m s.l.m.m.) e di un impianto di sollevamento (ubicato a circa 673 m s.l.m.m.) che permetterà alle acque di raggiungere il serbatoio di accumulo.

L'ubicazione dell'impianto di sollevamento è prossima ad un modestissimo reticolo idrografico presente in zona e pertanto per l'area vigono gli artt. 6 e 10 delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI. In particolare, l'art. 6 disciplina gli interventi ammissibili nell'alveo in modellamento attivo e nelle aree golenali, mentre l'art. 10 si "preoccupa" della fasce di pertinenza fluviale.

L'art. 6 delle NTA del PAI stabilisce che quando il reticolo idrografico e l'alveo in modellamento attivo e le aree golenali non sono arealmente individuate nella cartografia in allegato al PAI e **le condizioni morfologiche non ne consentono la loro individuazione**, le norme si applicano alla porzione di terreno a distanza planimetrica, sia in destra che in sinistra, dall'asse del corso d'acqua, non inferiore a 75 m.

L'art. 10 delle NTA del PAI stabilisce che quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato al PAI, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermina all'area golenale, come individuata al punto precedente, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m.

Orbene, per verificare se l'area di ubicazione dell'impianto di sollevamento sia in "sicurezza idraulica" si rende opportuno redigere uno studio idrologico ed idraulico per definire in dettaglio, come l'area "verrebbe allagata" a seguito di eventi pluviometrici estremi ed in particolare, secondo le indicazioni contenute nelle NTA del PAI Puglia, per eventi con tempi di ritorno di 200 anni.

In relazione a quanto appena affermato, sia lo studio idrologico che quello idraulico si sono concentrati sulle verifiche con TR = 200 anni.

2. Rapporti con il PAI (Piano di bacino per l'Assetto Idrogeologico)

La Regione Puglia, nella veste dell'Autorità di Bacino che ha redatto il PAI (Piano di bacino stralcio per l'Assetto Idrogeologico), ha provveduto alla perimetrazione delle aree a pericolosità/rischio idraulico e geomorfologico. Il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'ex Autorità di Bacino della Puglia (ora Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, sede Puglia), approvato in data 30.11.2005 e successivamente aggiornato e riproiettato, è finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità geomorfologica necessario a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso.

Il PAI costituisce il Piano Stralcio del Piano di Bacino, ai sensi dall'articolo 17 comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989 n. 183, ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.

L'area interessata dalla richiesta in oggetto non è soggetta, ai sensi del PAI, a vincolo per pericolosità idraulica; vigono solo le prescrizioni, come già detto, per le aree in "Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali" (art. 6, NTA del PAI) e la "Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale" (art. 10, NTA del PAI).

L'area non è interessata da pericolosità geomorfologica.

3. Analisi morfologica ed individuazione del bacino tributario

L'approccio utilizzato per affrontare e risolvere le problematiche oggetto del presente studio contempla un'analisi a scala di bacino dei processi idrologici ed idraulici determinati dagli eventi meteorici di riferimento i cui effetti al suolo sono fortemente influenzati dallo stato dei luoghi, sia sotto l'aspetto della geomorfologia degli stessi sia dal punto di vista della loro destinazione d'uso.

Al fine di giungere a determinazioni che abbiano un riscontro in linea con la realtà dei luoghi è evidentemente necessario ricostruire, nella maniera quanto più dettagliata possibile, la conformazione dei luoghi che si andranno ad analizzare partendo da un esame a scala di bacino e via via aumentando sempre più il dettaglio dell'indagine.

Nel presente studio, al fine di ricavare un modello digitale quanto più dettagliato possibile, si è fatto riferimento ai seguenti dati cartografici disponibili:

1. Cartografia IGM in scala 1:25.000;
2. Cartografia Tecnica in scala 1:5.000;
3. Carta idrogeomorfologica della Regione Puglia;
4. Ortofoto;
5. dati LIDAR ottenuti dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Geoportale Nazionale con risoluzione di 1m per l'intera area di studio.

La base di partenza per l'ottenimento dei bacini idrografici, grazie alle moderne tecnologie disponibili, è sicuramente il modello digitale del terreno. Quanto più il modello digitale del terreno approssima il reale andamento morfologico dei luoghi, tanto più simile alle situazioni 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.

Il Modello Digitale del Terreno (DEM) è una rappresentazione tridimensionale georeferenziata della zona oggetto di studio.

Nel caso in oggetto, il processo conoscitivo idrologico idraulico della zona si è sviluppato nel seguente modo: è stato importato il DTM estratto dai dati LIDAR in ambiente GIS, trasformandolo nella griglia matriciale (Grid) dove con particolari algoritmi di calcolo si sono determinate le linee preferenziali di deflusso e subito dopo il bacino scolante sotteso.

Nel caso in oggetto si è lavorato con celle di 1m.

3.1. 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 che vengono generalmente utilizzati nelle analisi idrologiche a scala di bacino.

La base dati principale sulla quale è basata l'analisi morfologica è rappresentata dal modello tridimensionale del terreno. 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 precedentemente, è stato possibile determinare il bacino idrografico afferente alla **sezione di chiusura - tirata circa 100m più a valle rispetto all'area di realizzazione dell'impianto di sollevamento** - e determinare le caratteristiche morfometriche di cui necessita l'elaborazione idrologica.

Più in particolare, per identificare la rete idrografica dell'area di studio oltre che il relativo bacino idrografico, è stato utilizzato il programma MapWindow, software sviluppato dall'Idaho State University e dalla Utah State University, integrato con il plug-in TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models). Questo applicativo consente il riconoscimento della rete idrografica sfruttando semplicemente il DTM dell'area di interesse, che deve essere fornito come griglia di quadrati di dimensioni identiche (pixel) ad ognuno dei quali va associata la quota geodetica media della porzione di territorio sottesa dal quadrato stesso.

Il modesto bacino idrografico di studio si trova, come detto, nel Comune di Monte Sant'Angelo; esso è caratterizzato da una area "scolante" di appena 0,12 Km². Dal punto di vista topografico l'intera area di studio è inquadrata all'interno della tavoletta topografica II S.E. "San Salvatore" del Foglio N° 156 della Carta d'Italia dell'I.G.M.I..

Di seguito i parametri morfometrici del bacino studiato.

Bacino	Dati bacino idrografico				Dati reticolo idrografico			Dati asta principale					
	Area (km ²)	H _{max} (m)	H _{med} (m)	H _{min} (m)	pendenza media (°)	pendenza media (%)	pendenza media	lungh. asta princ. (km)	pend. med. asta princ. (%)	pendenza	H _{max} (m)	H _{med} (m)	H _{min} (m)
B1	0,12	766	704	649	10,7	18,9	0,189	1,0	11	0,110	765	708	648

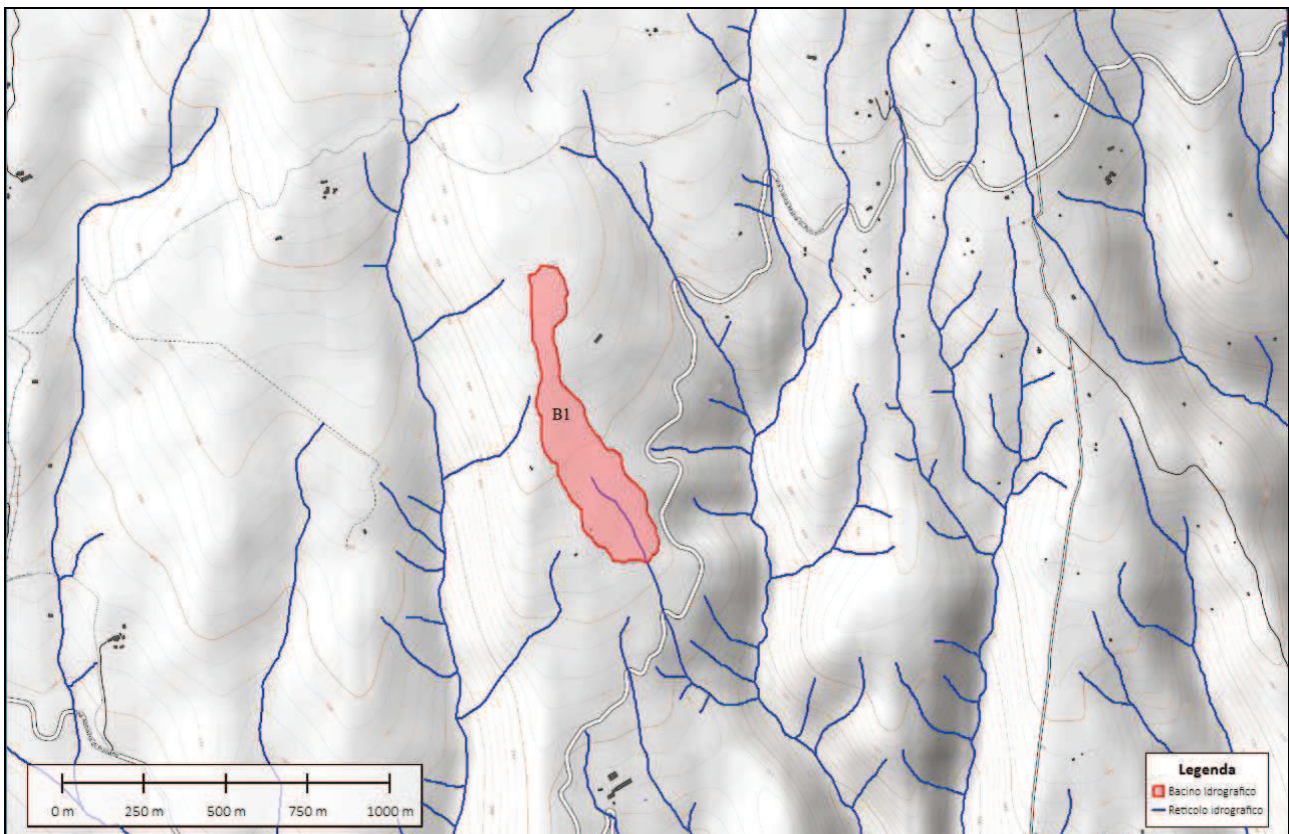


Figura 1 – Inquadramento del bacino idrografico su Open Topo Map

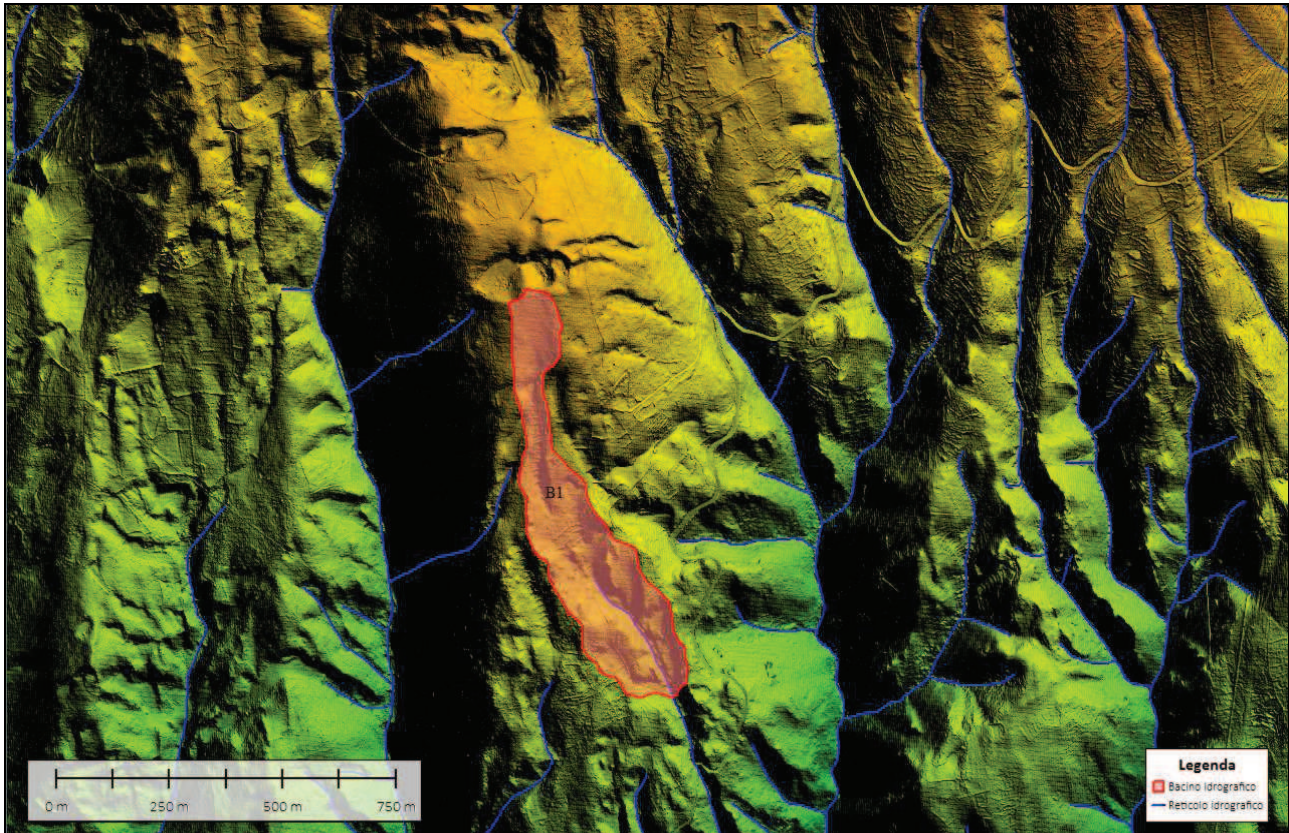


Figura 4 – Inquadramento del bacino idrografico su DTM LIDAR

4. Inquadramento geologico e geomorfologico del bacino di studio

L'area interessata dal presente studio ricade nel Foglio 156 "San Marco in Lamis" della Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000 (Figura 5); la superficie complessiva occupata dal bacino idrografico è di circa 0,12kmq con quote che variano da un massimo di circa 766 m s.l.m.m. fino ad un minimo di 649 m s.l.m.m.. La pendenza topografica media è di circa il 19%.

