

Prof. Ing .Gennaro Ranieri

VIA XXIV MAGGIO, 36 - 70121 - BARI

OGGETTO:

PROGETTO DI RIGENERAZIONE URBANA EX ART. 6 L.R. 21/2008 PER LA
REALIZZAZIONE DI UN BICI-PARK SU VIA V. VENETO E EDILIZIA MISTA
COMMERCIALE / RESIDENZIALE CON ANNESSI SERVIZI PUBBLICI IN VIA
E. BERLINGUER, ALL'INTERNO DELL'AMBITO 4 DEL PIRU

TAVOLA n.:

UNICA

SCALA:

VARIE

DATA:

GENNAIO 2020

Aggiornamento:

Studio idrologico ed idraulico

I PROGETTISTI E DD.LL.

Prof. Ing. Gennaro Ranieri



STUDIO PUS S.r.l.
SOCIETÀ DI
ARCHITETTURA, URBANISTICA E INGEGNERIA

IL COMMITTENTE:

VALENTE & PARTNERS SRL

Via Papa Montini, 13, Molfetta (BA)

INDICE GENERALE

PREMESSA	2
INQUADRAMENTO DELL'AREA OGGETTO DELLO STUDIO IN RELAZIONE AGLI ASPETTI MORFOLOGICI ED IDROGRAFICI PRESENTI SUL TERRITORIO	4
OBBIETTIVO DELLO STUDIO	11
METODOLOGIA OPERATIVA DELLO STUDIO.....	12
ANALISI MORFOLOGICA E INDIVIDUAZIONE DEI BACINI TRIBUTARI	16
IL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO	16
INDIVIDUAZIONE DEI BACINI SCOLANTI E DEI LORO PARAMETRI CARATTERISTICI	18
CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE	19
CALCOLO DELLA SUSCETTIVITÀ AL RUSCELLAMENTO DEI SUOLI DEL BACINO SECONDO IL METODO SCS-CN	20
ANALISI IDROLOGICA	24
ANALISI PLUVIOMETRICA	24
APPLICAZIONE DEI MODELLI AFFLUSSI-DEFLUSSI	31
ANALISI IDRAULICA.....	36
TEORIA DEL MODELLO IDRAULICO	36
RILIEVO TOPOGRAFICO	38
MODELLO IDRAULICO SUD (MODELLO 1)	40
MODELLO IDRAULICO INTERMEDIO (MODELLO 2)	48
MODELLO IDRAULICO DI VALLE (MODELLO 3)	52
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	58

PREMESSA

Il presente studio viene redatto al fine di individuare il reale livello di pericolosità idraulica di una porzione del territorio comunale di Bisceglie ove è previsto un progetto di sviluppo edilizio su un'area che presenta alcune limitazioni di utilizzo derivanti dai vincoli di pericolosità idraulica introdotti dal PAI Puglia. Lo studio è stato condotto utilizzando i modelli e le analisi idrologiche idrauliche previste nelle linee guida contenute nella relazione di Piano del PAI, abbinate ad un modello topografico di elevato dettaglio.

Per raggiungere le finalità prefissate occorre impostare e realizzare analisi di larga scala che consentono di valutare e stimare i volumi pluviometrici che danno luogo a fenomeni di deflusso eccezionali, successivamente di simulare la propagazione di questi ultimi facendo riferimento ad analisi numeriche di propagazione altamente avanzate che richiedono l'utilizzo di software specialistici di primo livello. Le analisi di propagazione danno risultati tanto più aderenti alla realtà quanto più preciso e dettagliato è il rilievo topografico disponibile.

A questo proposito occorre premettere che le valutazioni già condotte dall'Autorità di Bacino della Puglia, oggetto di attuale proposta al PAI del territorio comunale, ancorché ineccepibili dal punto di vista metodologico, fanno riferimento ad un dato topografico nella zona di interesse (probabilmente unico disponibile al momento delle valutazioni effettuate) già di elevato dettaglio (rilievo lidar) ma probabilmente utilizzando celle di larghezza elevata, per garantire velocità e stabilità al modello. Tale approssimazione è quasi obbligata per le valutazioni di notevoli estensioni di territorio (analisi su scala di bacino) che generalmente effettua l'Autorità di Bacino.

Nel caso in questione, invece si è proceduto ad una analisi di dettaglio, suddividendo le indagini idrauliche in 3 regioni differenti e adottando domini modellistici con celle di dimensioni più contenute per evidenziare le differenze morfologiche che, soprattutto nel centro urbano, sono significative e potrebbero comportare la deviazione dei deflussi superficiali.

Infatti, soprattutto per le propagazioni in domini bidimensionali con morfologie poco accentuate, bastano differenze di quota di pochi centimetri per determinare deviazioni di deflussi da un lato piuttosto che dall'altro.

La complessità dello studio svolto ha dato luogo allo sviluppo di più fasi che vengono nel seguito elencate:

Fase Preliminare

- Indagine conoscitiva preliminare dell'area di esame;
- verifica ed analisi del reticolo idrografico;
- delimitazione dei bacini idrografici;
- attività di campo e ricognizione dei luoghi;
- individuazione preliminare delle principali criticità presenti sul territorio studiato;
- acquisizione dei dati geometrici e topografici delle sezioni di interesse sull'area oggetto di studio.
- Individuazione delle 3 regioni di calcolo

Analisi Idrologica

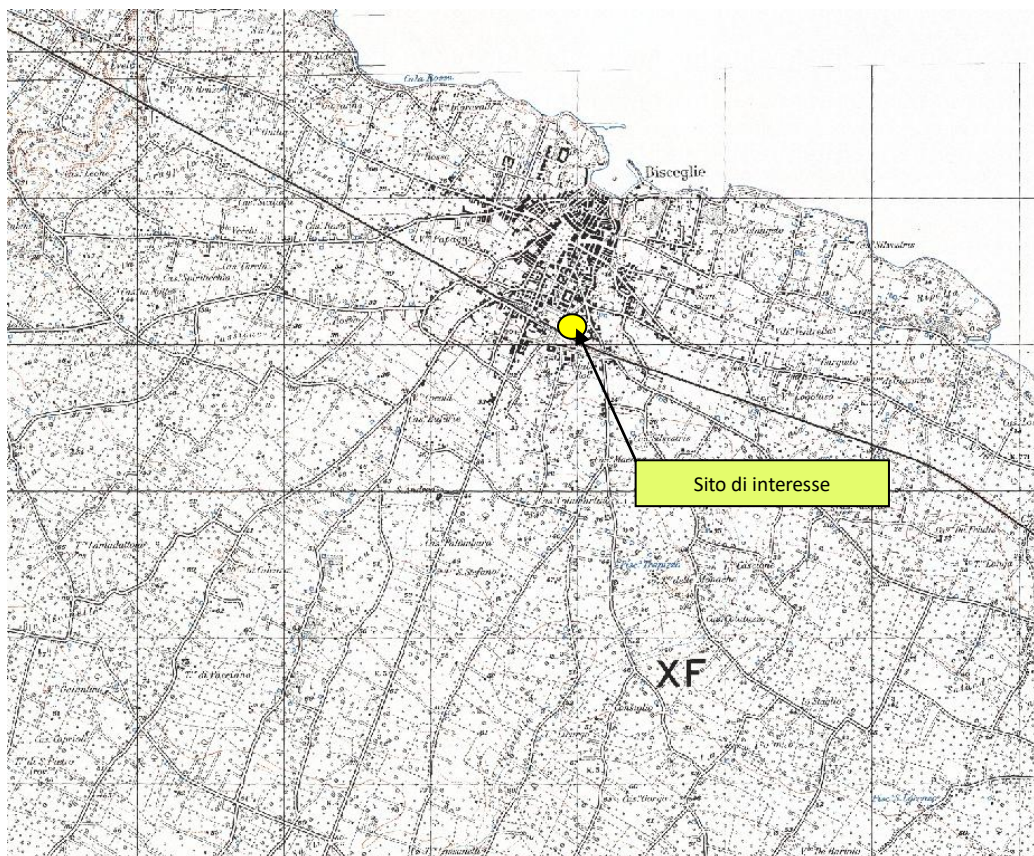
- Applicazione della Metodologia VAPI;
- definizione delle curve di possibilità pluviometrica;
- implementazione dei modelli afflussi-deflussi;
- calcolo degli idrogrammi di piena nelle sezioni oggetto di studio;

Analisi Idraulica

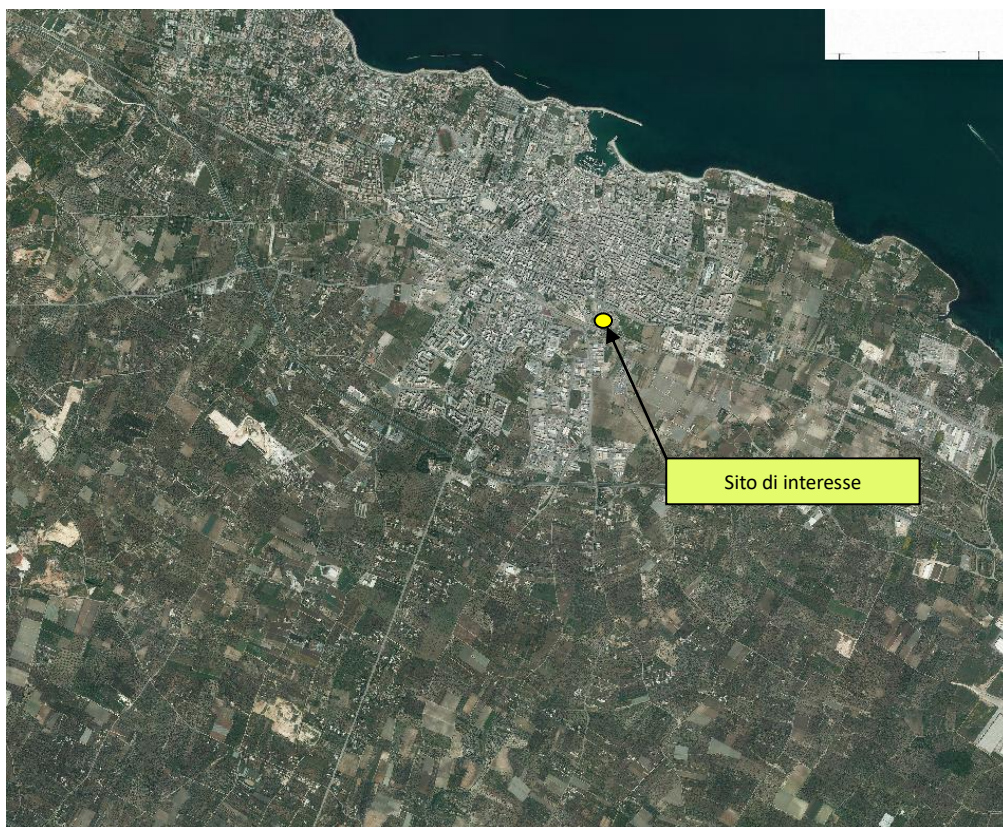
- Implementazione del modello idraulico nei 3 domini di riferimento;
- modellazione idraulica e valutazione delle grandezze idrodinamiche delle piene di riferimento;
- descrizione dei risultati ottenuti;

INQUADRAMENTO DELL'AREA OGGETTO DELLO STUDIO IN RELAZIONE AGLI ASPETTI MORFOLOGICI ED IDROGRAFICI PRESENTI SUL TERRITORIO

L'area oggetto del presente studio riguarda un suolo localizzato all'interno del centro urbano e precisamente compreso tra Via s. Martino, Via Isonzo e Via Vittorio Veneto, oggetto di intervento di riqualificazione