Dal punto di vista geolitologico, in relazione a quanto riportato nel Foglio 156 dalla Carta Geologica d'Italia, si riconosce che l'area garganica è caratterizzata in buona parte dalla presenza di depositi carbonatici di bacino (Giurassico – Cretacico) che comprende le unità carbonatiche e calcareo-marnose di bacino affioranti nel settore più orientale del Gargano.

Nel settore occidentale del promontorio affiora una serie di formazioni rocciose caratterizzate da alternanze di calcari e calcari dolomitici, stratificati e fratturati. La loro formazione è dovuta alla litificazione di un fango calcareo che nel Giurassico superiore-Cretaceo si

formava sul fondale oceanico compreso tra la scogliera e la costa, in un ambiente lagunare. Tali rocce oggi affiorano estesamente sulle superfici sommitali e sui versanti che sagomano il Gargano centro-occidentale.

Il settore più orientale del Gargano, comprendente il tratto costiero che va da Rodi Garganico fino a sud di Testa del Gargano, si contraddistingue per la presenza di associazioni di rocce calcaree e calcareo-dolomitiche e di calcari farinosi e marnosi stratificati. La caratteristica peculiare di queste formazioni è la presenza di selce in noduli inglobati nella roccia o in liste interstratificate.

Queste litologie sono l'espressione di un ambiente di formazione di bacino oceanico piuttosto distante dalla costa e con acque molto profonde. La presenza delle liste di selce scura all'interno degli strati di calcare bianco rimarca la stratificazione netta di queste formazioni e costituisce un motivo continuo ammirabile nelle falesie lungo la fascia costiera tra Vieste e Mattinata.

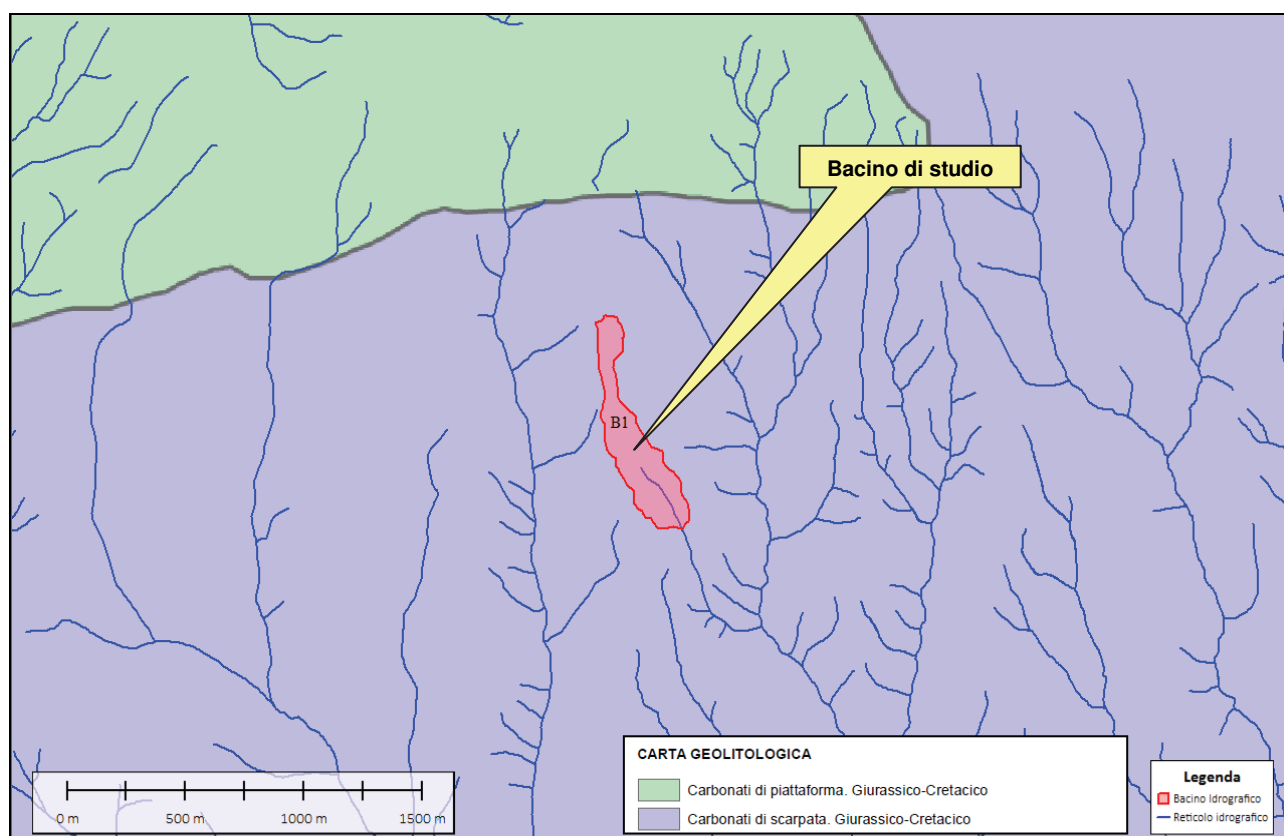


Figura 5 – Stralcio della carta geolitologica dell'area (Fonte Adb Puglia)

5. Uso del suolo

Per la determinazione dell'uso del suolo si è fatto riferimento alla carta d'uso dei suoli (UDS) della Regione Puglia, aggiornata al 2011.

Si ricorda che la carta UDS regionale ha come caratteristiche fondamentali:

1. Derivazione da ortofoto con pixel di 50 cm.;
2. Classificazione conforme alle metodologie adottate a livello europeo con le specifiche del progetto CORINE Land Cover (con ampliamento al IV livello);
3. Unità areale minima cartografabile 2.500 mq (salvo deroghe);
4. Mantenimento della coerenza geometrica (condivisione del primo livello di ricostruzione topologica per il DBTI) con la Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:5.000 derivata dallo stesso volo aereo.

Dall'analisi dell'uso del suolo del territorio, si evince che la classe di uso del suolo quasi esclusiva è rappresentata da (Figura 6):

- aree a pascolo naturale, praterie, incolti.

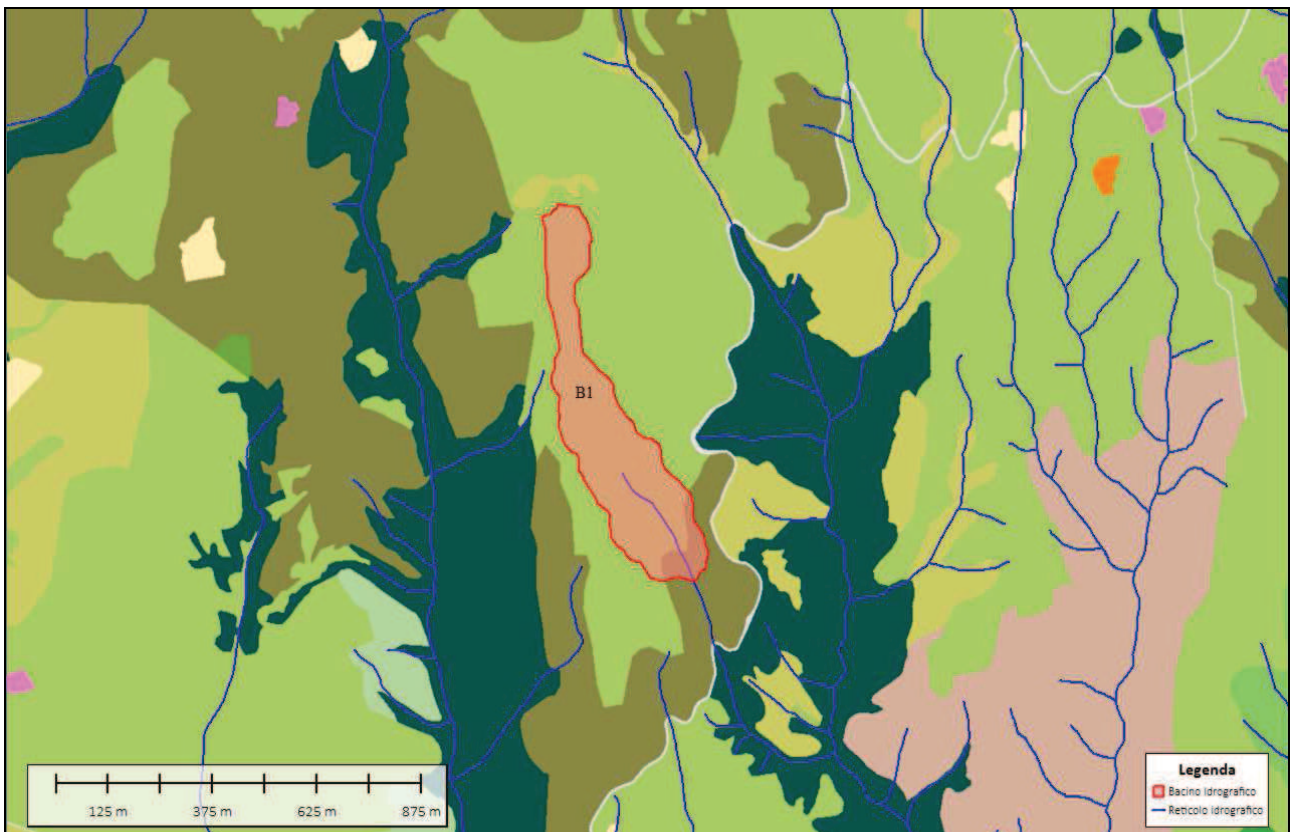


Figura 6 – Carta dell'uso del suolo (UDS Regione Puglia – agg. 2011)



Figura 7 – Legenda della Carta dell'Uso del Suolo (UDS Regione Puglia – agg. 2011)

6. Studio idrologico del bacino

6.1. Premessa

Effettuato lo studio morfologico, la metodologia da utilizzare per le analisi idrologiche viene individuata in base alle peculiarità del bacino e del reticolo idrografico che lo drena.

L'analisi idrologica ha come obiettivo la valutazione delle portate di piena che per prefissati tempi di ritorno, interessano il bacino idrografico e, di conseguenza il territorio e tutti gli elementi vulnerabili in esso presenti.

In congruenza con le finalità dello studio volto ad approfondire la sicurezza idraulica dell'area si è adottato il tempo di ritorno di 200 anni coerentemente con le N.T.A. del PAI dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Per l'analisi idrologica, così come riportato nella normativa vigente sulla difesa del suolo, è possibile far 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, conformemente al DPCM del 29.09.1998 e alla Relazione di Piano allegata al PAI approvato con delibera n. 39 del 30/11/2005.

La procedura adoperata e i risultati dei calcoli effettuati sono ampiamente descritti nei paragrafi successivi.

Per quanto concerne la valutazione dei deflussi naturali nella sezione di interesse si è fatto ricorso all'analisi comparata dei risultati derivati dall'applicazione di alcune relazioni, a base geomorfologica, atte a definire il tempo di corrivazione del bacino.

Per l'assunzione del tempo di corrivazione (T_c) più rispondente, dato che rappresenta il tempo necessario affinché una particella d'acqua possa giungere dai punti più lontani del bacino alla sezione fluviale considerata, si è provveduto all'assunzione del valore medio statistico ricavato da tutta una serie di algoritmi ampiamente noti in letteratura: *Formula di Giandotti (come modificata da Aronica e Paltrinieri)*, *Formula di Ventura*, *Formula di Viparelli*, *Formula di Kirpick - Watt-Chow e Pezzoli*, *Formula dell'SCS*, sulle cui peculiarità e limiti di applicabilità si illustrerà dettagliatamente nel seguito.