Inquadramento dell'area di intervento su base IGM 1:25000



Inquadramento dell'area di intervento su ortofoto



Inquadramento dell'area di intervento su ortofoto



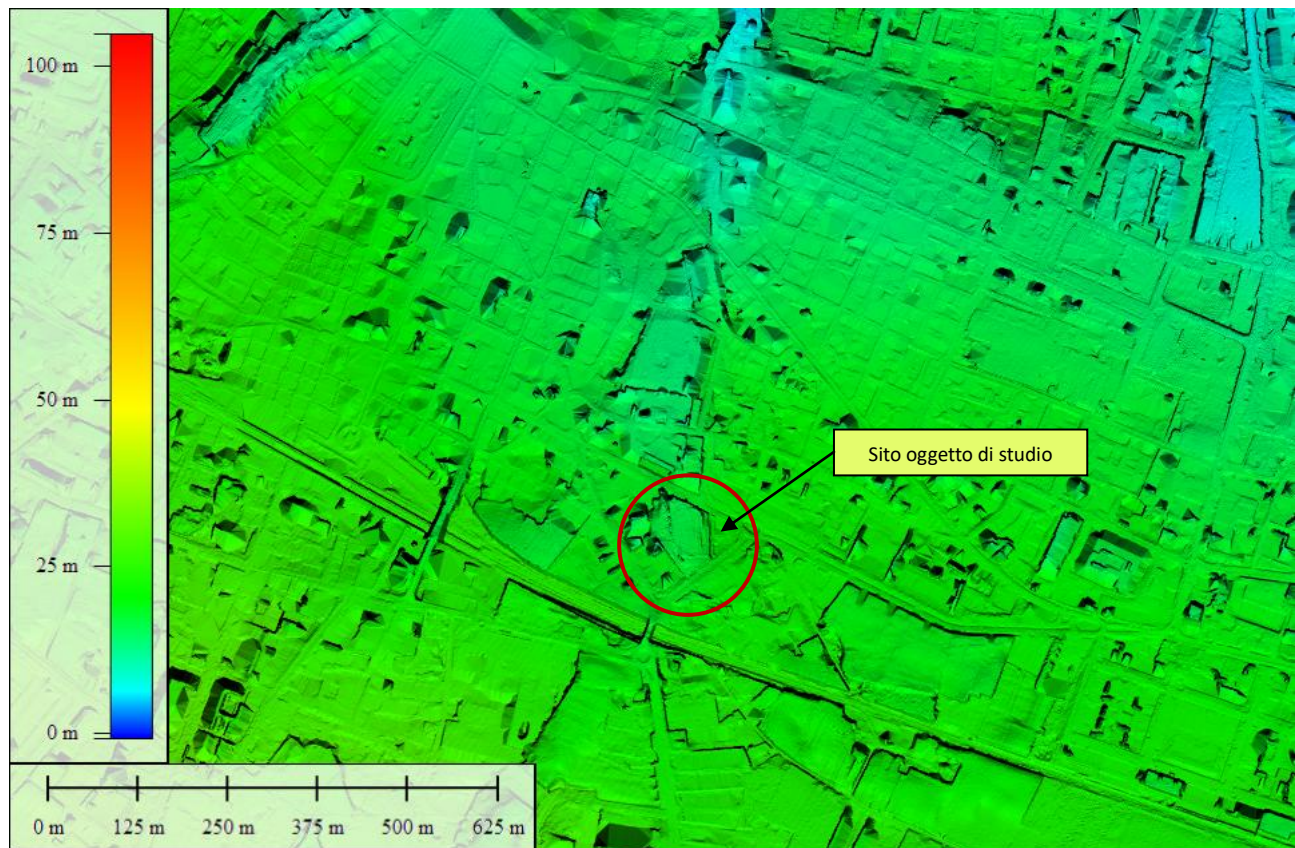
Inquadramento del sito su cartografia catastale

Il sito è localizzato in posizione centrale rispetto alla città, in una porzione del territorio comunale di Bisceglie sita immediatamente a valle di un sottopasso dal quale i deflussi di piena provenienti da monte, trovano un passaggio per oltrepassare la linea ferroviaria grazie al sottovia di Via Ruvo.



Sottopasso di Via Ruvo

Il suolo allo stato attuale, presenta una morfologia incisa con una evidente morfologia che indica un antico alveo ad oggi non supportato dalla morfologia generale in quanto l'urbanizzazione ha mutato gli aspetti geomorfologici dell'intera zona a monte e contermina al sito di indagine.



Modello LIDAR della zona contermina al sito di interesse

Come si vede dal rilievo LIDAR, la zona oggetto di studio appartiene ad un antico alveo che prosegue verso il mare.

Sul confine nord, è presente un tombino, in CA di forma rettangolare di dimensioni esterne 1.00 m x 1.00 m che rappresenta l'imbocco di un canale a contorno chiuso il cui tracciato, secondo informazioni acquisite, porta direttamente allo scarico a mare, costituendo pertanto un'opera di smaltimento delle acque di piena eventualmente invase nelle particelle oggetto di indagine.





Tombino di imbocco canale a contorno chiuso cittadino

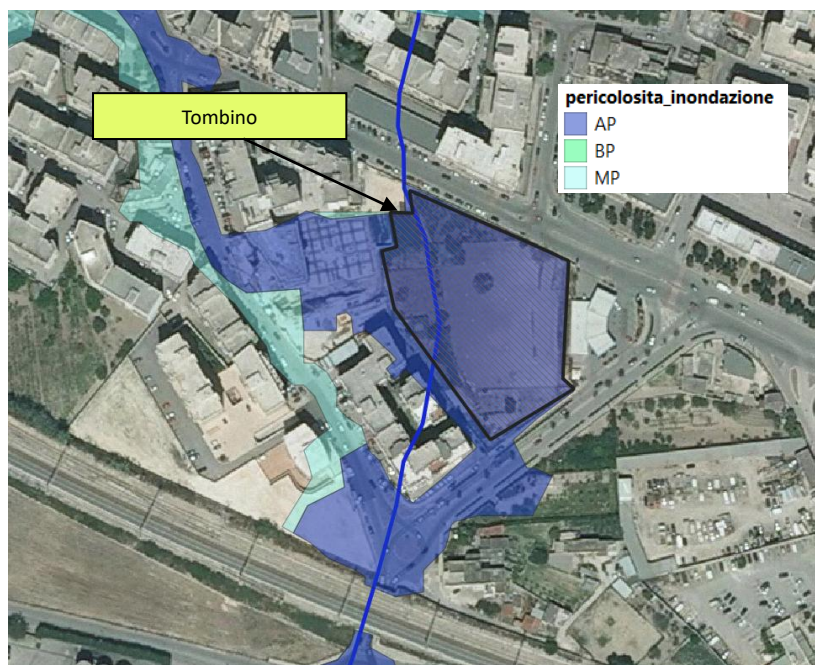


Percorso del canale a contorno chiuso cittadino e sbocco sul mare

Attualmente, il suolo è interessato da un'area ad alta e media pericolosità idraulica riportata nel PAI vigente della Puglia, derivate dal regime idraulico di un reticolo idrografico riportato nella carta idrogeomorfologica della Puglia.

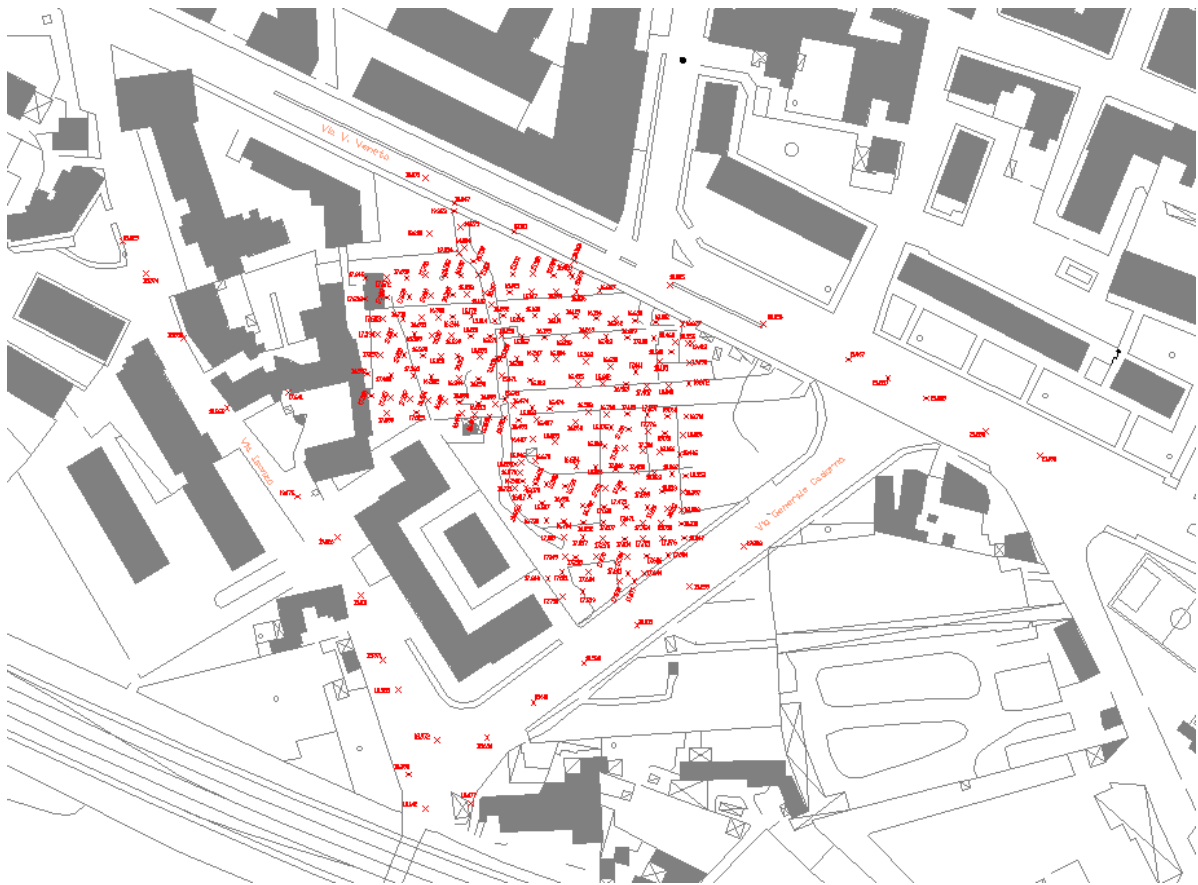


Individuazione del reticolo idrografico interferente con il sito in oggetto

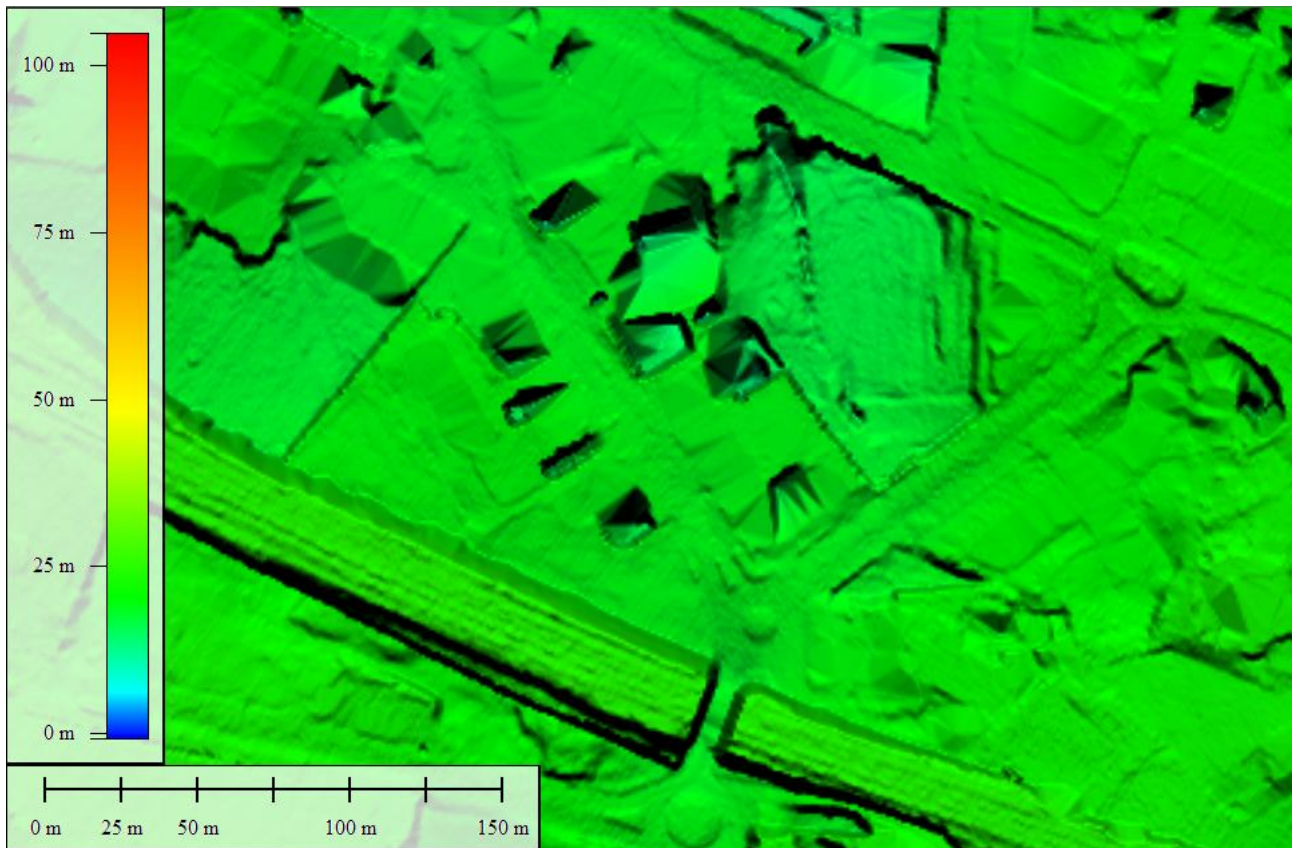


Aree ad alta (in blu), media (in celeste) pericolosità idraulica riportate nel PAI della Puglia vigente

Le perimetrazioni riportate nel PAI vigente, non tengono conto dell'effettiva morfologia di dettaglio dei luoghi. Infatti, a tal proposito è stato effettuato un rilievo planoaltimetrico e successivamente acquisito un rilievo LIDAR della zona dove viene evidenziata l'incisione che contraddistingue il sito di interesse.



Rilievo effettuato



Rilievo LIDAR

OBBIETTIVO DELLO STUDIO

L'obiettivo del presente studio:

- Effettuare uno **studio idraulico pre operam**: per verificare la compatibilità dell'intervento determinando le effettive aree a diversa pericolosità idraulica (a seguito di studio con elevato livello di dettaglio);

A seguito della determinazione delle nuove aree a diversa pericolosità idraulica, sarà dimensionato l'intervento, variando la morfologia all'interno delle particelle.

- Effettuare uno **studio idraulico post operam** per verificare che il nuovo progetto NON determini la variazione di livelli di pericolosità idraulica nelle zone contermini e comunque dimostri la sicurezza idraulica.

La portata che interessa la zona in oggetto, è determinata da dinamiche idrologiche ed idrauliche che partono da monte ovvero è influenzata, non solo dal/i bacino/i tributario/i ma anche da tutte le singolarità presenti nel tragitto da monte verso valle dell'idrogramma che si genera.

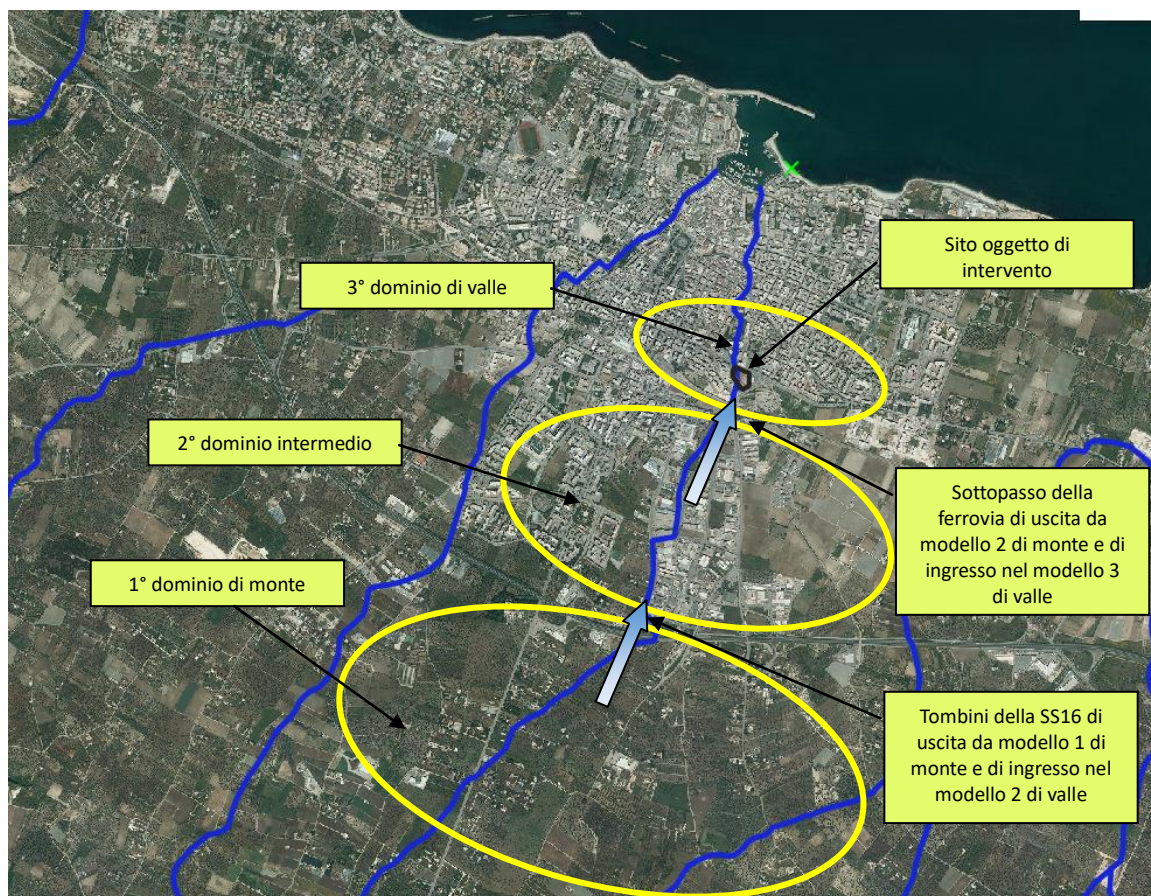
Per questo motivo, al fine della determinazione degli idrogrammi (per tr 200 anni) da applicare al modello idraulico di dettaglio dell'intervento, si dovranno studiare tutti gli elementi e le dinamiche che influenzano gli idrogrammi che arrivano nel sito in oggetto.

Data la lunghezza, e la presenza di significative opere di sbarramento (SS156 e Ferrovia) si provvederà a suddividere in 3 parti il bacino di monte utilizzando 3 modelli idraulici distinti e separati, uniti tra loro dalle variabili idrologiche: l'idrogramma in uscita del modello di monte diventa idrogramma in ingresso nel modello di valle.

Le metodologie applicate sono conformi a quelle indicate nella Relazione di Piano del PAI vigente

METODOLOGIA OPERATIVA DELLO STUDIO

Per il calcolo della portata di piena nei tempi di ritorno di 200 anni, come già anticipato, si esaminano i processi idrologici ed idraulici da monte verso valle individuando 3 domini di studio.



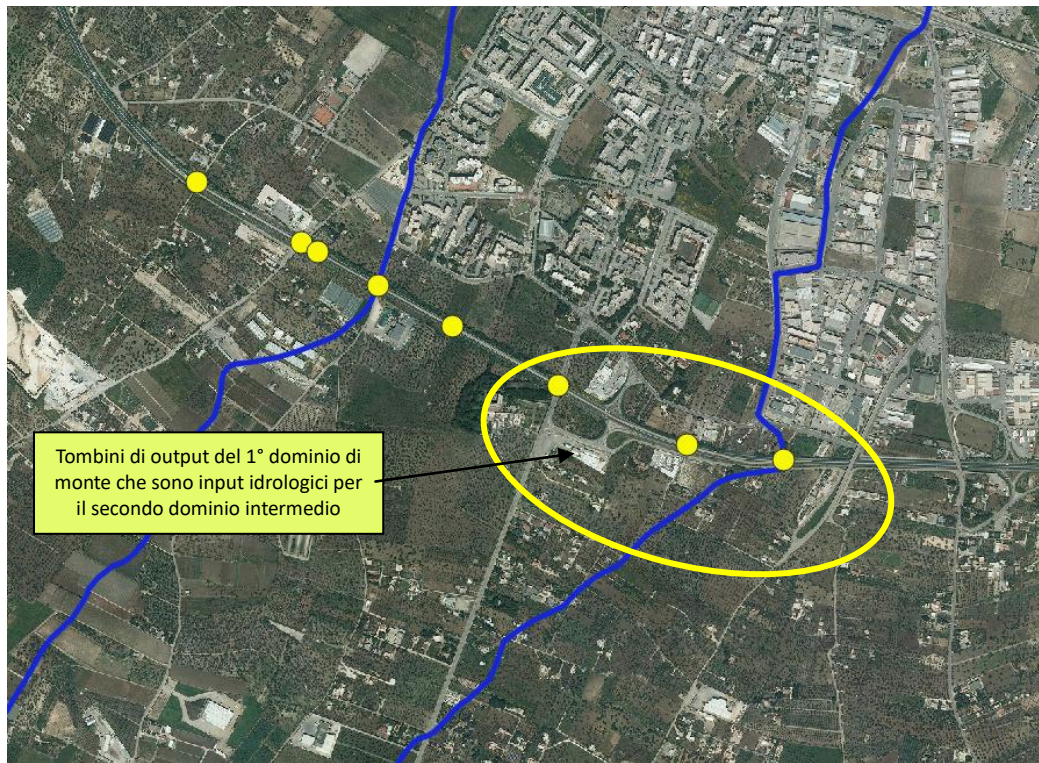
Individuazione dei domini di calcolo (da monte verso valle)

- 1) **MODELLO SUD 1 (dominio di monte)** : Il modello Sud è costruito a sud della SS16. Tale modello e i relativi risultati hanno già acquisito parere favorevole in linea tecnica dalla segreteria tecnica operativa dell'autorità di Bacino degli Appennini meridionali il relazione al progetto PAI adottato con decreto Segretariale n. 624 del .4/10/2019. Nel presente lavoro vengono riportati i parametri e i risultati per completezza descrittiva utile per descrivere la metodologia adottata.

Dato che la SS 16 costituisce sbarramento dei deflussi che provengono da monte e le uniche uscite verso il centro urbano sono i tombini idraulici sottesi alla viabilità nazionale, si effettua, per tale territorio, l'analisi idrologica ed idraulica modellando, gli idrogrammi di piena individuati e determinando gli idrogrammi di uscita dai tombini verso il centro urbano. In questo dominio saranno calcolati gli idrogrammi generati dai bacini tributari e applicati nel modello bidimensionale a parametri concentrati.

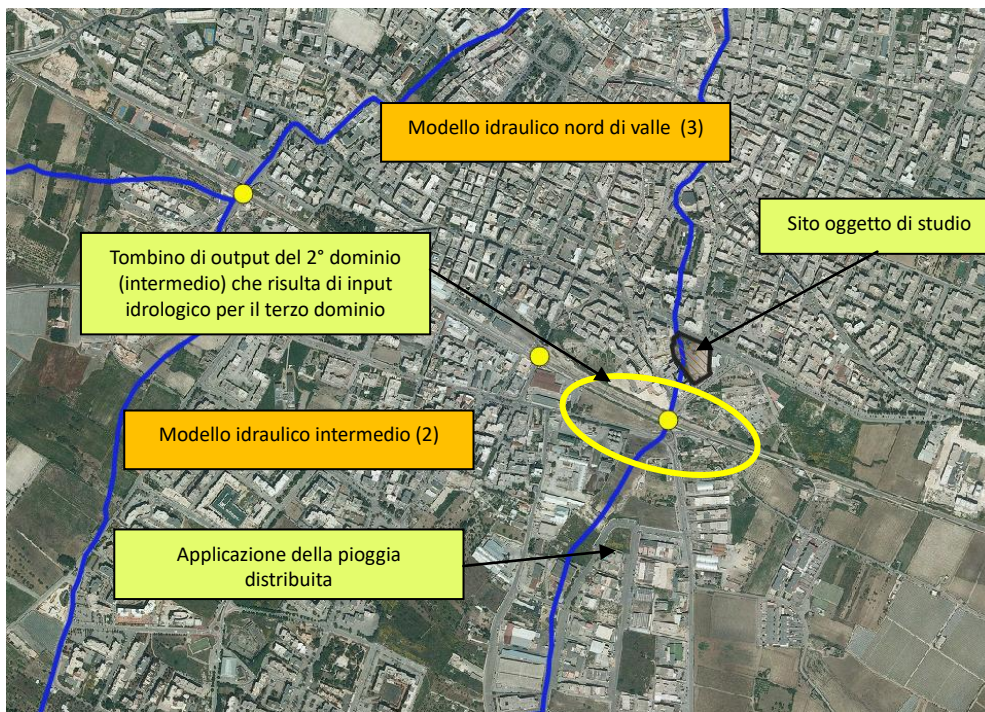
A valle dei tombini di output sono state inerite delle sezioni di controllo da dove si sono determinati

gli idrogrammi di “uscita” dal modello (output) che saranno a loro volta inseriti come input idrologico nel successivo modello intermedio.



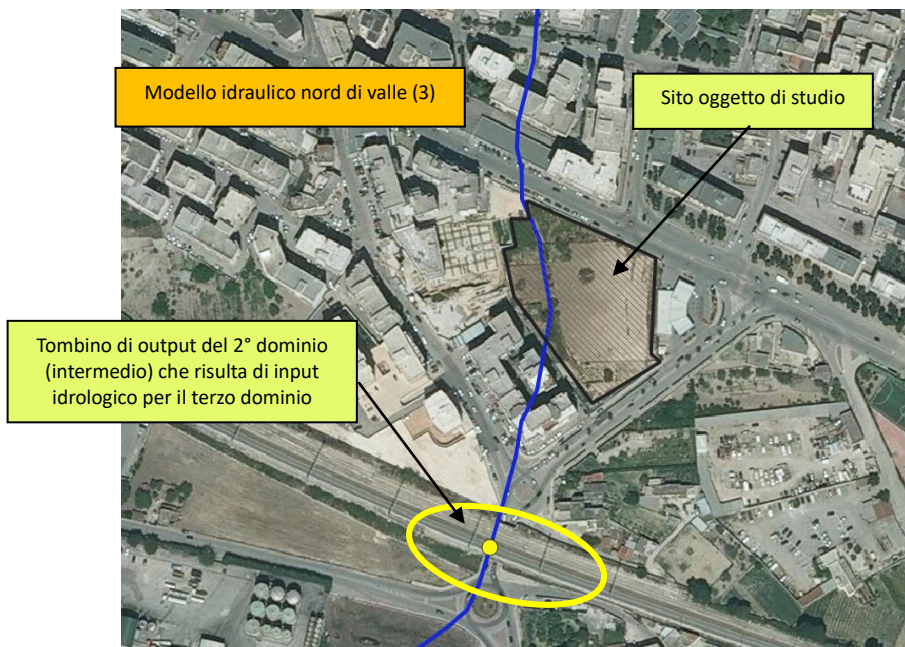
Individuazione dei tombini di out put del 1° dominio di monte

- 2) **MODELLO INTERMEDIO 2:** Ulteriore dominio di studio è compreso tra la SS 16 e la ferrovia entrambe parallele, dove le uniche uscite dal modello (outflow) sono i sottopassi al di sotto della rete ferroviaria. Proprio uno di questi (via Ruvo) rappresenterà le condizioni al contorno di monte del terzo dominio di studio. Come si vedrà i deflussi da valle non riescono a superare la barriera della ferrovia se non dai sottopassi. In questo caso, gli input idrologici sono costituiti dagli idrogrammi inseriti nel modello all'altezza dei tombini (di output del modello precedente) unitamente alla pioggia zenitale sul dominio, quindi sarà utilizzato un modello a parametri concentrati (idrogrammi di input) e contestuali parametri distribuiti (ietogramma di pioggia applicato) . come si vedrà nel paragrafo di dettaglio, gli ietogrammi applicati (per tr 200 anni) sono di diversa durata in maniera tale da massimizzare, a vantaggio di sicurezza, i valori dei deflussi verso valle.