6.2. Analisi regionale delle piogge in Puglia

L'approccio più moderno per lo studio degli eventi estremi in idrologia viene condotto con un insieme di procedure atte a trasferire l'informazione idrologica, nota come "*analisi regionale*".

Alla base di un modello di regionalizzazione vi è la preventiva individuazione del meccanismo fisico-stocastico, che spiega la distribuzione della variabile idrologica di interesse nello spazio e nel dominio di frequenza statistica.

La scelta del tipo di modello richiede la conoscenza di alcuni aspetti fondamentali legati alle risorse dedicabili allo studio, alla qualità dell'informazione disponibile e alla precisione richiesta dai risultati. Pertanto, la struttura del modello richiede la costruzione del risolutore numerico e un'attenta identificazione dei parametri di taratura.

Numerosi studi sono stati condotti in Inghilterra, negli Stati Uniti ed in Italia su questi modelli a più parametri, noti in letteratura con gli acronimi GEV (Jenkinson, 1955), Wakeby (Houghton, 1978) e TCEV (Rossi e Versace, 1982; Rossi et al. 1984).

Questa ultima sigla deriva dall'espressione inglese *Two Component Extreme Value*, che rappresenta la distribuzione di probabilità corrispondente ad un certo evento estremo, sia che provenga dalla distribuzione statistica di eventi ordinari sia che provenga da quella degli eventi straordinari. A tal fine occorre sottolineare che la principale fonte di incertezza deriva proprio dagli eventi estremamente intensi che hanno caratteristiche di rarità in ogni sito e aleatorietà per quel che riguarda il sito ove potranno verificarsi nel futuro. Ciò implica che, se in un punto eventi straordinari di un certo tipo non si siano verificati storicamente, questo non è garanzia di sicurezza sulla loro non occorrenza nel futuro.

Il progetto VAPI sulla Valutazione delle Piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, ha proposto una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali. Tale progetto fornisce uno strumento atto a comprendere i fenomeni coinvolti nella produzione delle portate di piena naturali e ad effettuare previsioni sui valori futuri delle piene in una sezione di un bacino naturale con il minimo possibile di incertezza. Il progetto VAPI della regione Puglia rivolge particolare attenzione all'analisi regionale delle precipitazioni estreme e delle portate al colmo di piena. La distribuzione utilizzata per l'analisi regionale delle piogge, rispettando una certa omogeneità di procedura per tutti i rapporti regionali VAPI, è la TCEV. Questa procedura ha

mostrato una buona adattabilità alle serie storiche delle massime altezze di pioggia di durata variabile, anche in altre regioni meridionali, quali la Basilicata (Fiorentino et al., 1987; Gabriele e Iiritano, 1994), la Campania (Rossi e Villani, 1994), la Calabria (Versace, Ferrari, Gabriele e Rossi, 1989) e la Sicilia (Cannarozzo e Ferro, 1991).

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV consente di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, che utilizza tre differenti livelli di scala spaziale per la stima dei parametri del modello probabilistico utilizzato, in modo da ottimizzare l'informazione ricavabile dai dati disponibili e dal numero di stazioni della rete di misura.

In seguito, dopo una breve indicazione circa i dati disponibili per lo studio, si procede a fornire i risultati delle varie fasi della procedura di regionalizzazione del territorio pugliese centro-meridionale, territorio nel quale ricade il bacino oggetto di studio.

I dati pluviometrici utilizzati sono quelli pubblicati sugli annali idrologici del compartimento di Bari del S.I.I., le cui stazioni formano la rete di misura delle precipitazioni su tutto il territorio regionale con un'elevata densità territoriale.

Le osservazioni pluviometriche, utilizzate per la regionalizzazione, interessano il periodo dal 1940 al 2000 in tutte le stazioni di studio, con almeno quindici anni di misure, dei massimi annuali delle precipitazioni giornaliere ed orarie. Le serie sono variabili da un minimo di 19 ad un massimo di 47 dati per un numero totale di stazioni pari a 129 con una distribuzione spaziale all'interno della regione che appare omogenea su tutto il territorio.

Per i massimi annuali delle precipitazioni giornaliere, è stato adottato un 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. Il modello proposto ammette che le due componenti, quella straordinaria e ordinaria, appartengano a popolazioni diverse, anche se è ammessa la loro interferenza attraverso un processo poissoniano.

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV ha consentito 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, quindi risultano costanti i due parametri θ^* e Λ^* 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 Λ_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 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.

La preventiva suddivisione dell'area di studio in zone e sottozone omogenee è stata effettuata in base all'analisi delle massime precipitazioni giornaliere, di cui si dispone del maggior numero di informazioni. La procedura prevede che si ricerchino zone pluviometriche omogenee, entro le quali possano ritenersi costanti i valori dei parametri θ^* e Λ^* . Questi parametri non possono essere stimati da un numero ristretto di serie di dati, per cui l'analisi parte dalla possibilità di considerare le 129 stazioni come appartenenti ad un'unica zona al primo livello. I risultati ottenuti dall'analisi del I° livello e II° livello di regionalizzazione sono stati ricavati con riferimento ad un'ipotesi di invarianza dei parametri θ^* e Λ^* .

L'analisi del primo livello suggerisce la presenza di un'unica zona omogenea comprensiva di tutte le stazioni della regione.

Analogamente alla procedura operata al primo livello di regionalizzazione, la successiva verifica dell'ipotesi di un'unica zona omogenea è stata effettuata attraverso il confronto delle distribuzioni di frequenza cumulata dei valori osservati del coefficiente di variazione CV e di quelli generati, ottenendo un ottimo risultato che convalida ulteriormente l'ipotesi di intera regione omogenea con un valore costante di Λ_1 . Alla luce di tali risultati ottenuti è stato possibile evidenziare come l'intero territorio di competenza del compartimento di Bari del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale risulta diviso, al primo e secondo livello, in due sottozone. La prima (Copertino e Fiorentino, 1994), nel seguito definita Puglia Settentrionale, comprende la Capitanata, il Sub-appennino Dauno, il Gargano e l'Alta Murgia, mentre la seconda (Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica del Politecnico di Bari, 2001), definita Puglia Centro Meridionale, include la restante parte del Tavoliere e della Murgia e la Penisola Salentina.

Nelle due tabelle a seguire sono riepilogati i risultati ottenuti in tutta la regione.

	θ^*	Λ^*	Λ_1	η
Puglia Settentrionale	2.351	0.772	44.63	5.662
Puglia Centro meridionale	2.121	0.353	17.55	

Tabella 1 – Parametri regionali della TCEV di I° e II° livello.

	C_a	$\sigma^2(C_a)$	CV	$\sigma^2(CV)$
Puglia Settentrionale	1.66	0.52	1.31	0.554
Puglia Centro meridionale	1.31	0.50	0.45	0.007

Tabella 2 – Asimmetria (C_a) e coefficienti di variazione (CV) osservati.

La distribuzione regionale della probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata $X_{d,T}$ viene espressa in funzione di una quantità K_T , detta *fattore probabilistico di crescita*, funzione del periodo di ritorno T_R e indipendente dalla durata.

Tale fattore è, in generale, funzione del tempo di ritorno T_R ed è definito dal rapporto seguente:

$$K_T = \frac{X_{d,T}}{\mu(X_{d,T_R})} \quad (1)$$

essendo $X_{d,T}$ il massimo annuale di precipitazione per assegnata durata e tempo di ritorno.

La curva di distribuzione di probabilità di tale rapporto ha caratteristiche regionali in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i parametri della distribuzione di probabilità della $X_{d,T}$. Pertanto, fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata, all'interno della zona pluviometrica omogenea previamente identificata, è possibile esprimere la relazione tra il tempo di ritorno T_R ed il fattore di crescita K_T , potendo ritenere trascurabile la variabilità del fattore di crescita con la durata. L'espressione di seguito riportata, è quella indicata nel VAPI Puglia. In realtà non viene fornita l'espressione diretta di K_T in funzione di T , ma l'espressione inversa, nella forma:

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta k / \theta_*})} \quad (2)$$

dove θ^* , Λ^* e Λ_1 , sono i parametri di forma e di scala della TCEV che assieme al valore del parametro η , assumono i valori riassunti nella tabella 1 riportata in precedenza. La risoluzione dell'equazione (2) può essere ottenuta per via numerica e nel seguito si riportano i valori di K_T ottenuti numericamente dalle equazioni precedenti.

Puglia Settentrionale

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
KT	0.91	1.26	1.53	1.81	1.90	2.10	2.19	2.48	2.77	3.15	3.43

Puglia Centro meridionale

T (anni)	5	10	20	30	40	50	100	500	1000
KT	1.26	1.53	1.82	2.00	2.13	2.23	2.57	3.38	3.73

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della (2) in cui, fissato un tempo di ritorno T, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T . Tale risultato tuttavia non è ricavabile immediatamente con la TCEV, per cui si può ricorrere ad espressioni approssimate che hanno la seguente forma (Rossi e Villani, 1995):

$$K_T = \left(\frac{\theta_* \ln \Lambda_*}{\eta} + \frac{\ln \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta_*}{\eta} \ln T \quad (3)$$

che, dati i valori assunti dai parametri della TCEV nelle due regioni omogenee della Puglia, assumono le seguenti espressioni:

$$\text{Puglia Settentrionale} \quad K_T = 0.565 + 0.415 \ln T \quad (4)$$

$$\text{Puglia Centro meridionale} \quad K_T = 0.160 + 0.517 \ln T \quad (5)$$

Va tuttavia osservato che l'uso delle equazioni (4) e (5) comporta alcune approssimazioni: in particolare la (4) determina per precipitazioni con tempo di ritorno superiore a 5 anni, un errore sempre inferiore al 3%, laddove la (5) comporta una sottostima del fattore di crescita, con valori superiori al 10% per $T < 50$ anni e superiori al 5% per $T < 100$ anni. In figura 1 i valori dei coefficienti di crescita K_T delle piogge, ottenuti dall'applicazione rigorosa della (2), sono confrontati con le espressioni analitiche definite dalla (4) e dalla (5).

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

piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica, per ogni sito è possibile legare il valore medio $\mu(X_t)$ dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$\mu(X_d) = ad^n \quad (6)$$

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

Per l'intera regione pugliese si hanno le seguenti zone omogenee di 3° livello:

- nell'area della Puglia settentrionale, il VAPI Puglia fornisce l'individuazione di 4 aree omogenee dal punto di vista del legame fra altezza di precipitazione giornaliera $\mu(X_g)$ e quota. Ognuna di esse è caratterizzata da una correlazione lineare con elevati valori dell'indice di determinazione tra i valori $\mu(X_g)$ e le quote sul mare h (tabella 2):

ZONA 1-3	$\mu(h,t) = at^{(ch+D+\ln\alpha-\ln a)/\ln 24}$
ZONA 2-4	$\mu(h,t) = at^n$

Tabella 3 – Correlazione tra $\mu(X_g)$ e la durata di precipitazione

in cui C e D sono parametri che dipendono dall'area omogenea;

- nell'area centro-meridionale della Puglia, il VAPI fornisce l'individuazione di una analoga dipendenza della precipitazione giornaliera dalla quota sul livello medio mare per le 66 stazioni pluviometriche esaminate nella regione.

Il territorio è suddivisibile in due sottozone omogenee individuate dal Nord-Barese - Murgia Centrale e dalla Penisola Salentina, contrassegnate rispettivamente come zona 5 e zona 6, in continuità con quanto visto in Puglia Settentrionale (Figura 8).

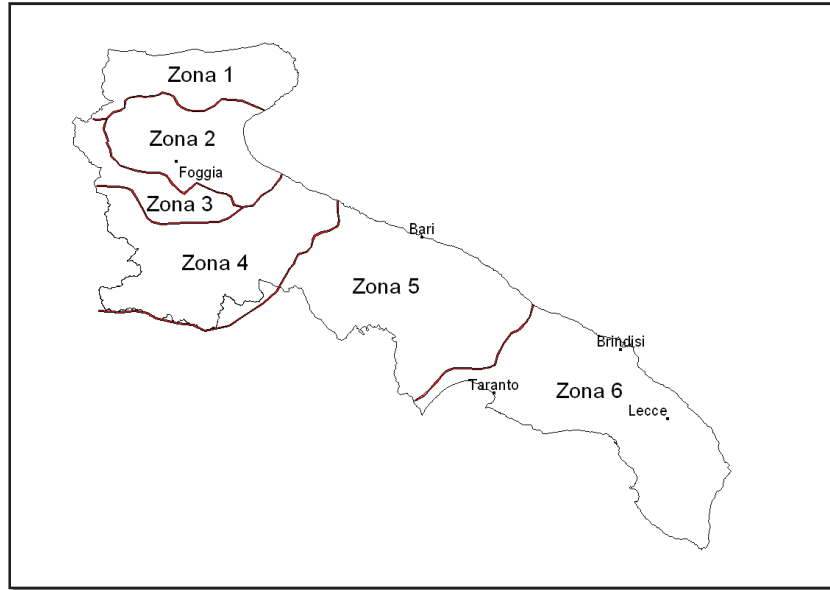


Figura 8 - Regione Puglia: zone omogenee al 3° livello.

Alla luce di quanto fin qui esposto, la relazione che lega l'altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito, per l'area in esame, è generalizzata nella forma:

$$\mu(X_d) = a d^{(CZ+D+\log \alpha - \log \alpha) / \log 24} \quad (7)$$

in cui a è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di $\mu(X_d)$ relativi alle serie ricadenti in ciascuna zona omogenea e $\alpha = x_g/x_{24}$ è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e quelle di durata 24 ore per serie storiche di pari numerosità.

Per la Puglia il valore del coefficiente α è risultato praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89; C e D rappresentano invece i coefficienti della regressione lineare fra il valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota sul livello del mare. Per le sei zone individuate, i valori dei parametri sono riportati nel riquadro a seguire (tabella 4).

Zona	α	a	C	D	N
1	0,89	28,66	0,000503	3,959	-
2	0,89	22,23	-	-	0,247
3	0,89	25,325	0,000531	3,811	-
4	0,89	24,7	-	-	0,256
5	0,89	28,2	0,0002	4,0837	-
6	0,89	33,7	0,0022	4,1223	-

Tabella 4 – Parametri caratteristici delle zone omogenee al III° livello

Quindi, per ottenere l'altezza di precipitazione della zona di interesse si deve moltiplicare il fattore di crescita (K_T) per la precipitazione media:

$$h = K_T \cdot \mu(X_d) \quad (8)$$

6.3. Curve di possibilità climatica

Le procedure di regionalizzazione descritte in precedenza hanno consentito, quindi, di determinare le curve di possibilità climatiche al variare del tempo di ritorno per il bacino imbrifero in esame che ricade interamente nella Zona 1.

Il rapporto VAPI Puglia assegna alla Zona 1 la seguente legge di variazione dei valori medi delle altezze di pioggia dei massimi annuali in funzione della durata dell'evento:

$$\text{zona 1} \quad \mu(X_d) = 28.66 t^{[0.720+0.000503z]/3.178} \quad (8.1)$$

Il passaggio dal valore medio dei massimi annuali, ovvero dalle (8), al valore massimo dell'altezza di pioggia con prefissato tempo di ritorno si effettua utilizzando il *fattore probabilistico di crescita* K_T , descritto in precedenza e i cui valori numerici sono quelli riportati nella tabella relativa alla Puglia Settentrionale, ovvero rivenienti dall'applicazione dell'equazione (4).

Noti quindi i valori delle grandezze riportate in precedenza e quelli dei coefficienti di crescita è quindi possibile definire i valori delle grandezze idrologiche di interesse in corrispondenza di diversi tempi di ritorno.

L'elaborazione dei dati pluviometrici, ha condotto alla determinazione della curva di possibilità climatica (per l'intero bacino B1) per il tempo di ritorno analizzato; si riporta di seguito i dati caratterizzanti tale curva:

- Con un tempo di ritorno $T_r = 200$ anni l'equazione della curva di possibilità climatica (utilizzando il **metodo VAPI**) è la seguente:

$$h = 79.10 \cdot d^{0.338}$$

6.4. Piogge di durata inferiore all'ora

E' noto da letteratura che per calcolare le massime altezze di pioggia di durata inferiore all'ora a partire dal dato disponibile delle altezze massime di durata oraria, si possono prendere a riferimento studi effettuati in altre località italiane. E' noto infatti [Bell, 1969] che i rapporti $r\delta$ tra le altezze di durata δ molto breve e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località.

A partire dalla massima pioggia di durata oraria, si ricavano le corrispondenti altezze di pioggia di durata pari a frazioni di ora mediante l'utilizzo di un opportuno coefficiente correttivo, denominato nel seguito $r\delta$. Tale coefficiente può essere assunto sulla base delle indicazioni disponibili in letteratura tecnica e supportate da ricerche svolte su alcune stazioni di misura italiane appartenenti ad aree pluviometriche con diverse caratteristiche, in particolare i pluviografo di Roma Macao (riportati in "Sistemi di fognatura – Manuale di progettazione" del Centro Studi Deflussi Urbani).

Durata [minuti]	1	2	3	4	5	10	15	30	45
$r\delta$	0,130	0,180	0,229	0,272	0,300	0,462	0,569	0,785	0,913

Coefficienti riduttivi di calcolo per precipitazioni di durata inferiore all'ora

Si è proceduto quindi a calcolare le altezze di pioggia per piogge inferiori all'ora, relativamente alla località di studio.

Tale calcolo è stato effettuato utilizzando:

- il Metodo di "Bell - 1969";
- il Metodo del "rapporto fisso" (Modica et alii, 1970).

Nella tabella seguente si riporta il "valore medio" delle elaborazioni sopra descritte.

Tempo di ritorno	Durata δ (ore)				
	0,03	0,08	0,17	0,25	0,5
Tr = 200	18,41	27,38	36,96	44,28	59,94

Tabella 5 - Altezze di pioggia per piogge di durata inferiore all'ora

7. Valutazione delle portate di piena

La stima delle portate di piena, con assegnato tempo di ritorno, necessita l'utilizzo di metodologie differenti a seconda che, per il caso in studio, sia sufficiente conoscere il colmo dell'idrogramma di piena oppure sia necessario individuare l'intero idrogramma.

In entrambi i casi, il problema può essere risolto in maniera diretta, cioè elaborando le misure di portata disponibili per il bacino in esame, oppure, in maniera indiretta, facendo ricorso o ad equazioni che consentono di ottenere la sola portata al colmo (formula razionale) ovvero a trasformazioni afflussi-deflussi che individuano l'idrogramma di piena corrispondente ad un evento meteorico di data durata ed assegnato tempo di ritorno, e quindi consentono di valutare il volume d'acqua complessivamente coinvolto nell'evento.

I metodi indiretti sono generalmente classificati come empirici e analitici. Mentre quelli empirici prescindono dall'esame che i diversi fattori morfologici e climatici hanno sulla formazione di deflussi di piena, i metodi analitici individuano tutte quelle relazioni che hanno fondamento fisico e che si fondano sull'impostazione, talvolta necessariamente semplificata, di un bilancio idrologico relativo all'evento di piena, tenendo conto della precipitazione a cui è imputabile l'evento stesso.

Nello specifico, utilizzando il software HEC-HMS, si è utilizzato uno dei sette metodi disponibili per la modellazione del processo di formazione dell'onda di piena in un bacino idrografico: nella fattispecie si è utilizzato il metodo del Soil Conservation Service.

7.1. Stima del tempo di corrivazione

La durata della precipitazione che viene considerata *critica*, cioè che è in grado di mettere in crisi la rete idrografica perché per essa si raggiunge il valore più elevato di portata, dipende dall'estensione del bacino stesso poiché il tempo che impiega ogni particella liquida nel seguire il suo percorso idraulico fino alla sezione di chiusura, impiega, a parità di velocità di scorrimento, un tempo tanto maggiore quanto più lungo è il percorso che deve seguire.

Questo intervallo di tempo viene definito mediante un *tempo caratteristico*, tra quelli più utilizzati per definire l'evento di piena si ha il *tempo di corrivazione* (t_c) che è un parametro fondamentale che consente di identificare un primo aspetto del comportamento idrologico di un bacino; esso è generalmente definito come il tempo necessario alla goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino per raggiungere la sezione di chiusura dello stesso. Nelle applicazioni viene utilizzato il *tempo di corrivazione del bacino* t_c , cioè il tempo necessario alla goccia di pioggia che cade nel punto *idraulicamente* più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino. Sulla base di questa definizione comunemente adottata il tempo di corrivazione si assume che la piena si verifica quando la pioggia ha una durata almeno pari al tempo di corrivazione.

Un altro tempo caratteristico dell'evento di piena è il *tempo di ritardo* t_L (*lag time*), generalmente definito come la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza di un evento di piena, e il baricentro del pluviogramma netto. Il Soil Conservation Service (SCS) americano ha dedotto, empiricamente, che il rapporto t_L/t_c è pari a 0.6.

Una relazione frequentemente utilizzata per il calcolo di tale grandezza è quella proposta da Pezzoli (1970) che, analizzando il comportamento di alcuni bacini piemontesi, ha proposto, una espressione del tempo di corrivazione che ha la seguente forma:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_a}}$$

nella quale t_c è espresso in ore e L in km. Il parametro i_a rappresenta la pendenza media (m/m) dell'asta principale.

Una altra formula molto utilizzata che viene fuori dalla unione di diverse formulazioni di alcuni autori (Pezzoli, Chow, Watt & Chow, Kirpich) può essere ben rappresentato da un'unica espressione (Ferro, Sistemazione dei Bacini Idrografici, McGraw Hill, 2002), che integra tutti i contributi sperimentali derivanti dalle esperienze condotte, ed ha la seguente equazione, nel seguito denominata P-C-W-K:

$$t_c = 0.02221 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.8}$$

nella quale t_c è espresso in minuti e L in metri.

Si ricorda infine la formulazione del *Soil Conservation Service (NRCS SCS)*:

$$t_c = 0.57 \frac{100L_p^{0.8} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{\sqrt{P_b}}$$

studiata nei piccoli bacini rurali nord americani che, nei nostri contesti tende a sottostimare leggermente il valore del tempo di corrivazione. L è espresso in Km; t_c in ore.

La stima del tempo di corrivazione è sempre piuttosto controversa, soprattutto a causa delle inevitabili approssimazioni indotte per ogni metodo di calcolo e dalla mancanza di misure dirette. Pertanto in questo lavoro si è voluto eseguire una cernita tra i vari tempi di corrivazione calcolati rispetto a quelli effettivamente utilizzati, facendo riferimento ai limiti di applicazione, primo fra tutti l'estensione del bacino. Tra i tempi di corrivazione utilizzabili per ogni specifico bacino si è poi utilizzato sempre cautelativamente utilizzato il valore minore.

Nello presente studio, come già anticipato nel par. 6.1, si è provveduto all'assunzione del valore medio statistico ricavato da una serie di formulazioni e cioè: Formula di Giandotti (come modificata da Aronica e Paltrinieri), Formula di Ventura, Formula di Viparelli, Formula di Kirpich - Watt-Chow e Pezzoli, Formula dell'SCS.

Nella tabella seguente vengono indicati i risultati di tale analisi, per il bacino in esame:

Bacino	Area (km ²)	H _{max} (m)	t _c (h)	t _c (min)	Lag time (min)
B1	0,12	766	0,24	14,4	8,6

Tabella 6 – Tempo di corrivazione del bacino

7.2. Stima del coefficiente di deflusso – Metodo del Curve Number

Il coefficiente di deflusso è stato individuato utilizzando il metodo del *Curve Number* (CN), sviluppato dal *Soil Conservation Service* americano (SCS).

Tale metodo si colloca a metà strada fra i modelli basati sul calcolo delle perdite per infiltrazione in un punto, quindi coerentemente utilizzabili in approcci distribuiti e semidistribuiti, ed i modelli formulati in maniera da essere specificatamente utilizzati in approcci integrati, secondo la teoria esposta di seguito. Il metodo CN si basa su una semplice equazione di bilancio fra i valori cumulati nel tempo, a partire dall'inizio dell'evento di precipitazione, della pioggia $P(t)$, del deflusso superficiale $Q(t)$, delle perdite iniziali $I_a(t)$ prima della produzione di deflusso e di quelle successive $I(t)$:

$$P(t) = I_a(t) + I(t) + Q(t)$$

esprese in termini di volume per un'unità di area, ovvero di un'altezza (mm).

L'ipotesi di base del metodo è che il rapporto fra il volume di deflusso ed il volume di pioggia depurato delle perdite iniziali rimanga, ad ogni istante, uguale al rapporto tra il volume delle perdite successive ed il volume massimo teorico delle perdite (a saturazione), indicato con il simbolo S:

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{I}{S}$$

Viene inoltre supposto che le perdite iniziali siano proporzionali alle perdite massime possibili S (a saturazione):

$$I_a = \beta S$$

con valori tipici di β compresi tra 0,1 e 0,3.