Individuazione dei sottopassi di output del 2° dominio intermedio

- 3) **MODELLO NORD 3:** Tale modello è costituito dal dominio finale di studio, rappresentato da una superficie del territorio urbano che “contiene” il sito oggetto di interesse, assumendo come condizione al contorno di monte il tombino di “uscita” del dominio intermedio (2).



Individuazione del sottopasso di input idrologico al 3° dominio di studio (valle)

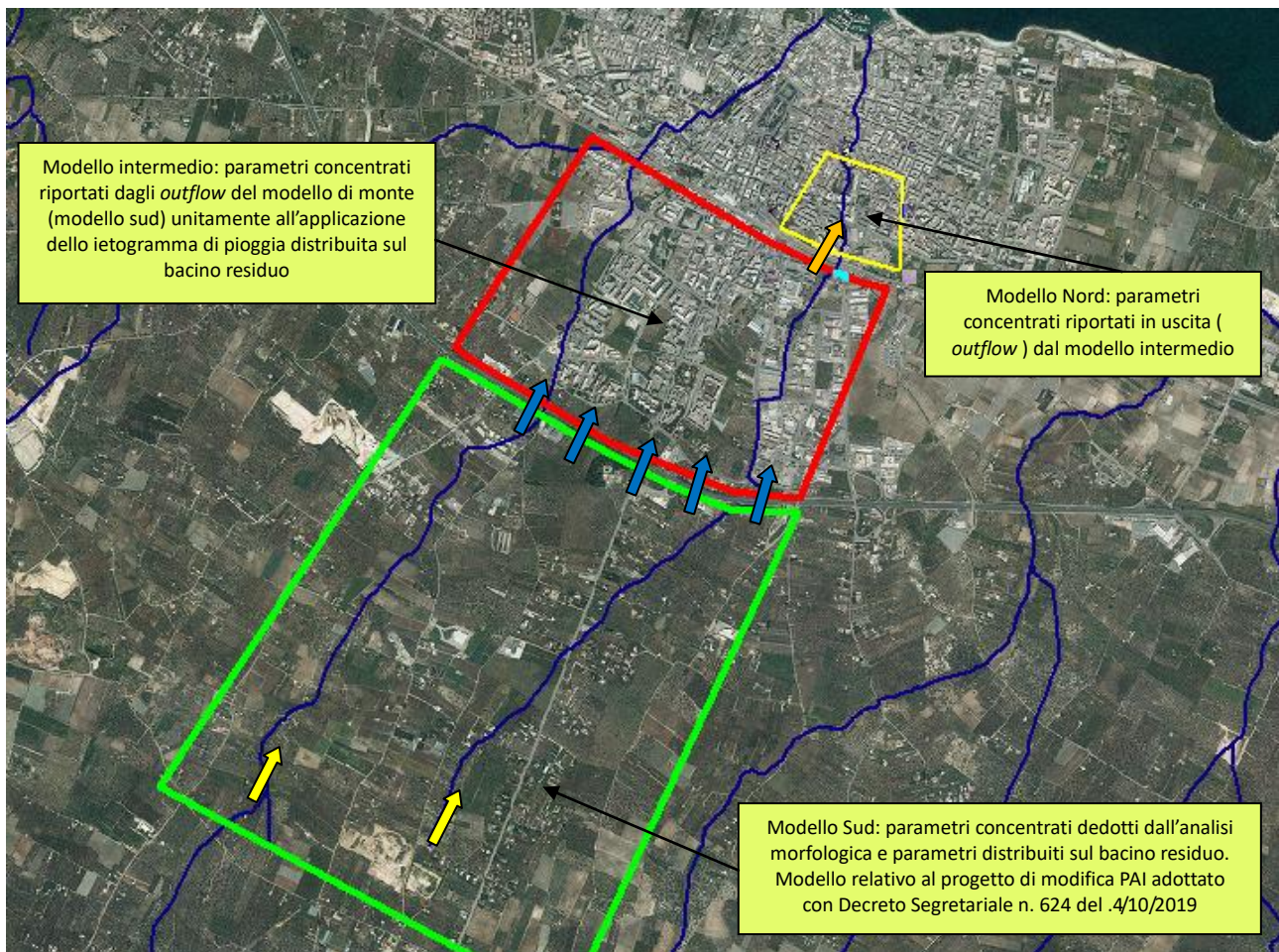
In questo caso nel modello idraulico sarà applicato l'idrogramma in uscita dal sottopasso del modello 2 (intermedio). Data l'esiguità del bacino tributario residuo, non si applica la pioggia distribuita.

Per quanto sopra si è provveduto a:

- Determinare i bacini tributari per il modello sud 1 (avente come sezione di chiusura la SS 16). (*)

- Determinare le curve di possibilità pluviometrica da applicare per il modello intermedio 2).
- Modellare i tre domini con modelli idraulici a parametri concentrati (primo e terzo dominio) e parametri misti ovvero concentrati e a parametri distribuiti (secondo dominio).

(*) *l'analisi idrologica e morfologica è stata ripresa da uno studio idraulico del territorio sud del comune di Bisceglie che ha già ottenuto parere favorevole in linea tecnica dalla segreteria tecnica operativa dell'autorità di Bacino degli Appennini meridionali e il cui progetto PAI è stato adottato con decreto Segretariale n. 624 del .4/10/2019.*



Panoramica dei modelli utilizzati

ANALISI MORFOLOGICA E INDIVIDUAZIONE DEI BACINI TRIBUTARI

L'approccio utilizzato per affrontare e risolvere le problematiche oggetto del presente studio parte da un'analisi a scala di bacino dei processi idrologici ed idraulici determinati dagli eventi meteorici estremi i cui effetti al suolo sono fortemente influenzati dallo stato dei luoghi, sia per 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 attendibile rispetto alla realtà dei luoghi, è evidentemente necessario ricostruire, nella maniera quanto più dettagliata possibile, la conformazione degli stessi che si andranno ad analizzare partendo da un esame a scala di macrobacino e via via aumentando sempre più il dettaglio dell'indagine.

Il Modello Digitale del Terreno

Nel presente studio, al fine di ricavare un modello digitale del terreno sufficientemente dettagliato, si è fatto riferimento ai seguenti dati cartografici disponibili:

- Cartografia IGM in scala 1:25000;
- Nuova Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:5000;
- Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia;
- Rilievo Lidar realizzato appositamente per le elaborazioni del presente studio;
- Rilievo di dettaglio dell'area di interesse realizzato per il presente studio;
- Ortofoto.

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 determinazioni rinvenienti 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.

Nel caso in esame si può certamente affermare che il numero di elementi disponibili è congruo per un'analisi approfondita ed esaustiva dei livelli di pericolosità idraulica presenti, nello specifico il rilievo topografico di dettaglio ha consentito, oltre ad incrementare la densità di quote al suolo disponibili, di acquisire tutti quegli elementi quali, fabbricati, recinzioni, ecc., che intersecano il percorso idraulico dei deflussi di piena.

L'elaborazione di tutti gli elementi suddetti ha permesso di ricostruire il Modello Digitale del Terreno. Il Modello Digitale del Terreno (DEM) è una rappresentazione tridimensionale georeferenziata della regione

oggetto di studio.

I DEM possono essere di tipo Grid o di tipo TIN (Triangulated Irregular Network). I DEM sotto forma di Grid, grazie alla distribuzione uniforme di informazioni e alla possibilità che essi danno di trattare i dati direttamente in forma matriciale, sono preferibili rispetto ai TIN.

In tutti i modi al fine di generare una procedura standard di acquisizione dei dati e della loro elaborazione, si rende necessario un controllo preliminare sulla qualità delle informazioni di partenza per la loro utilizzazione successiva.

Per un'analisi geomorfologica del territorio, i dati di base relativi alle altimetrie possono essere elaborati per la generazione di un modello tridimensionale del territorio, tale da consentire analisi sulla morfologia della superficie.

In molti software commerciali come ARCINFO, sono disponibili varie procedure per la generazione del modello tridimensionale del terreno, che costituirà la base per successive elaborazioni ed analisi che prendano in considerazione non solo la localizzazione topografica dei punti ma anche la loro elevazione altimetrica: viene così generato un modello digitale del terreno che contiene una nuova informazione relativa alla quota.

La realizzazione del TIN parte dall'analisi dei punti quotati e delle curve di livello quotate in possesso. Grazie all'ausilio di specifici software è possibile elaborare i dati in modo da ottenere una superficie data da un'interpolazione di tipo lineare delle quote dei punti e delle curve di livello. Risulta ovvio come l'elaborazione effettuata su un numero di dati più fitti riduce sensibilmente l'approssimazione dovuta al tipo di interpolazione.

Ottenuto il TIN, utilizzando appositi algoritmi di conversione, è possibile passare al formato di rappresentazione matriciale o Grid. In alternativa, procedura adottata nel caso in esame, è possibile direttamente l'elaborazione dei dati topografici di partenza finalizzata alla restituzione del DEM formato Grid.

La modalità Grid permette di analizzare la superficie topografica in modo radicalmente più complesso rispetto alla modalità TIN. Come per ogni modulo di Arc/Info viene usata una modalità georelazionale per l'elaborazione dei dati geografici. La peculiarità sta nel fatto che nei Grid, l'elaborazione dei dati è basata sulla combinazione di un modello spaziale basato sulla suddivisione del territorio in porzioni quadrate di dimensioni che possono essere scelte in base alle necessità di dettaglio richieste, dette celle, e un modello correlato di attributi associati; in questo caso si è scelto di lavorare con celle di 5m di lato per le elaborazioni morfologiche ed idrauliche condotte, descritte più avanti.

Le celle sono posizionate nello spazio in base all'andamento della superficie topografica, e contengono un valore che descrive le caratteristiche del territorio secondo tematismi scelti in base alle necessità di analisi. Tali valori costituiscono un vero e proprio database associato alle singole celle,

permettendo di analizzare la variazione dei parametri in modo continuo lungo la superficie topografica.

I valori degli attributi delle celle di un grid possono essere quindi elaborati in modo matematico o statistico, o ancora raggruppati in classi di valori discreti, garantendo comunque in ogni elaborazione la corretta georeferenziazione dei valori.

Individuazione dei Bacini scolanti e dei loro parametri caratteristici

L'individuazione del bacino scolante costituisce un passaggio fondamentale al fine di giungere alla determinazione delle portate al picco di piena. 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.