Il nucleo fondamentale di tutto il metodo è costituito dal parametro S, che a sua volta viene espresso in funzione di un indice adimensionale CN, detto appunto *curve number*, che a sua volta viene tabulato in funzione del tipo di suolo, per tenere conto delle capacità di infiltrazione, e dell'uso del suolo, che influenzerà sia l'ammontare della quota delle perdite iniziali dovute a intercettazione che la capacità di infiltrazione stessa del suolo.

I valori CN hanno come limite inferiore 0 (superficie totalmente permeabile, con nessuna produzione di deflusso) e come limite superiore 100 (superficie totalmente impermeabile, con

nessuna perdita e deflusso uguale alla precipitazione). Il termine *curve number* deriva dal fatto che a ciascun valore di CN corrisponde una diversa curva che rappresenta il rapporto tra i volumi di deflusso e di precipitazione (*coefficiente di deflusso cumulato*) in funzione del volume della precipitazione.

Definendo il coefficiente di deflusso come:

$$C = Q / P$$

Dove:

Q (mm) è il deflusso di piena

P (mm) è l'afflusso meteorico

Il coefficiente di afflusso viene fatto dipendere dall'afflusso meteorico P, secondo l'espressione:

$$C = \frac{(1 - 0.2 K)^2}{(1 + 0.8 K)}$$

dove

$$K = S / P$$

dipende dalla grandezza S (mm), definita *ritenzione potenziale* del bacino, che risulta funzione, attraverso "run-off curve number" (CN), della tessitura e dell'umidità iniziale del suolo, della sua copertura vegetale, ecc., secondo l'espressione:

$$S = 254 \left[\frac{100}{CN} - 1 \right]$$

I valori dell'indice CN sono tabulati in letteratura per differenti tipi di copertura del suolo, diverse caratteristiche del terreno e per condizioni medie di umidità iniziale del suolo (condizione II), secondo 4 gruppi principali di terreno:

- *gruppo A*: terreni sabbiosi molto permeabili
- *gruppo B*: terreni franchi moderatamente permeabili, depositi sabbiosi superficiali;
- *gruppo C*: terreni franco – limosi poco permeabili: argille di medio impasto, ad elevato tenore di argilla;
- *gruppo D*: terreni argillosi quasi impermeabili.

Le condizioni di umidità iniziale del suolo risultano 3:

- *condizione I*: il terreno è secco pur senza raggiungere il punto di appassimento e le colture o la vegetazione sono ben sviluppate;

- *condizione II*: il terreno è mediamente umido;
- *condizione III*: il terreno è saturo di umidità a causa di intense precipitazioni con almeno 53 mm di altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti l'evento considerato; nella stagione fredda si considera raggiunta la saturazione dopo 28 mm di pioggia in 5 giorni.

Le relazioni tra le condizioni medie CN II e la condizione I e III sono basate sulle seguenti relazioni semplificate:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}}$$

Nel caso in esame, quindi, il valore del Curve Number (CN) è stato determinato in funzione del tipo di copertura ed uso del suolo e del tipo di permeabilità del suolo.

Le classi di uso del suolo sono state riclassificate ed accorpate per consentire una razionale attribuzione dei valori CN. Le classi di uso del suolo così ottenute sono riportate nella Tabella 7.

In base alle informazioni sul tipo idrologico di suolo e sull'uso del suolo si è quindi proceduto a stabilire i criteri di corrispondenza con la classificazione del metodo SCS-CN al fine di ottenere il parametro CN per ogni cella considerata.

Per definire in maniera cautelativa la risposta idrologica del bacino in funzione del tempo di ritorno di progetto si è deciso di verificare i risultati attribuendo la condizione del CN più cautelativa (condizione III).

Categorie di uso del suolo	A	B	C	D
Acquaculture	100	100	100	100
Altre colture permanenti	62	71	78	81
aree a pascolo naturale, praterie, incolti	68	79	86	89
aree a ricolonizzazione artificiale (rimboschimenti nella fase di novelleto)	45	66	77	83
aree a ricolonizzazione naturale	45	66	77	83
aree a vegetazione sclerofilla	45	66	77	83
Aree aeroportuali ed eliporti	77	85	90	92
Aree agroforestali	45	66	77	83
Aree archeologiche	77	86	91	94

Aree con vegetazione rada	68	79	86	89
Aree estrattive	0	0	0	0
Aree interessate da incendi o altri eventi dannosi	45	66	77	83
Aree per gli impianti delle telecomunicazioni	77	85	90	92
Aree portuali	98	98	98	98
Aree prevalentemente occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali	62	71	78	81
Aree sportive (calcio, atletica, tennis, ecc.)	49	69	79	84
Aree verdi urbane	46	65	77	82
Bacini con prevalentemente utilizzazione per scopi irrigui	100	100	100	100
Bacini senza manifeste utilizzazioni produttive	100	100	100	100
Boschi di conifere	36	60	73	79
Boschi di latifoglie	36	60	73	79
Boschi misti di conifere e latifoglie	36	60	73	79
Campeggi, strutture turistiche ricettive a bungalows o simili	49	69	79	84
Canali e idrovie	100	100	100	100
Cantieri e spazi in costruzione e scavi	77	85	90	92
Cespuglieti e arbusteti	45	66	77	83
Cimiteri	61	75	83	87
Culture orticole in pieno campo in serra e sotto plastica in aree irrigue	72	81	88	91
Culture orticole in pieno campo in serra e sotto plastica in aree non irrigue	72	81	88	91
Culture temporanee associate a colture permanenti	62	71	78	81
Depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri di autoveicoli	89	92	94	95
Discariche e depositi di cave, miniere, industrie	77	86	91	94
Estuari	100	100	100	100
Fiumi, torrenti e fossi	100	100	100	100
Frutteti e frutti minori	67	78	85	89
Grandi impianti di concentrazione e smistamento merci	89	92	94	95
Insedimenti ospedalieri	81	88	91	93
Insedimenti produttivi agricoli	77	85	90	92
Insedimento commerciale	89	92	94	95
Insedimento degli impianti tecnologici	81	88	91	93
Insedimento dei grandi impianti di servizi pubblici e privati	89	92	94	95
Insedimento in disuso	61	75	83	87
Insedimento industriale o artigianale con spazi annessi	81	88	91	93
Lagune, laghi e stagni costieri	100	100	100	100
Paludi interne	100	100	100	100
Paludi salmastre	100	100	100	100
Parchi di divertimento (acquapark, zoosafari e simili)	49	69	79	84
Prati alberati, pascoli alberati	49	69	79	84
Reti ed aree per la distribuzione, la produzione e il trasporto dell'energia	89	92	94	95
Reti ferroviarie comprese le superfici annesse	76	85	89	91
Reti stradali e spazi accessori	98	98	98	98
Rocce nude, falesie e affioramenti	77	86	91	94
Saline	100	100	100	100

Seminativi semplici in aree irrigue	63	75	83	87
Seminativi semplici in aree non irrigue	65	76	84	88
Sistemi colturali e particellari complessi	72	81	88	91
Spiagge, dune, sabbie	49	69	79	84
Suoli rimaneggiati e artefatti	77	86	91	94
Superfici a copertura erbacea densa	49	69	79	84
Tessuto residenziale continuo antico e denso	89	92	94	95
Tessuto residenziale continuo, denso più recente e basso	89	92	94	95
Tessuto residenziale continuo, denso, recente e alto	89	92	94	95
Tessuto residenziale discontinuo	77	85	90	92
Tessuto residenziale rado e nucleiforme	61	75	83	87
Tessuto residenziale sparso	57	72	81	86
Uliveti	67	78	85	89
Vigneti	67	78	85	89

Tabella 7 – Determinazione dei valori del Curve Number per le categorie di uso del suolo della CTR Puglia.

Nella tabella seguente si riporta il valore del CN calcolato per il bacino oggetto di studio.

Bacino	CN (III)
B1	83

Tabella 8 – Valore del Curve Number per il bacino studiato

8. Studio idrologico mediante il software HEC-HMS

Il software HEC-HMS, *Hydrologic Modeling System*, è un modello idrologico messo a punto dall'*Hydrologic Engineering Center* dell'USACE (*US Army Corps of Engineers*) per l'esecuzione di modellazioni idrologiche sia di bacini idrografici che in ambito urbano. Al suo interno sono implementate le principali formulazioni utilizzate nella pratica idrologica per il calcolo delle perdite per infiltrazione e, quindi, del volume di *run-off*, per la trasformazione afflussi-deflussi con possibilità di considerare anche il contributo del deflusso di base, per la propagazione dell'onda di piena nei canali, per la descrizione di invasi naturali o artificiali, ... (USACE, 2000).

Tale software permette, quindi, di descrivere quantitativamente la trasformazione delle piogge in deflussi superficiali sulla superficie di un bacino imbrifero e in correnti idriche che confluiscono e si propagano lungo i suoi collettori drenanti.

Vengono di seguito presentate le diverse fasi di implementazione del software attraverso i seguenti passaggi procedurali:

- ❖ Definizione dei componenti del sistema idrografico
- ❖ Individuazione della metodologia di stima delle perdite di bacino
- ❖ Impostazione della trasformazione afflussi-deflussi
- ❖ Definizione dei parametri di propagazione dei deflussi
- ❖ Analisi meteorologica
- ❖ Trasformazione afflussi-deflussi
- ❖ Taratura dei parametri idrologici

Attraverso il modulo BASIN MODEL viene definita la caratterizzazione fisica del bacino idrografico. Ciascuno degli elementi idrologici che compongono il sistema in esame può essere definito compiutamente dal punto di vista fisico-morfologico e idrologico mediante uno specifico *editor*. Gli elementi idrologici simulabili sono: SUBBASIN (sottobacino), JUNCTION (confluenza), REACH (tratto di corso d'acqua), RESERVOIR (bacino di invaso o serbatoio), DIVERSION (scolmatore o diversivo), SOURCE (sorgente) e SINK (pozzo). Ciascun elemento viene connesso in una rete ad albero. In ogni sottobacino i processi idrologici vengono modellati distinguendo tre fasi: le perdite iniziali, la trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali e il processo del deflusso subsuperficiale, o deflussi di base. Devono essere specificati i metodi di calcolo per ciascuna delle

tre fasi sopra indicate (LOSS METHOD, TRANSFORM METHOD e BASEFLOW METHOD). Per quanto riguarda il calcolo delle perdite di bacino, il programma mette a disposizione 10 metodi, tra cui il metodo SCS-CN, utilizzato nel presente lavoro.

In base al metodo scelto è necessario specificare i parametri idrologici. Per il metodo SCS-CN è necessario specificare il coefficiente CN, le perdite iniziali (I_a) e la percentuale di impermeabilità. Relativamente ai metodi di calcolo della trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali il codice di calcolo consente di applicare sette diversi metodi. Quello utilizzato nel presente studio è il metodo del *Soil Conservation Service-Unit Hydrograph* (SCS-UH) che ha il pregio di essere di applicazione generale e di richiedere 1 solo parametro per la sua definizione: il tempo di ritardo (Lag). Esso rappresenta il tempo di risposta medio del bacino definito come lo sfasamento tra il centroide dello ietogramma di pioggia effettiva e quello dell'idrogramma di deflusso diretto (Singh, 1975; 1988). Inoltre possono essere computati i deflussi sub superficiali che contribuiscono alla formazione dei deflussi superficiali con 5 diversi metodi.

Dopo aver inserito la geometria del bacino ed aver specificato i parametri per la modellazione dei processi idrologici, devono essere inseriti i dati di pioggia registrati dalle varie stazioni pluviometriche nel periodo in esame ovvero utilizzare i dati del progetto VAPI. Si tratta, in buona sostanza di inserire gli ietogrammi di riferimento per ognuno dei bacini e/o sottobacini presenti nel modello implementato.

Nel presente studio è stato determinato, per il tempo di ritorno considerato ($TR=200$ anni), l'altezza totale di pioggia in funzione della durata dell'evento pluviometrico considerato.

La simulazione idrologica vera e propria viene quindi effettuata combinando il modello morfologico del bacino definito nel componente BASIN MODEL con i dati pluviometrici introdotti nel METEOROLOGICAL MODEL e con una ulteriore variabile, che consiste nella definizione, tramite il componente CONTROL SPECIFICATION, dell'intervallo di tempo per il quale effettuare la simulazione, nonché della discretizzazione temporale di calcolo.

I risultati delle simulazioni effettuate possono essere visualizzati sia tramite tabelle riassuntive che tramite grafici e serie numeriche complete dell'intero processo di formazione e trasferimento dei deflussi superficiali. Una volta esaminati i risultati ottenuti dalla simulazione idrologica, è possibile procedere alla loro taratura. Tale processo può essere effettuato sia manualmente, andando ad agire sui singoli parametri caratteristici del reticolo idrografico in esame, sia applicando una procedura di ottimizzazione presente all'interno del codice di calcolo e

accessibile tramite la funzione OPTIMIZATION MANAGER, basata sui valori di portata riferiti ad almeno un evento di riferimento rispetto al quale effettuare la taratura.