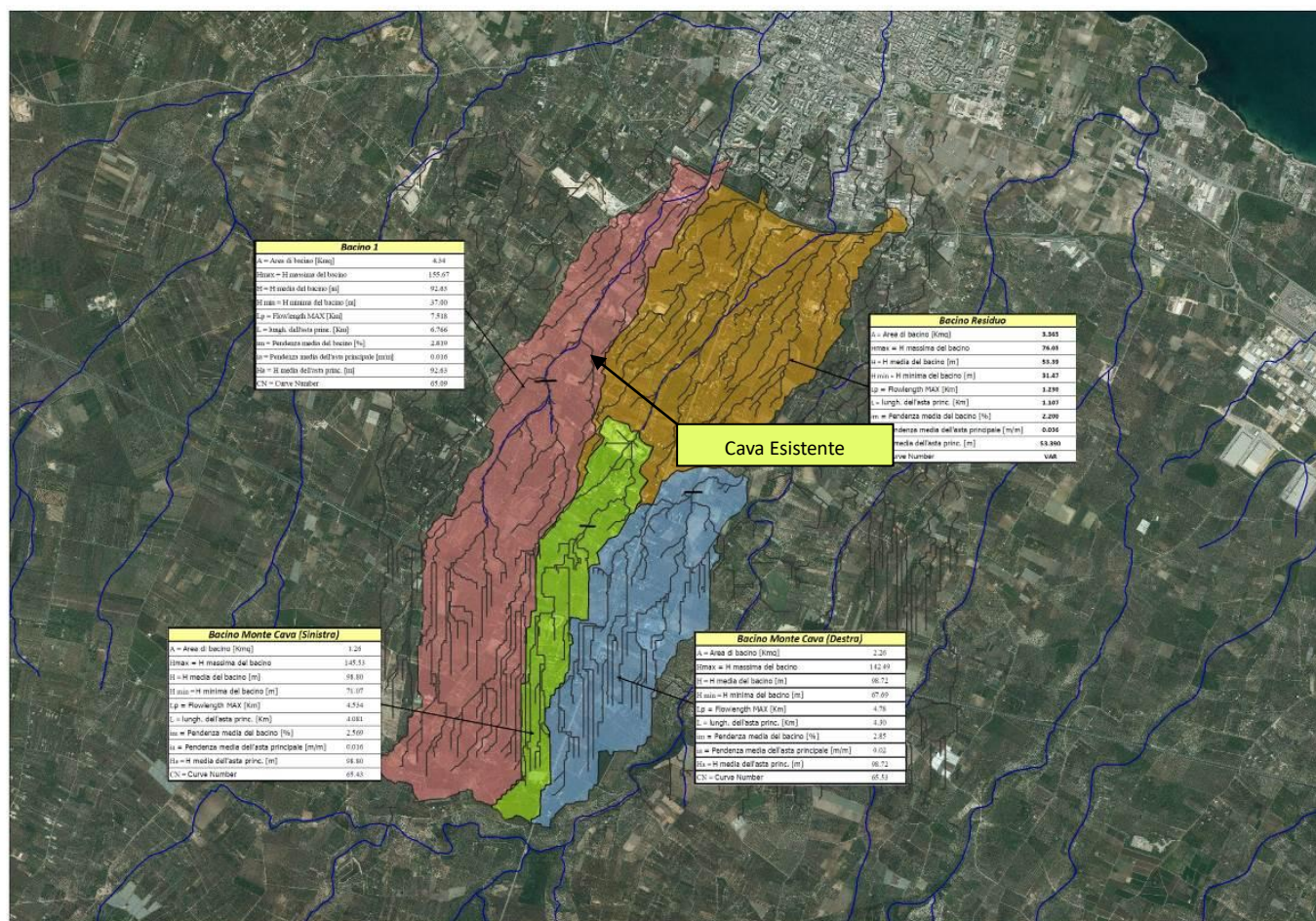
La base dati principale sulla quale è basata l'analisi morfologica è rappresentata dal modello tridimensionale del terreno. Il modello del terreno, rappresentato nelle tre dimensioni, consente di effettuare valutazioni sull'altimetria dei luoghi, sulle pendenze, sul deflusso delle acque, ecc.; pertanto 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 tipo GIS così come descritto nel paragrafo precedente, è stato possibile determinare i bacini idrografici afferenti alla sezione di chiusura in corrispondenza del sito di interesse per il presente studio e determinare le caratteristiche morfometriche di cui necessita l'elaborazione idrologica.

I bacini determinati e le relative caratteristiche morfometriche hanno fornito l'input per l'applicazione dei modelli di calcolo afflussi-deflussi che verranno descritti nei paragrafi successivi.

In particolare le analisi idrologiche ed idrauliche riguarderanno un dominio di calcolo che comprenderà un'area che si estende dalla SS16 fino all'origine dei bacini scolanti. Gli input idrologici saranno quelli pluviometrici sul "Bacino Residuo" a cui si sommano i deflussi (idrogrammi) provenienti dai seguenti bacino: "Bacino1", "BacinoMonteCava(sinistra)" e "BacinoMonteCava(destra)".

All'interno del bacino idrografico dove è presente Villa Ciardi, è presente una grossa cava di materiale inerte il cui volume di scavo è ampiamente sufficiente a inglobare tutti i deflussi di piena generati dal bacino a monte. Questo rende attualmente impossibile che i deflussi generati dal bacino a monte della cava possano riversarsi verso valle, quindi interessare la zona oggetto di studio. Ciò nonostante, al fine di ottenere dei risultati più cautelativi, il modello di propagazione idraulica è stato realizzato ipotizzando che il volume di accumulo della cava sia nullo.



Rappresentazione di tutti i bacini idrografici tributari considerati nei calcoli

Calcolo del tempo di corrivazione

Altro parametro fondamentale che consente di identificare un primo aspetto del comportamento idrologico di un bacino è il tempo di corrivazione. Il tempo di corrivazione di un punto del bacino è il tempo necessario affinché la goccia d'acqua caduta in quel punto possa raggiungere, seguendo il percorso idraulico, la sezione di chiusura del bacino considerato. In un bacino il tempo di corrivazione massimo viene denominato tempo di corrivazione del bacino t_c e rappresenta il tempo che impiega la goccia d'acqua che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura.

Per la determinazione del tempo di corrivazione esistono in letteratura scientifica svariate formule di natura per lo più empirica. Nel presente studio si è fatto riferimento alle relazioni elencate in tabella calcolando la media dei risultati escludendo i valori estremi.

Per quanto riguarda la relazione del tempo di corrivazione di Viparelli si è considerata, una velocità variabile in funzione della pendenza media del bacino facendo riferimento alla seguente tabella.

Viparelli	Pendenza %	Velocità m/sec
	<6	1.0
	6 e 12	1.3
	12 e 18	1.5
	18 e 25	1.8
	>25	2.0

Fra le relazioni utilizzate quelle che nella pratica trovano maggior riscontro sotto l'aspetto delle applicazioni di questo tipo sono quelle di Giandotti, Viparelli e Kirpich. Considerato che l'approccio del Giandotti è esplicitamente rivolto a bacini di dimensioni variabili fra 170 e 70000 kmq e quello di Kirpich riguarda l'analisi di piccoli bacini americani, la formulazione razionale che appare più adatta al caso in esame risulta quella di Viparelli che, si ricorda, è stata sviluppata dall'analisi sperimentale su piccoli bacini pedemontani piemontesi ed è una delle poche ad avere un significato fisico oltre che empirico.

I tempi di corrivazione calcolati hanno dato la possibilità di arrivare al calcolo delle portate al picco di piena attraverso l'approccio razionale che sono state utilizzate come valori di confronto rispetto alla metodologia SCS-CN.

Formula	Bacino1	Bacino Monte Cava (sinistra)	Bacino Monte Cava (destra)
Giandotti	2,400	1,334	1,568
Tournon	0,605	0,319	0,460
Kirpich	1,549	1,034	1,096
Kirpich-Pezzoli	2,256	1,482	1,575
Turazza	2,260	1,218	1,631
Ventura	0,656	0,354	0,474
Pasini	0,740	0,414	0,512
Viparelli	1,880	1,134	1,194
Media	1,557	0,915	1,070

Tempi di corrivazione dei bacini determinati (i valori sono espressi in ore). La media è calcolata escludendo i due valori estremi.

Un discorso leggermente diverso vale per il tempo di corrivazione di riferimento del metodo SCS-CN, il quale verrà descritto nei paragrafi successivi.

Calcolo della suscettività al ruscellamento dei suoli del bacino secondo il metodo SCS-CN

Infine, fra le caratteristiche fondamentali da determinare per poter effettuare l'analisi idrologica, con

specifico riferimento al metodo sviluppato dalla Soil Conservation Service, vi è il parametro “CN2” che individua, attraverso l’analisi geolitologica dei suoli del bacino, la capacità di risposta in termini di infiltrazione e ruscellamento a fronte di un evento di pioggia del bacino. 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.

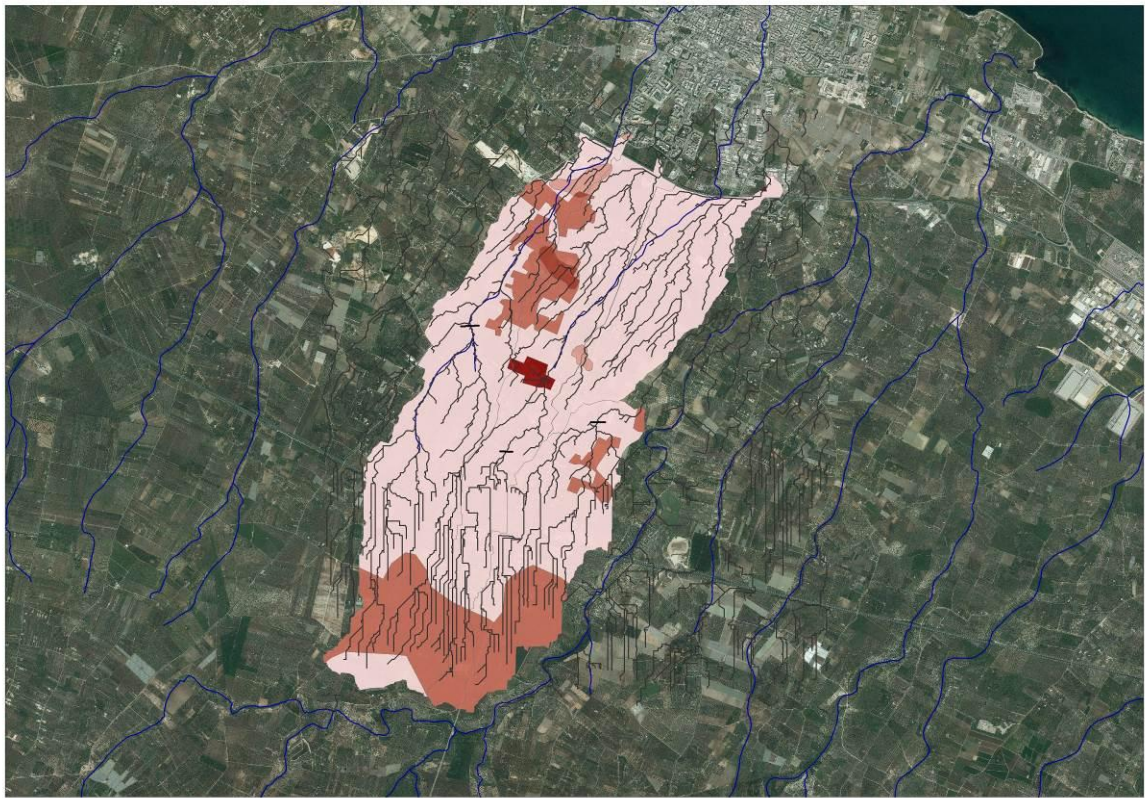
Gruppo A	Suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde, con scarssissimo limo ed argilla e ghiaie profonde, molto permeabili. Capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
Gruppo B	Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso. Comprende la maggior parte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

Gruppi geolitologici

Nell’ambito delle differenti classi di permeabilità così individuate, attraverso un calcolo ponderale basato sui dati acquisiti dalla carta dell’uso del suolo, si distinguono e si individuano le classi di CN per ogni sottobacino analizzato. Nel caso in esame, come carta di uso del suolo, si è fatto riferimento allo studio ACLA condotto dal CHIEAM-BARI in cui sono state individuate le seguenti classi alle quali sono stati associati i parametri di CN riscontrati in letteratura scientifica.

Uso del Suolo	A	B	C	D
• Aree agricole con presenza di spazi naturali • Seminativi in aree non irrigue • Vigneti non irrigui • Colture temporanee associate a colture permanenti • Frutteti e frutti minori non irrigui	62	71	78	81
Aree Urbane	92	92	92	92
Area residenziale	77	85	90	92
Bacini d’acqua	100	100	100	100
• Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo • Colture orticole a ciclo estivo • Colture orticole a ciclo autunnale/primaverile • Colture orticole a ciclo primaverile-estivo • Frutteti e frutteti minori irrigui • Oliveti irrigui • Sistemi colturali e particellari complessi • Vigneti irrigui • Sistemi colturali e particellari complessi • Vigneti irrigui	72	81	88	91
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Zone Boscate	45	66	77	83

Valori del CN in funzione del gruppo geolitologico e dell’uso del suolo



Rappresentazione delle classi del Curve Number dei bacini idrografici tributari alla sezione di costa.

Poiché lo studio è rivolto al calcolo delle portate di piena e considerato che in occasione di queste ultime è fondamentale la condizione di imbibimento del terreno, il metodo SCS-CN fa riferimento a tre diverse situazioni di umidità antecedenti all'evento considerato:

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)	$P > 110$

classi AMC (Antecedent Moisture Conditions)

I valori di CN corrispondenti alle classi AMCI e AMCIII si determinano dal valore del CN relativo alla classe AMCI applicando le seguenti relazioni:

~~$F = \frac{100 - CN_2}{10 - CN_2}$~~ valida per ~~$20 < CN_2 < 90$~~

~~$F = \frac{100 - CN_2}{10 - CN_2}$~~

Bacino	BASINCN (AMC=II)
Bacino 1	65.09
Bacino Monte Cava (sinistra)	65.43
Bacino Monte Cava (destra)	65.53

Valori del CN II per i bacini determinati

Per le valutazioni idrologiche, che verranno descritte più avanti nel dettaglio, si anticipa che si farà riferimento ad una condizione di imbibizione del suolo nel periodo antecedente l'evento di tipo umido-saturo, pertanto al **CN3**.

ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica risulta di importanza fondamentale per il prosieguo dello studio in quanto consente di determinare le portate di ingresso, nelle sezioni di chiusura, che verranno indicate più avanti, da utilizzare come input nel modello di calcolo idraulico descritto nel paragrafo successivo. In realtà in questo caso, oltre a inserire le portate concentrate, è stato necessario inserire anche l'altezza di pioggia cumulata per simulare gli effetti delle precipitazioni sul bacino residuo.

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.

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

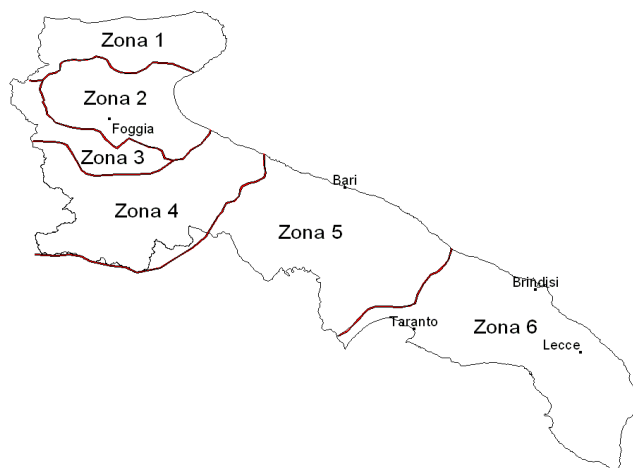
Al fine di calcolare gli idrogrammi di piena da utilizzare come input nei modelli di calcolo idraulici è necessario, in prima battuta, stabilire gli ietogrammi di pioggia che consentiranno di applicare i modelli afflussi-deflussi per la determinazione delle portate di piena. Per questo motivo è necessario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

Per far fronte alle indicazioni dell'Autorità di Bacino della Puglia, in linea tra l'altro con la normativa nazionale, in questo studio viene applicata la metodologia di analisi riportata nel VAPI Puglia, fondata sulla funzione di distribuzione di probabilità (fdp) TCEV che verrà brevemente descritta nel seguito.

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.



zone omogenee della Puglia

Le relazioni che regolano ognuna delle sei zone sono le seguenti:

$$\begin{aligned}
 \text{Zona 1: } & x(t,z) = 26.8 t^{[(0.720+0.00503 z)/3.178]} \\
 \text{Zona 2: } & x(t) = 22.23 t^{0.247} \\
 \text{Zona 3: } & x(t,z) = 25.325 t^{[(0.0696+0.00531 z)/3.178]} \\
 \text{Zona 4: } & x(t) = 24.70 t^{0.256} \\
 \text{Zona 5: } & x(t,z) = 28.2 t^{[(0.628+0.0002 z)/3.178]} \\
 \text{Zona 6: } & x(t,z) = 33.7 t^{[(0.488+0.0022 z)/3.178]}
 \end{aligned}$$

In particolare i bacini analizzati ricadono nella **zona omogenea numero 5**.

Pertanto, conformemente al DPCM 29/09/98 ed a quanto previsto dalla relazione di piano del PAI, si è provveduto a calcolare la CPP mediante l'applicazione della metodologia VaPi¹ (Valutazione Piene); tale nota applicazione si basa, come detto, sulla regionalizzazione dei dati pluviometrici attraverso una FDP di tipo TCEV (two components extreme value).

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,

¹ Da **rapporto sintetico** sulla Valutazione Piene redatto dal CNR-GNDCI, a cui si rimanda per ogni opportuno approfondimento e confronto (<http://caronte.gndci.cs.cnr.it/GNDCI/rapporti/Bari.htm>)

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 un processo poissoniano. Il processo individua una variabile X che 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 Λ_1 e Λ_2 tali che:

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

in cui Λ 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:

$$F_{kt}(k) = \exp[-\Lambda_1 \exp(-k/\Theta_1) - \Lambda_2 \exp(-k/\Theta_2)]$$

che definisce la distribuzione TCEV.

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

$$p_2 = -\Lambda_*/\Theta_* \sum_{j=0}^{\infty} (-1)^j / j! \Lambda_*^j \Gamma(j+1/\Theta_*)$$

nella quale Γ 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 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 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.

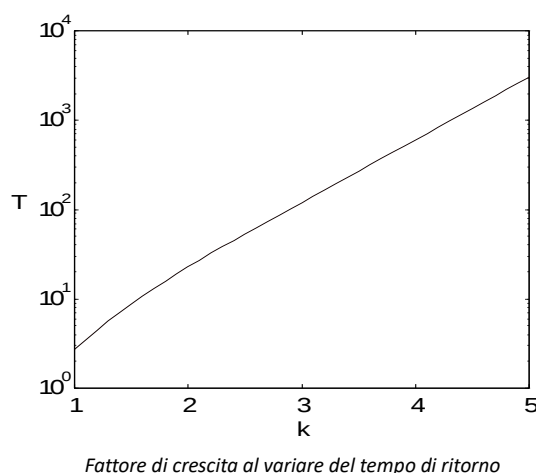
L'analisi condotta per l'intero territorio pugliese suggerisce la presenza di una unica zona omogenea di primo livello (cioè caratterizzate dalla costanza di Θ^* e Λ^*), comprensiva di tutte le stazioni della Puglia, e di due sottozone omogenee al secondo livello.

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.

E' possibile rappresentare graficamente la funzione $KT=KT(T)$ al variare del tempo di ritorno Tr ; si riporta nel grafico successivo tale legge di variazione.



In alternativa alle rappresentazioni grafiche delle curve di crescita, il valore di KT può essere ricavato direttamente in funzione di Tr attraverso una approssimazione asintotica (Rossi e Villani, 1995) della legge di crescita. È 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 :

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

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

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

To 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 η e To, che consentono di determinare nella forma (1) le leggi di crescita relative all'area in esame:

Zona omogenea	a	b	To	η
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:

$$x_t = a \cdot t^n \quad (4)$$

dove:

a è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di x_1 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 α 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:

α	a	c	D
0.89	33.7	0.0022	4.1223

Valori delle stime dei parametri utilizzati nella relazione (4)

L'area di interesse del presente studio si inquadra, nell'ambito dell'area pluviometrica omogenea individuata nel territorio regionale, in **zona 5**; pertanto l'equazione da applicare è la seguente:

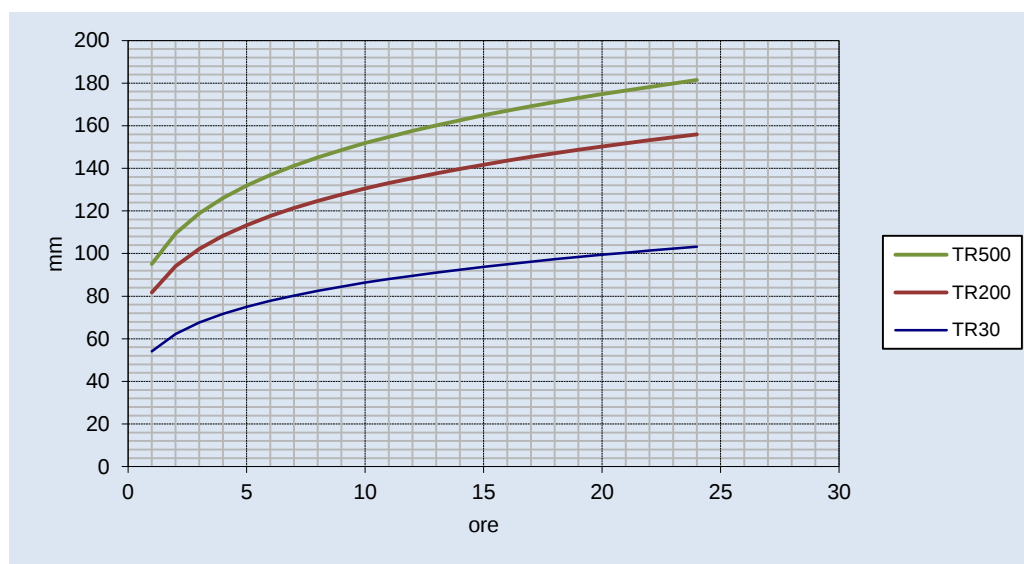
$$x(t, z) = 28.2 \cdot t^{\left(\frac{0.628+0.0002z}{3.178}\right)}$$

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.

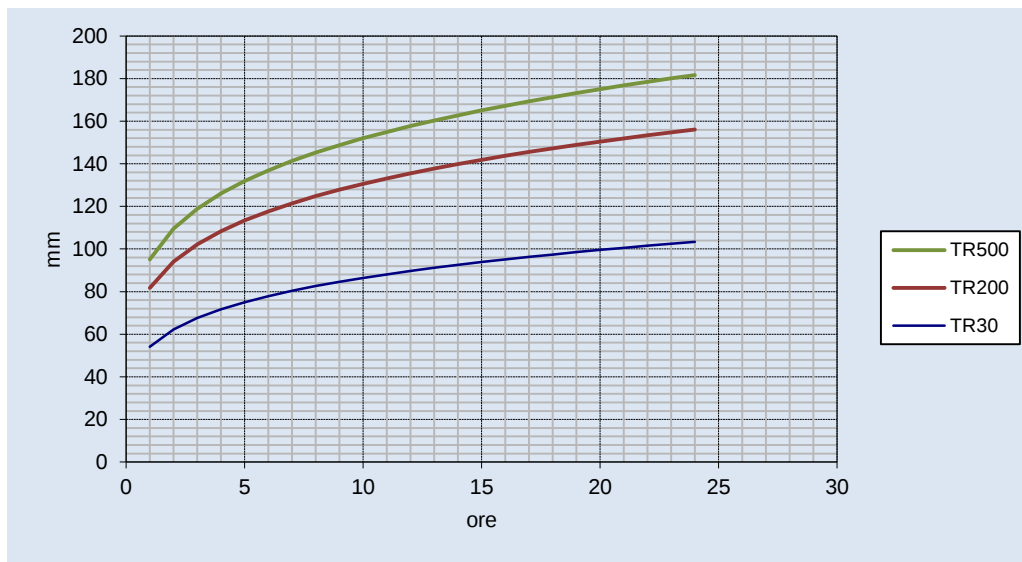
Ai valori così ottenuti, vanno applicati coefficienti moltiplicativi relativamente al Fattore di Crescita K_T (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni), ed al Fattore di Riduzione Areale K_A (funzione della superficie del bacino espressa in kmq, e della durata dell'evento 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.

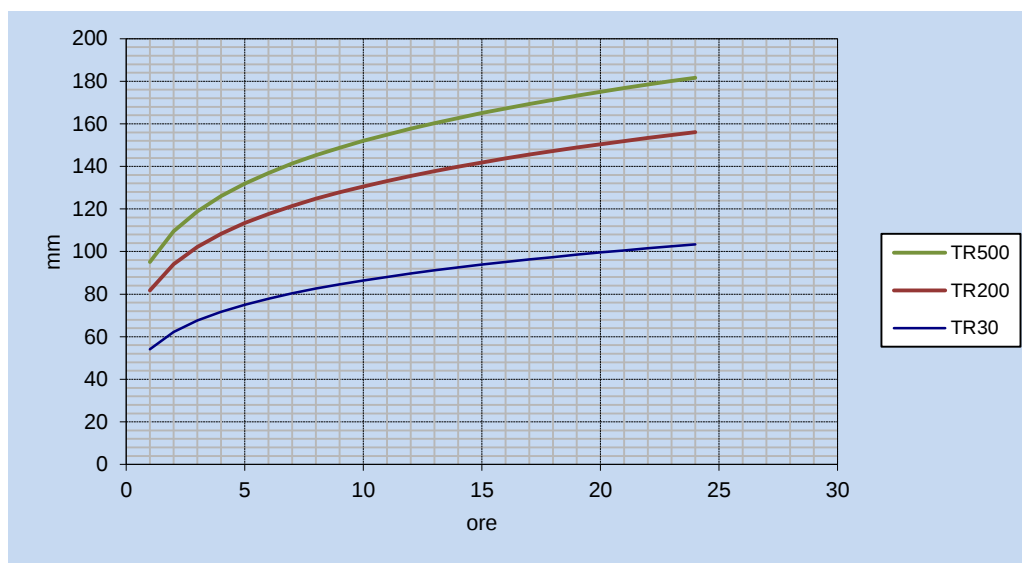
Nel seguito si riporta il grafico relativo alle tre CPP, riferite ai tre tempi di ritorno, per i bacini in esame; si inseriscono, inoltre, i valori dei parametri a ed n identificativi delle tre CPP.