8.1. Applicazione del modello HEC-HMS al caso di studio

Il modello HEC-HMS è stato implementato per verificare le portate di deflusso per il bacino di studio (B1), in relazione al tempo di ritorno stabilito dalle NTA del PAI (TR=200 anni) per la verifica della sicurezza idraulica.

Di seguito la semplice schematizzazione del bacino studiato.

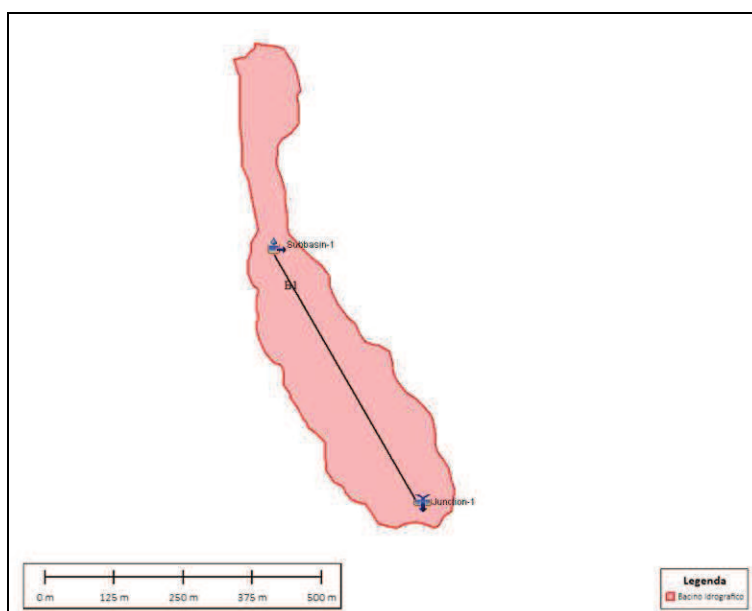


Figura 9 – Schematizzazione del bacino idrografico nel modello HEC-HMS 4.2

Una volta definita la geometria da utilizzare all'interno del modello sono stati calcolati tutti i parametri necessari, già descritti ai paragrafi precedenti:

- sottobacini
 - calcolo delle perdite con il metodo SCS-CN: per la definizione del Curve Number sono state utilizzate sia la carta dei gruppi idrologici dell'Adb Puglia che la Carta di Uso del Suolo 2011 della Regione Puglia. Come già detto sono state considerate le condizioni AMC III, quindi CN(III) (suolo saturo) per ogni bacino / sottobacino.

Il valore di I_a non è stato calcolato, come suggerito dall'SCS come $I_a=0.2 S$, bensì è stato imposto, a vantaggio della sicurezza, pari ad un valore fisso e cioè pari a 3mm.

La percentuale di impermeabilità del suolo è stata assunta uguale allo 0% per l'intero bacino.

- calcolo della trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali fatto in riferimento all'idrogramma del *Soil Conservation Service* per tutti i sottobacini in esame (SCS-UH). I valori del tempo di ritardo (Lag), immessi nel modello oggetto del presente studio, sono stati ricavati tramite la seguente espressione: $T_r = 0.6 T_c$ con T_c = tempo di corrivazione del bacino;
- calcolo dello ietogramma di progetto per il TR di progetto (200 anni): come noto, lo ietogramma indica la variazione dell'intensità della pioggia col tempo nel corso dell'evento meteorico preso in considerazione. In considerazione delle finalità del presente studio e delle modeste dimensioni del bacino, si è calcolato, uno ietogramma costante di durata pari a 15 minuti.

8.2. Risultati simulazione HEC-HMS

Di seguito si riporta una tabella che indica le portate di deflusso, espresse in m^3/s , nella sezione di chiusura (confluenza nel torrente di Vignanotica) in relazione a TR=200 anni, così come fornite dal software HEC-HMS.

Durata evento (ora)	TR (anni)	portata generata (m^3/s)	Time of peak (min)
1,0h	200	2,4	00,20

Di seguito si riporta, in forma grafica, sia l'idrogramma di piena calcolato che lo ietogramma di pioggia inserito, così come calcolati dal software HEC-HMS. Tali dati serviranno, come dati di input, per l'analisi bidimensionale in moto vario con HEC-RAS.

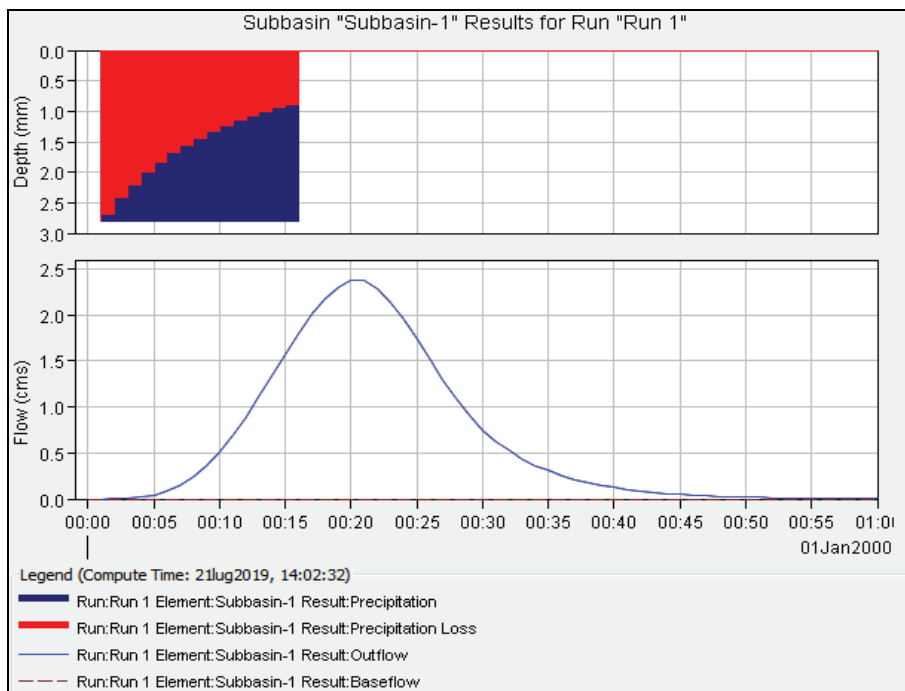


Figura 10 – Ietogramma e idrogramma di progetto per TR= 200 anni

9. ANALISI IDRAULICA BIDIMENSIONALE CON IL SOFTWARE HEC-RAS 5.0.x

La modellazione della propagazione delle acque piovane sul bacino di studio è stata eseguita utilizzando il software HEC-RAS basato su un modello idrodinamico bidimensionale largamente utilizzato su base mondiale il cui utilizzo è largamente consolidato anche in Italia.

Il software HEC-RAS ha aggiunto, già da qualche anno, la capacità di eseguire uno schema di modellazione bidimensionale all'interno della simulazione condotta in regime di moto vario. Gli utenti possono quindi eseguire una modellazione in moto vario con schema monodimensionale (1D) combinato anche con uno schema quasi-bidimensionale e/o bidimensionale puro (2D) con l'aggiunta di un'area 2D nel modello nello stesso modo come si farebbe per aggiungere una cella d'accumulo (*storage area*) nel modello quasi-bidimensionale. Un'area 2D viene aggiunta nel modello disegnando un poligono 2D, definendo il modello digitale del terreno e quindi agganciando l'area 2D al modello monodimensionale attraverso l'uso di uno sfioratore laterale (*lateral structure*).

Le caratteristiche principali dell'algoritmo di modellazione della nuova versione sono:

- *Modellazione combinata 1D e 2D* che prevede la possibilità di eseguire una simulazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario che permettendo di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando la modellazione 1D per l'alveo, e la modellazione 2D aree inondabili esterne.
- *Equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D*: Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.
- *Algoritmo di soluzione ai volumi finiti*: Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare *step* temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti

fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi agli elementi finiti.

- *Algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D:* Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo permettendo una perfetta coerenza a ogni step tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra dell'argine o attraverso la breccia.
- *Maglie computazionali strutturate e non strutturate:* Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturati o non strutturati. Ciò significa che le cellule computazionali possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono.
- *Tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo:* All'interno di HEC-RAS le celle e le facce delle celle si basano sui dati del terreno sottostante (DTM). Ogni cella della maglia computazionale è pre-elaborata per sviluppare dei grafici dettagliati sulle proprietà idrauliche basate sul terreno sottostante che vengono utilizzati nella modellazione di HEC. Inoltre, ogni faccia delle celle viene valutata come una sezione trasversale dove vengono elaborate in tabelle che descrivono le proprietà idrauliche. Il flusso si muove in tutta la faccia (tra le celle) basandosi su questi dati. Questo permette agli utenti di utilizzare delle celle molto grandi senza però perdere troppo il dettaglio del terreno sottostante che governa il movimento del flusso. Il vantaggio è un minor numero di calcoli e quindi tempi di esecuzione molto più veloci.
- *Dettagliata mappatura dello scenario degli allagamenti con animazioni:* La perimetrazione delle aree allagabili così come le animazioni dello scenario degli allagamenti in funzione del tempo può essere fatta all'interno di HEC-RAS utilizzando le funzionalità di RAS-Mapper. La mappatura delle aree allagate si basa sul DTM, ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli della morfologia del terreno sottostante e non sulla dimensione della cella di calcolo. Le celle quindi possono anche essere parzialmente bagnate/asciutte.

- *Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore:* Il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore presenti sui computer moderni (architettura parallela). In questo l'algoritmo di soluzione presenta una maggiore velocità e quindi i computer dotati di più processori saranno in grado di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore.

Nel caso di studio, in considerazione del variabile grado di incisione del reticolo idrografico studiato, si è preferito l'utilizzo di una simulazione bidimensionale pura, in alternativa alla modellazione combinata 1d/2d.

Nel presente studio si è utilizzata la versione 5.0.7 di HEC-RAS.

9.1. Modellazione del terreno

Ai fini di una corretta modellazione idraulica in campo bidimensionale il primo *step* fondamentale è la generazione di un corretto e dettagliato modello del terreno, che sarà la discriminante principale degli *output* relativi all'estensione delle aree inondabili e ai livelli raggiunti dall'acqua in queste ultime.

Il software prevede una sezione dedicata per l'inserimento dei file che descrivono il modello del terreno, il *RAS Mapper*. Il primo passo è adottare uno specifico sistema di riferimento spaziale nella sezione *Set Projection* all'interno dei *Tools*, inserendo un file con estensione ".prj". Successivamente vengono caricati i *files* relativi al terreno scegliendo tra i formati *FLT*, *GeoTiff* o *ESRI* sempre all'interno dei *Tools* nella sezione *New Terrain Layer*.

Nel nostro caso si è utilizzato il LIDAR del Ministero dell'Ambiente con risoluzione di 1m.

9.2. Sviluppo del 2D Computational Mesh e creazione del dominio di calcolo

La modellazione 2D in HEC-RAS utilizza uno schema di soluzione ai Volumi finiti. Questo algoritmo è stato sviluppato per consentire l'uso di una maglia di calcolo sia strutturata che non strutturata. Ciò significa che la maglia di calcolo può essere una miscela di celle con 3, 4, 5 e 6 lati. L'utente può comunque selezionare una risoluzione da utilizzare per scomporre il dominio di calcolo in celle utilizzando gli strumenti automatici presenti all'interno. La maglia di calcolo 2D è sviluppata in HEC-RAS effettuando le seguenti operazioni:

- Tracciare il poligono di contorno dell'area 2D
- Creazione della maglia di calcolo 2D
- Modifica/Rettifica della maglia di calcolo 2D
- Caricamento del DTM
- Associazione del DTM con la geometria
- Esecuzione del pre-processore geometrico 2D

Ovviamente i tempi computazionali per effettuare la simulazione sono direttamente legati alle dimensioni della *mesh* di calcolo e all'estensione del poligono dell'area 2D.

Nel nostro studio sono state eseguite varie simulazioni con diverse dimensioni delle mesh di calcolo e diversi intervalli computazionali. Per ogni simulazione si è verificata la congruenza geomorfologica dei risultati e il *Computation Log File* di RAS che fornisce indicazioni sugli errori di calcolo. I risultati migliori sono stati ottenuti con una mesh di calcolo di 1 x 1 m ed un intervallo computazionale di 0.1 sec. Gli errori calcolati da RAS sono dell'ordine dello 0.1%.