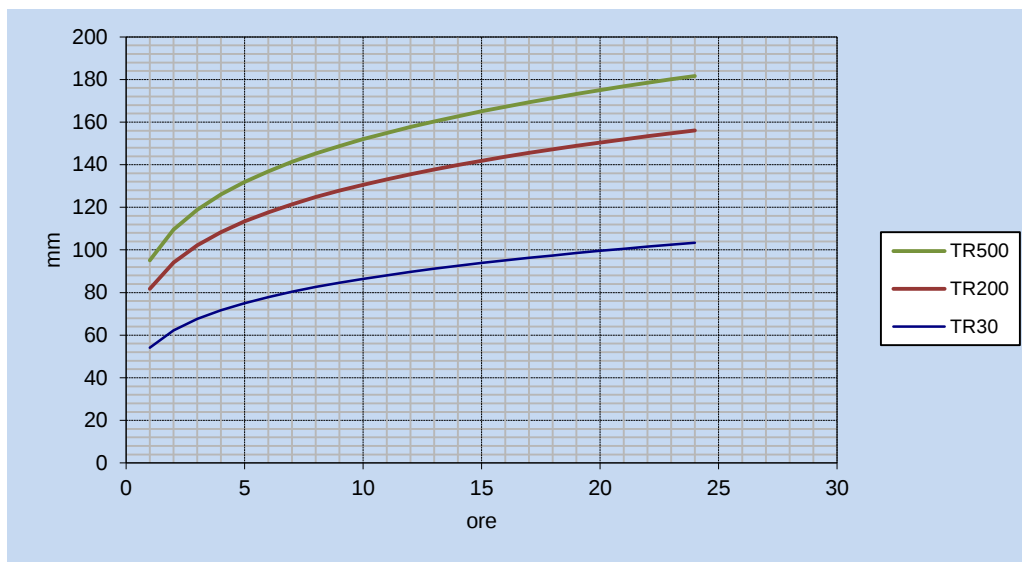
Curve di Possibilità Pluviometrica per i tre tempi di ritorno di riferimento relativi al bacino 1



Curve di Possibilità Pluviometrica per i tre tempi di ritorno di riferimento relativi al bacino Monte Cava (Sinistra)



Curve di Possibilità Pluviometrica per i tre tempi di ritorno di riferimento relativi al bacino Monte Cava (Destra)



Curve di Possibilità Pluviometrica per i tre tempi di ritorno di riferimento relativi al bacino residuo

VAPI zona 5	a	n	a	n	a	n
TR30	54.058	0.204	54.058	0.204	54.058	0.204
TR200	81.696	0.204	81.696	0.204	81.696	0.204
TR500	95.044	0.204	95.044	0.204	95.044	0.204
Bacino	Bacino1		Bacino2		Bacino3	

Valori dei parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica per i bacini valutati

Applicazione dei modelli afflussi-deflussi

METODO SCS-CN

Il metodo SCS trova ormai larga diffusione nell'ambito delle applicazioni tecniche di questo tipo per qualunque tipologia di bacino ed è ampiamente diffuso anche in Italia. Il metodo consente sia la semplice valutazione del volume della piena, o della sua portata al colmo, sia la ricostruzione dell'idrogramma. La stima dell'idrogramma di piena generato da un bacino, a seguito di una determinata precipitazione caratteristica, avviene attraverso l'analisi geomorfologica e di uso del suolo del bacino; l'idrogramma di piena viene valutato attraverso la preventiva acquisizione di diversi parametri tra cui quelli 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.

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_n = 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_a* che tiene conto dell'accumulo di volumi idrici in superficie, dell'infiltrazione iniziale e superficiale nel suolo e

dell'intercettazione operata dalla copertura vegetale.

In linea generale il valore di Ia può essere assunto, come è stato fatto per il presente studio secondo le indicazioni dell' SCS, pari a:

$$Ia = 0,2 S$$

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

$$V = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,55S)}$$

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

$$S = 2,4 \left(\frac{100}{CN} \right)$$

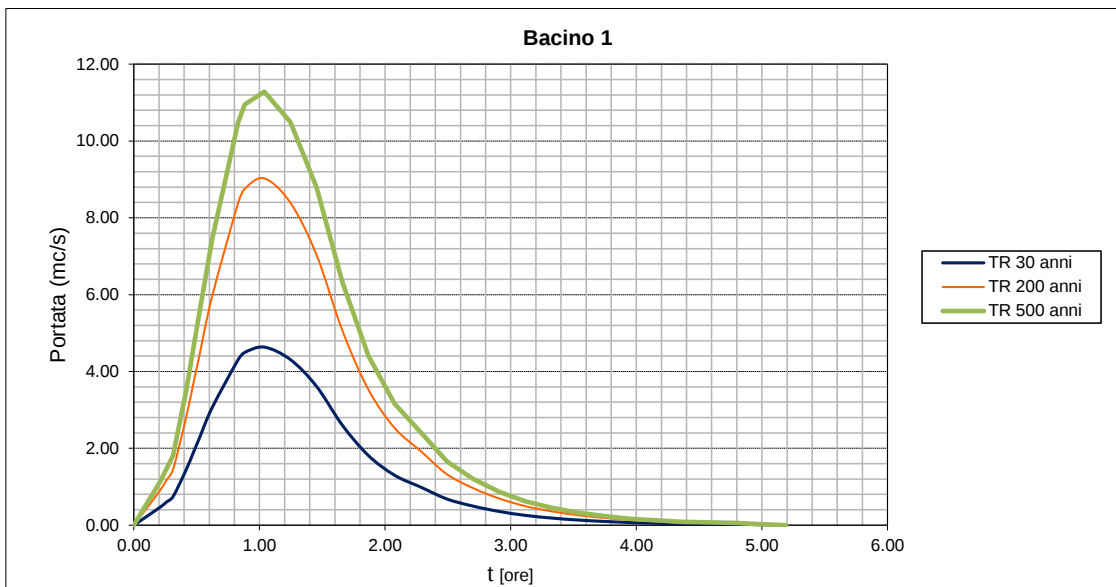
Il parametro CN è denominato Curve Number esso indica l'attitudine del bacino a produrre deflusso e si stima sulla base delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale. La stima del CN si effettua determinando il gruppo idrologico di appartenenza e, all'interno di ciascun gruppo,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

I valori del CN sono stati determinati per ogni sottobacino e sono quelli riportati in tabella nel primo capitolo del presente studio.

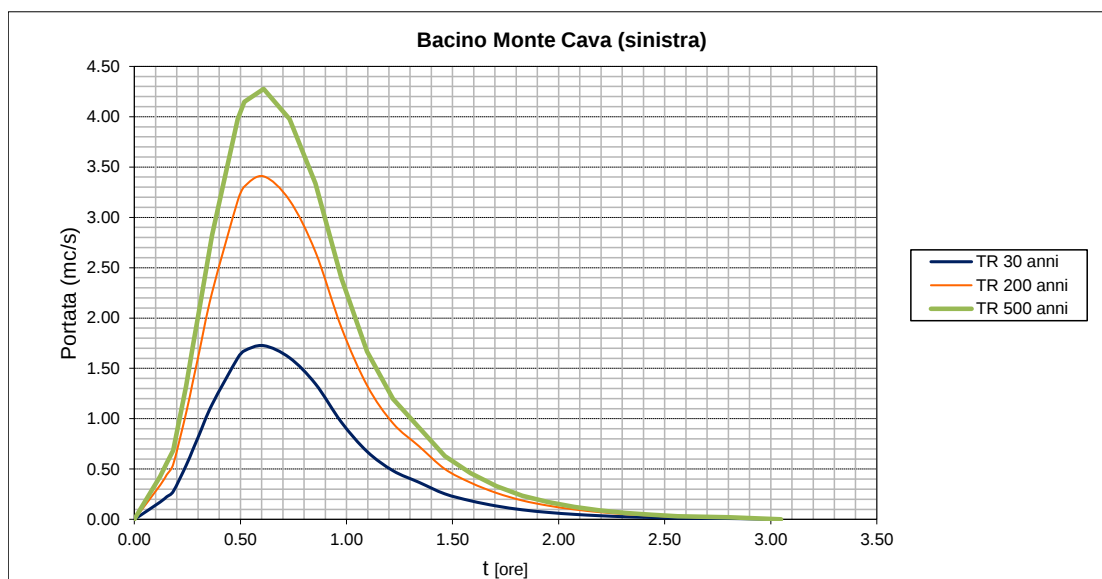
Nel presente studio, come ampiamente descritto nell'analisi pluviometrica, sono stati applicati i risultati rinvenienti dall'approccio VAPI. In questa analisi è stata ipotizzata una pioggia uniformemente distribuita sui bacini studiati, in funzione della zona omogenea considerata (zona 5), a cui è stato applicato uno ietogramma costante ricavato dall'analisi delle Curve di Possibilità Pluviometrica riferite ai tre tempi di ritorno di 30, 200 e 50 anni. Come già detto si è utilizzato uno $Ia=0,2S$, una condizione antecedente all'evento di tipo **AMC=III (CN3) e i dati di input sono stati ricavati dall'analisi morfometrica e pluviometrica descritte in precedenza.**

Calcolo degli idrogrammi di piena e delle portate al picco

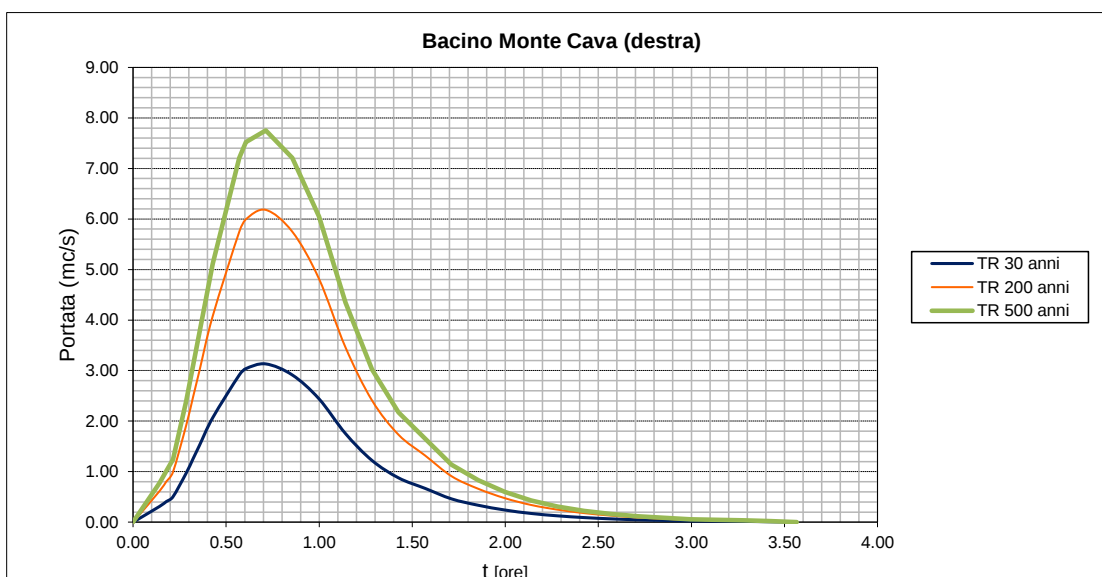
L'applicazione del modello idrologico ha consentito di determinare gli idrogrammi di piena riferiti ad eventi con tempo di ritorno di 30, 200 e 500 anni (per lo studio in questione sarà comunque adottato il solo valore per tr 200 anni). Si è fatto riferimento all'approccio di Mokus per la costruzione dell'idrogramma di piena. Il picco di piena è stato riferito al tempo di pioggia caratteristico o tempo di corrivazione, come suggerito dalla SCS, pari a $T_L/0,6$, tempo in cui la portata esprime il valore massimo; per la costruzione dell'idrogramma, invece, si è fatto riferimento al tempo di corrivazione medio dei bacini calcolato così come descritto nei paragrafi precedenti con l'approccio classico delle formule razionali.