9.3. Condizioni al contorno

Nell'implementazione di un modello di calcolo bidimensionale è essenziale definire nel modo più corretto le condizioni al contorno; proprio per questo motivo per sopperire a una non corretta conoscenza delle condizioni al contorno in genere si provvede ad estendere il dominio di calcolo in modo opportuno in modo da svincolare il funzionamento del modello nell'area di maggiore interesse rispetto a quello che avviene in corrispondenza dei contorni del dominio dove vengono imposte le condizioni al contorno. Per questo motivo, nel caso oggetto di studio si è

prestata particolare attenzione nella definizione del dominio di calcolo in modo che fosse sufficientemente esteso, sia a monte che a valle.

Come condizioni al contorno in ingresso al modello è stato utilizzato l'idrogramma di flusso calcolato con HEC-HMS per il sottobacino B1 mentre a valle si è imposta la classica condizione di *Normal Depth*. Per consentire una maggiore accuratezza dei risultati, si è ritenuto opportuno dettagliare il dominio di calcolo assegnando un valore di scabrezza variabile in relazione all'uso del suolo.

9.4. Creare una variabilità spaziale del Manning.

Per una simulazione più accurata dopo avere generato e inserito all'interno del programma il terreno digitalizzato può essere utile associare a quest'ultimo e quindi alle aree 2D dei valori di scabrezza variabili che simulino l'eterogeneità reale delle aree inondabili nei confronti del deflusso. Questa variabilità spaziale viene creata mediante uno *shapefile* e inserita all'interno di HEC-RAS nel RAS Mapper. Successivamente mediante l'apposita finestra si assegnano i vari *land use* alle singole aree.

In figura 11 si possono osservare i vari *land use* (uliveti, aree a vegetazione sclerofila, ecc.) a cui corrispondono diversi valori di scabrezza che andranno a modificare le caratteristiche del deflusso all'interno della simulazione, come ad esempio la velocità dell'acqua.

In figura 12 si riportano, invece, i valori di scabrezza di Manning assegnati ad ogni *land use*.



Figura 11 – land Use

Color	Value	Name	Default Manning's n
	0	nodata	
	1	aree a pascolo naturale, pra...	0.03
	2	aree a ricolonizzazione natu...	0.06
	3	boschi di latifoglie	0.12
	4	cespuglieti e arbusteti	0.05
	5	prati alberati, pascoli alberati	0.05
	6	reti stradali e spazi accessori	0.02
	7	rocce nude, falesie e affiora...	0.04

Figura 12 – Variabilità del Manning delle aree 2d

9.5. Risultati modellazione bidimensionale

La simulazione effettuata con riferimento al tempo di ritorno imposto (200 anni) ha permesso di individuare con maggiore dettaglio lo scenario degli allagamenti nella zona. In tutto il dominio di studio e nel bacino idrografico di interesse tutti gli scenari evidenziano un deflusso generalmente coincidente con il reticolo idrografico. I battenti nell'alveo, prossimo all'impianto di sollevamento, sono dell'ordine di pochi centimetri.

Come già detto, è opportuno ricordare che sono state eseguite diverse simulazioni facendo variare sia le dimensioni delle mesh di calcolo (da 2x2m a 1x1m) oltre che l'intervallo computazionale (da 2 secondi a 0.1 sec.) in modo da essere certi che l'errore relativo calcolato dal software fosse sempre via via più basso e che quindi venisse garantita la stabilità del modello.

Tutti gli output successivi sono stati calcolati con mesh di calcolo di 1x1m e intervallo computazionale di 0.1 sec. Nelle Figg. 13 e 14 si visualizzano le mappe dei battenti e delle velocità per l'intera asta fluviale; nelle successive Figg. 15 e 16 si visualizza un dettaglio delle figure precedenti relativamente all'area di interesse.

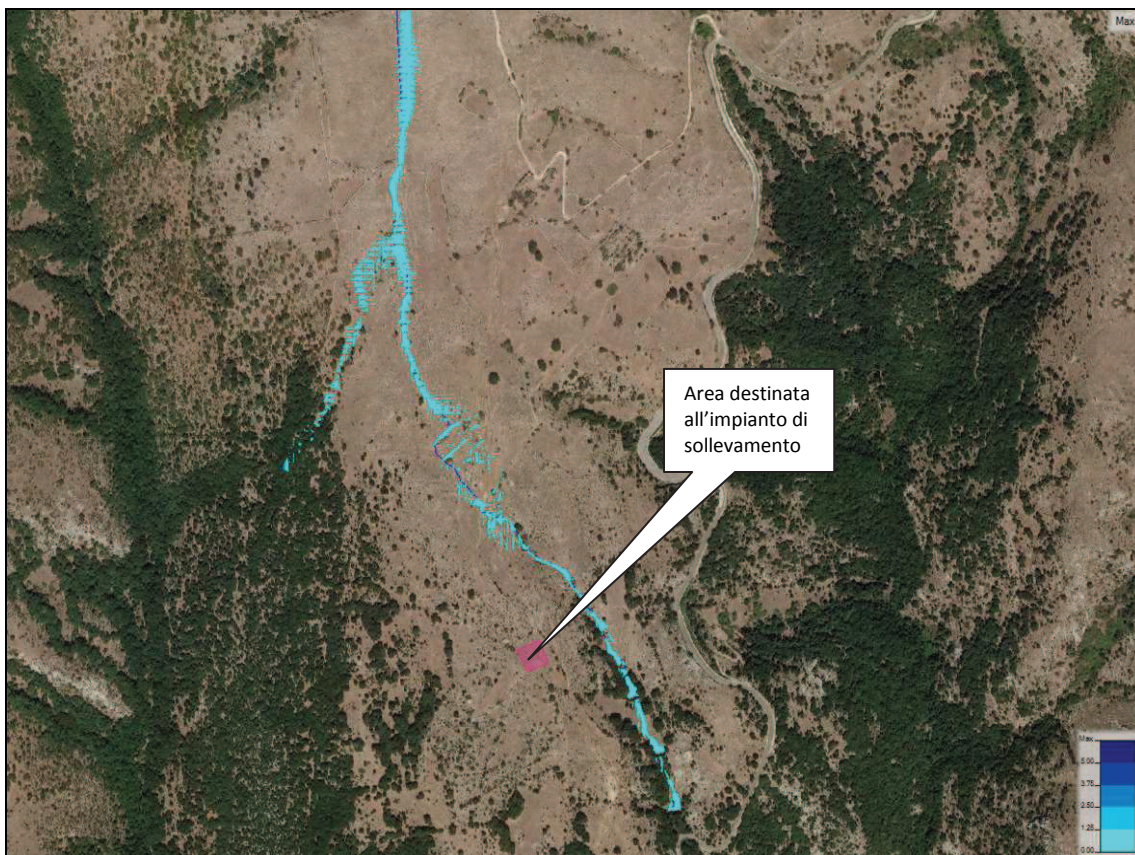


Figura 13 – risultato simulazione Depth per TR=200

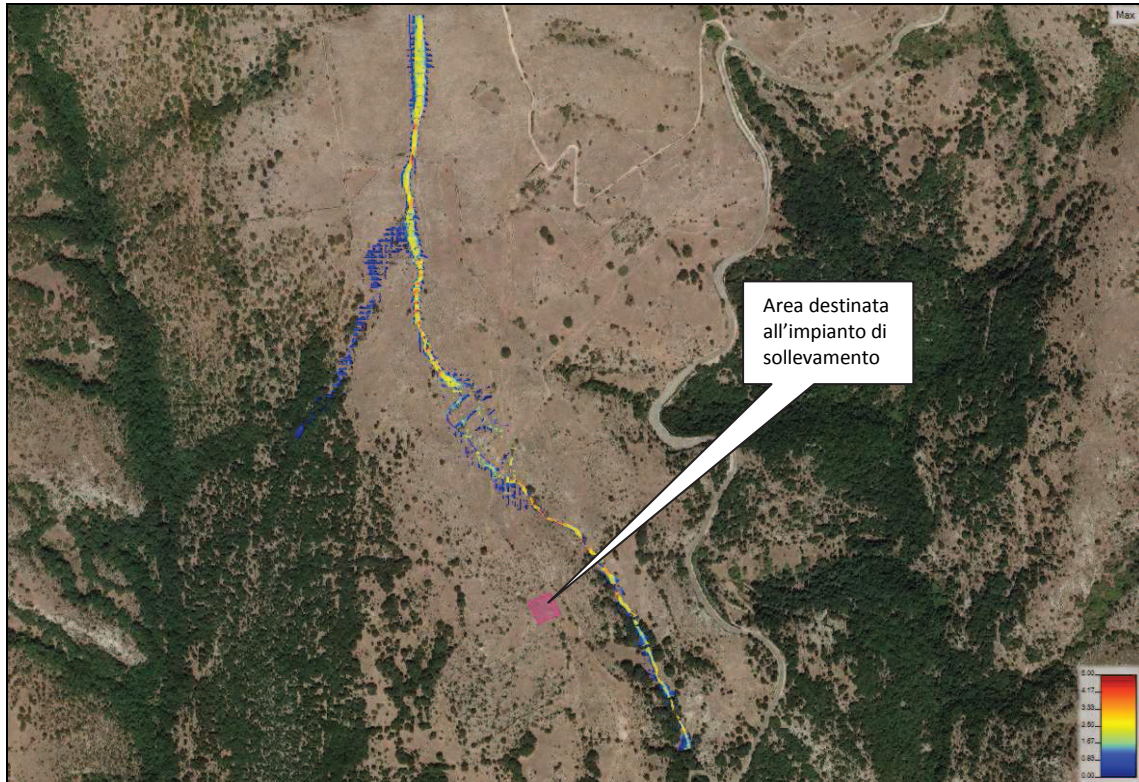


Figura 14 – risultato simulazione Velocity per TR=200



Figura 15 – dettaglio area "impianto di sollevamento". Risultato simulazione Depth per TR=200

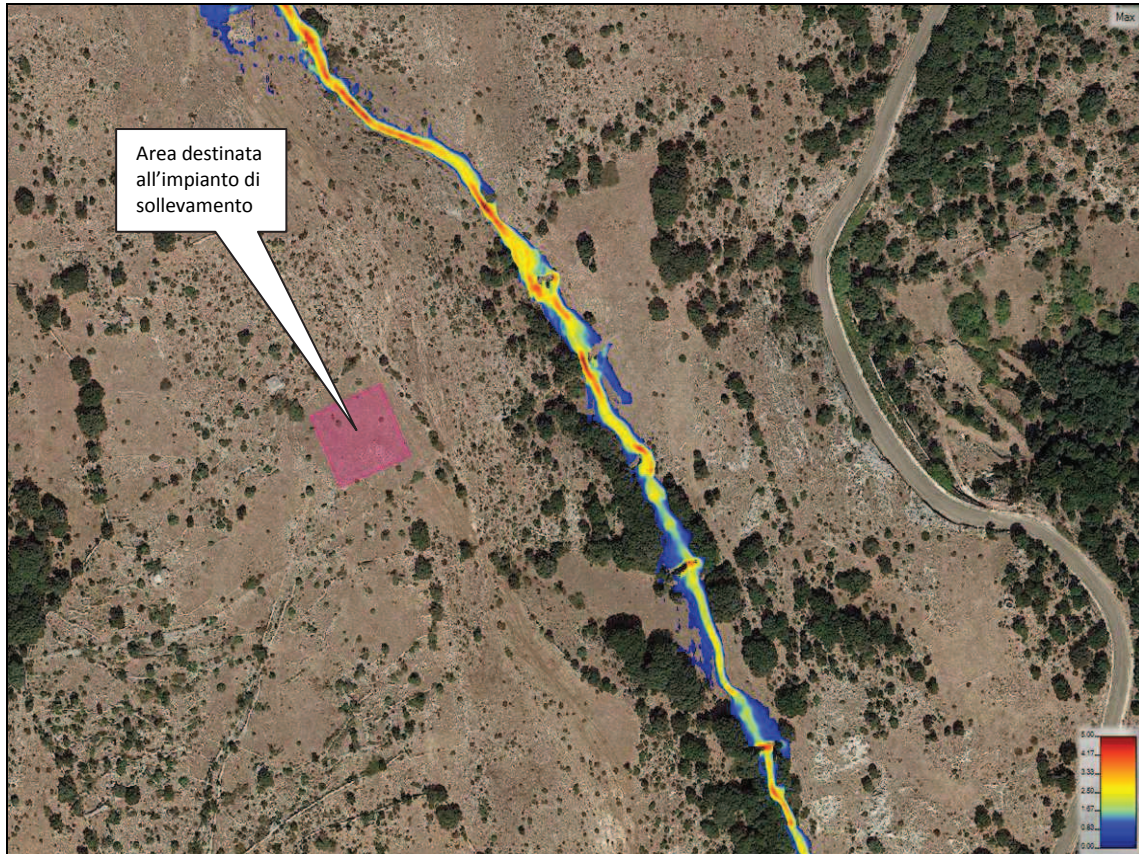


Fig. 16 – dettaglio area “impianto di sollevamento. Risultato simulazione Velocity per TR=200

Come è possibile notare, l’area di realizzazione dell’impianto di sollevamento risulta esterna all’area allagabile.

9. CONCLUSIONI

Il presente studio è stato condotto al fine di eseguire verifiche idrologiche ed idrauliche di un piccolo bacino idrografico presente in agro del Comune di Monte Sant'Angelo (FG) allo scopo di valutare la sicurezza idraulica dell'area dove, in relazione al progetto per la **Realizzazione di un acquedotto rurale a servizio delle comunità agricole presenti sul territorio montano di Monte Sant'Angelo (FG)**, è prevista la costruzione di un impianto di sollevamento. I risultati della simulazione idraulica, eseguita con eventi pluviometrici caratterizzati da TR=200anni, restituiscono in *output* le mappe illustrate nelle precedenti Figg. 13, 14, 15 e 16 che permettono di verificare "positivamente" la sicurezza idraulica dell'area.

In allegato alla presente si riportano:

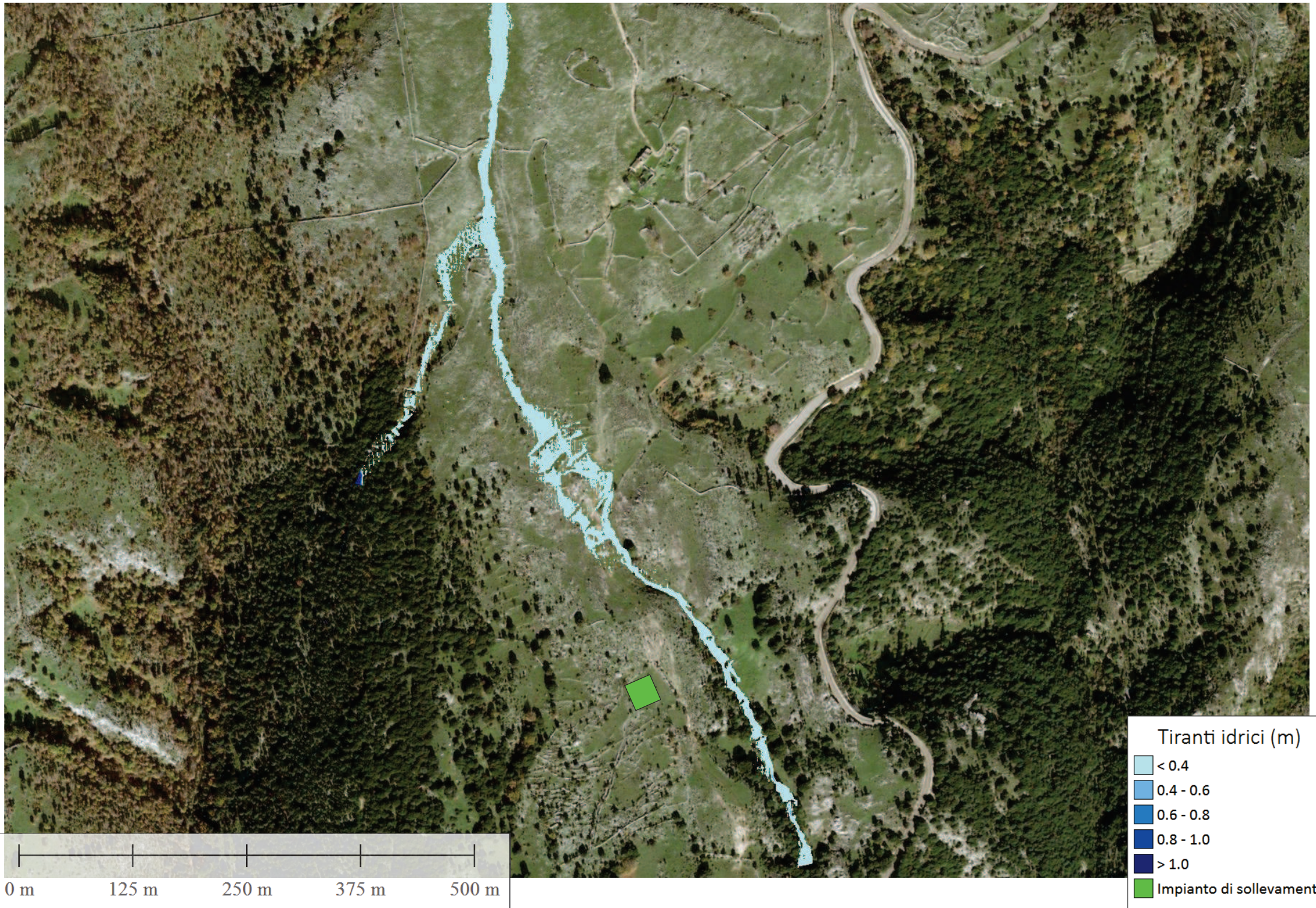
1. mappe dei battenti e delle velocità calcolate con TR200.

Foggia, 06.09.2019

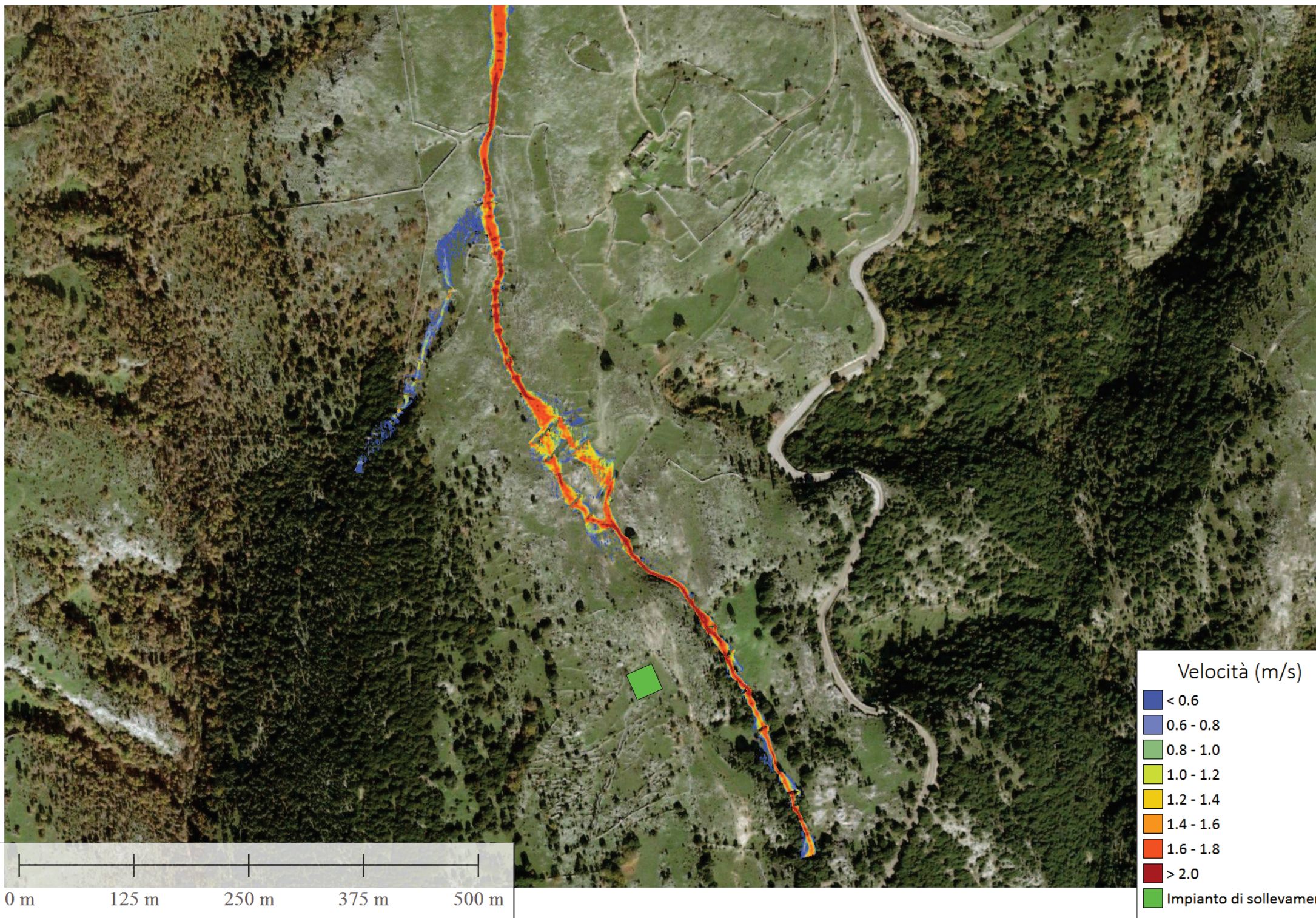
dott. geol. Domenico Paolo Impagnatiello

ALLEGATI

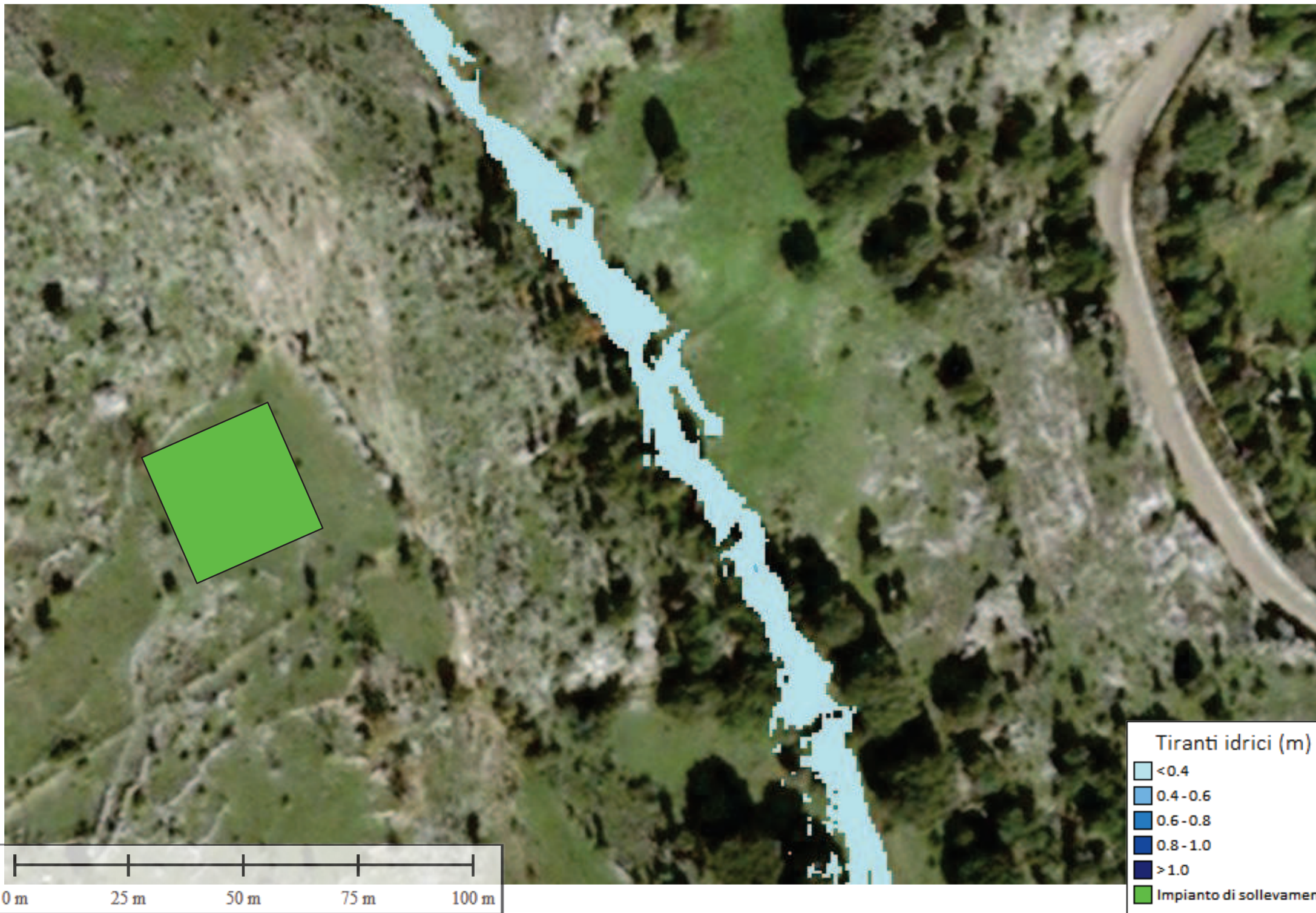
Mappa dei tiranti idrici (m)



Mappa delle velocità (m/s)



Mappa dei tiranti idrici (m)



Mappa delle velocità (m/s)