Idrogrammi di piena relativi ai bacini analizzati e riferiti al Bacino n.1



Idrogrammi di piena relativi ai bacini analizzati e riferiti al Bacino Monte Cava (sinistra)



Idrogrammi di piena relativi ai bacini analizzati e riferiti al Bacino Monte Cava (destra)

Nel seguito viene riportata la tabella delle portate al picco di piena per tutti i sottobacini individuati.

t(ore)	Q 30 (mc/s)	Q 200 (mc/s)	Q 500 (mc/s)
0.000	0.000	0.000	0.000
0.143	0.313	0.618	0.775
0.178	0.407	0.803	1.008
0.214	0.501	0.989	1.241
0.285	0.971	1.916	2.404
0.321	1.245	2.456	3.083
0.357	1.519	2.997	3.761
0.428	2.067	4.079	5.118
0.571	2.913	5.747	7.212
0.606	3.038	5.994	7.522
0.713	3.132	6.180	7.755
0.856	2.913	5.747	7.212
0.998	2.443	4.820	6.049
1.141	1.754	3.461	4.343
1.284	1.221	2.410	3.024
1.426	0.877	1.730	2.171
1.569	0.669	1.319	1.656
1.712	0.460	0.908	1.140
1.854	0.335	0.661	0.830
1.997	0.241	0.476	0.597
2.140	0.172	0.340	0.427
2.282	0.125	0.247	0.310
2.425	0.091	0.179	0.225
2.567	0.066	0.130	0.163
2.710	0.047	0.093	0.116
2.853	0.034	0.068	0.085
2.995	0.023	0.046	0.058
3.281	0.016	0.031	0.039
3.423	0.008	0.015	0.019
3.566	0.000	0.000	0.000

Portate al colmo di piena per il bacino 1

t(ore)	Q 30 (mc/s)	Q 200 (mc/s)	Q 500 (mc/s)
0.000	0.000	0.000	0.000
0.122	0.173	0.341	0.428
0.152	0.224	0.443	0.556
0.183	0.276	0.545	0.684
0.244	0.535	1.056	1.326
0.274	0.686	1.354	1.700
0.305	0.837	1.653	2.074
0.366	1.139	2.249	2.823
0.488	1.605	3.169	3.977
0.518	1.674	3.305	4.148
0.610	1.726	3.407	4.277
0.732	1.605	3.169	3.977
0.854	1.346	2.658	3.336
0.976	0.967	1.908	2.395
1.097	0.673	1.329	1.668
1.219	0.483	0.954	1.197
1.341	0.368	0.727	0.913
1.463	0.254	0.501	0.629
1.585	0.185	0.365	0.458
1.707	0.133	0.262	0.329
1.829	0.095	0.187	0.235
1.951	0.069	0.136	0.171
2.073	0.050	0.099	0.124
2.195	0.036	0.072	0.090
2.317	0.026	0.051	0.064

2.439	0.019	0.037	0.047
2.561	0.013	0.026	0.032
2.805	0.009	0.017	0.021
2.927	0.004	0.009	0.011
3.049	0.000	0.000	0.000

Portate al colmo di piena per il bacino Monte Cava (sinistra)

t(ore)	Q ₃₀ (mc/s)	Q ₂₀₀ (mc/s)	Q ₅₀₀ (mc/s)
0.000	0.000	0.000	0.000
0.137	0.319	0.632	0.794
0.172	0.415	0.822	1.033
0.206	0.511	1.012	1.271
0.275	0.989	1.960	2.462
0.309	1.269	2.513	3.157
0.343	1.548	3.066	3.852
0.412	2.106	4.173	5.242
0.549	2.968	5.880	7.387
0.584	3.096	6.132	7.704
0.687	3.191	6.322	7.943
0.824	2.968	5.880	7.387
0.961	2.489	4.931	6.195
1.099	1.787	3.540	4.448
1.236	1.245	2.466	3.098
1.373	0.894	1.770	2.224
1.511	0.681	1.350	1.696
1.648	0.469	0.929	1.168
1.785	0.341	0.676	0.850
1.923	0.246	0.487	0.612
2.060	0.176	0.348	0.437
2.197	0.128	0.253	0.318
2.335	0.093	0.183	0.230
2.472	0.067	0.133	0.167
2.609	0.048	0.095	0.119
2.747	0.035	0.070	0.087
2.884	0.024	0.047	0.060
3.159	0.016	0.032	0.040
3.296	0.008	0.016	0.020
3.433	0.000	0.000	0.000

Portate al colmo di piena per il bacino Monte Cava (destra)

Gli idrogrammi di piena per ognuno dei tempi di ritorno prefissati, sono stati definiti per il bacino n.1, n.2 e n.3; **per il bacino residuo è stato invece applicato un approccio “distribuito” inserendo come input idrologico direttamente gli ietogrammi di pioggia e integrando all’interno dello stesso modello 2D anche il modello idrologico.**

L’analisi idrologica e morfologica riportata nei paragrafi precedenti, è stata ripresa e riproposta da uno studio idraulico del territorio sud del comune di Bisceglie che ha già ottenuto parere favorevole in linea tecnica dalla segreteria tecnica operativa dell’autorità di Bacino degli Appennini meridionali e il cui progetto PAI è stato adottato con **Decreto Segretariale n. 624 del 04/10/2019.**

ANALISI IDRAULICA

Una volta definiti gli input idrologici, ovvero i picchi degli idrogrammi di piena relativamente ai tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni, nonché la forma degli idrogrammi di piena e il relativo *volume di piena*, grandezze determinate con il metodo SCS-CN così come descritto nei paragrafi precedenti, si è proceduto con la simulazione della propagazione delle piene in moto vario al fine di individuare le aree inondabili.

L'output dello studio idrologico-idraulico, simulando gli eventi con tempo di ritorno di 30, 200 e 500 anni consente di individuare la parte di territorio allagabile al fine di definire il livello sicurezza idraulica così come definito all'art. 36 delle NTA del PAI vigente.

Teoria del modello idraulico

L'analisi idraulica del reticolo analizzato nel presente studio, a causa della morfologia sub pianeggiante in alcuni tratti del territorio, che si alterna a tratti di lama morfologicamente molto evidenti, dello stato di antropizzazione nelle aree di interesse, delle conseguenti incertezze nel poter unicamente definire una direzione preferenziale dei deflussi in maniera immediata, tenuto conto degli sbarramenti determinati dalla SS16 e dell'area urbana di Bisceglie, non può essere condotta facendo riferimento a software di propagazione delle piene lungo percorsi monodimensionali.

Al fine di poter stabilire e ricostruire le dinamiche di propagazione delle piene che si potrebbero verificare sulle aree, tenendo conto delle eventuali deviazioni che le correnti idrodinamiche riceverebbero urtando contro gli ostacoli lungo il percorso, si è utilizzato un modello di propagazione delle piene in campo bidimensionale, che ha anche la capacità di implementare all'interno del dominio 2D elementi monodimensionali, operando analisi idrauliche in moto vario. Il software utilizzato è il FLO-2D (*FLO-2D Software, Inc. – Arizona – USA*).

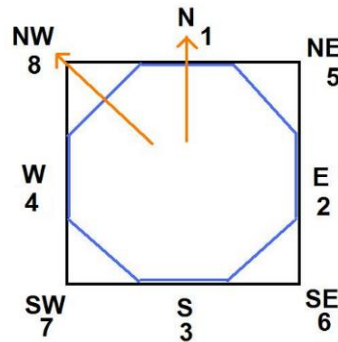
Il software studia la dinamica della modellazione della piena in condizioni di alvei incisi e di territori pianeggianti, modella la propagazione secondo due direzioni anziché una come i modelli monodimensionali. Di seguito si illustrano brevemente i contenuti del modello, rimandando ogni approfondimento, ai documenti presenti sul sito ufficiale (www.flo2d.com).

Il modello matematico del moto vario è quello che meglio si presta a descrivere la traslazione dell'onda di piena. La sua formulazione deriva dal sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali di De Saint Venant che, scritte nella forma ad una dimensione risultano le seguenti:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \text{equazione di continuità}$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{U}{g} \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} = i_f - J \quad \text{equazione dinamica}$$

dove y rappresenta il tirante idrico e U rappresenta la velocità media nella sezione in una delle otto direzioni del flusso della cella.



L'equazione di continuità, esprime il bilancio delle masse entranti ed uscenti da una generica cella invece l'equazione dell'energia, esprime, per quella medesima cella, il bilancio energetico. Questa è differenziata dal moto permanente per l'introduzione delle derivate parziali rispetto tempo. La portata è variabile sia nello spazio che nel tempo. Le perdite di carico sono basate sull'equazione di Manning.

Per Il processo alluvionale le equazioni del moto in FLO2D sono applicate calcolando la velocità media di flusso attraverso il confine della griglia di calcolo una direzione alla volta delle otto potenziali disponibili come condizioni al contorno di queste otto, quattro sono nel verso ortogonale degli assi principali (Nord-est sud e ovest) e quattro in direzione diagonale (NE-SE-SW e NW). Ciascun calcolo di velocità è essenzialmente unidimensionale in natura e viene risolto indipendentemente dalle altre sette direzioni. La stabilità di questo schema numerico è basata su un rigido criterio per il controllo della misura della variabile computazionale del passo temporale.

La procedura di calcolo dell'algoritmo consiste in:

- calcolo dei parametri caratteristici idraulici (tirante, pendenza e Manning) sono mediati sul contorno tra i due elementi della griglia;
- ogni cella è associata univocamente ad un valore di elevazione, un coefficiente di scabrezza di Manning ed un tirante idrico;
- il tirante idrico per il calcolo della velocità lungo i confini della cella è stimato dal precedente valore del timestep incrementato in maniera lineare con la formula di Manning;

$$d_x^{i+1} = d_x^i + d_{x+1}^i$$

- la prima stima della velocità è computata utilizzando l'equazione dell'onda diffusiva ($S_f = S_o - \partial h / \partial x$);

- il valore di velocità individuato viene utilizzato come primo valore per il metodo di Newton-Raphson (metodo delle tangenti) per la risoluzione dell'equazione dell'onda dinamica completa. Le velocità V nelle singole direzioni sono determinate separatamente;
- la portata in ogni singola direzione viene computata moltiplicando la velocità individuata con l'area della sezione idraulica corretta con un parametro che tiene conto della riduzione dovuta ad ostacoli (WRFs);
- anche gli altri parametri idraulici sono mediati tra le celle adiacenti in direzione del flusso per calcolare la velocità, scabrezza, sezione bagnata, tirante e perimetro bagnato;
- l'incremento di portata nel passo temporale lungo le otto direzioni viene sommato e distribuito negli accumuli locali e successivamente trasformato in aumento di tirante idrico;

$$\Delta Q_x^{i+1} = Q_n + Q_e + Q_s + Q_w + Q_{ne} + Q_{se} + Q_{sw} + Q_{nw}$$

$$\Delta d_x^{i+1} = \Delta Q_x^{i+1} \Delta t / A_{surf}$$

- Il processo deve essere verificato se supera criterio di stabilità numerica senza il quale la simulazione è riportata all'istante precedente e aumentato il time step fino alla determinazione della velocità che soddisfa i criteri di stabilità:

$$\text{Ossia: } \Delta t < \zeta S_o \Delta x^2 \div q_o$$

dove:

Δt = Passo temporale

ζ = Coeff. empirico ($0.10 < \zeta < 1.0$)

S_o = Pendenza del fondo

Δx = Dimensione della cella

q_o = Portata specifica per il canale

Rilievo topografico

Allo scopo di poter eseguire i calcoli idraulici descritti nei paragrafi precedenti si è reso necessario un rilievo topografico di dettaglio con la finalità di rilevare, oltre che la geometria fondamentale del territorio analizzato, tutte le particolarità riscontrate. Il rilievo, pertanto, ha consentito di determinare l'andamento planaltimetrico delle aree attraversate dagli impluvi oggetto di studio, necessario per la sua analisi morfologica, idrologica ed idraulica.

E' inoltre importante, per le applicazioni di modelli di propagazione bidimensionali, che il dato topografico sia quanto più possibile omogeneo e uniformemente distribuito.

Nel caso in esame si sono effettuate due campagne di rilievo topografico.

In prima battuta sono stati effettuati rilievi con strumentazione GPS molto dettagliati al fine di rilevare gli aspetti delle aree oggetto di studio nel seguito elencati:

- manufatti idraulici esistenti;
- infrastrutture di attraversamento (comprensivo del rilievo immediatamente a monte e a valle di ognuno di essi);
- singolarità idrauliche o strutture di regimazione della piena quali muretti, sbarramenti e soglie (comprensivo del rilievo immediatamente a monte e a valle di ognuna di esse).

Si riportano nel seguito alcune immagini relative al rilievo topografico in sito condotto con strumentazione GPS.



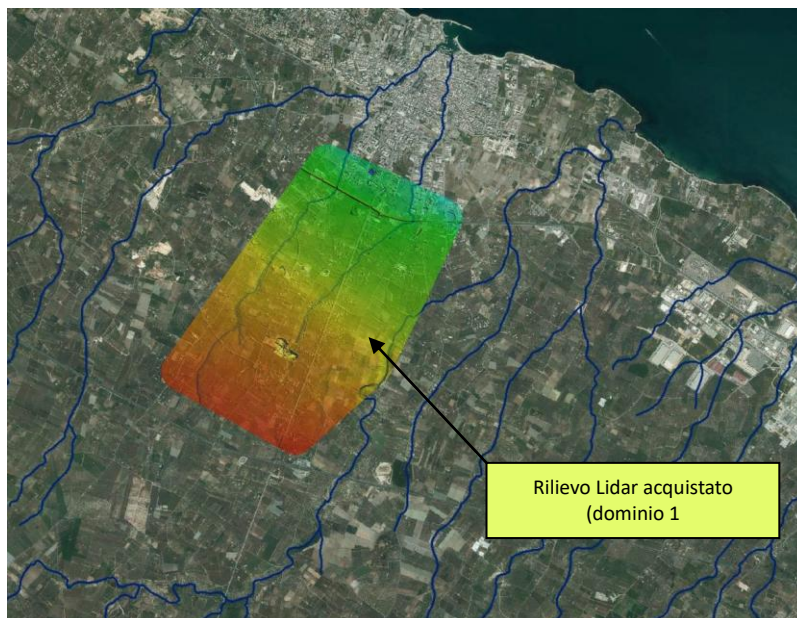
Rilievo topografico in sito condotto con strumentazione GPS di precisione. I punti neri e verdi rappresentano il dato rilevato, i particolare i tombini idraulici al di sotto della SS16

E' stato elaborato, sulla base delle informazioni disponibili, il modello tridimensionale che, associato ai punti rilevati con strumento GPS e ai punti al suolo e curve di livello della CTR 1:5000, hanno consentito di costruire il DEM da porre a base del modello di calcolo idraulico.

Al fine di ottenere un DEM omogeneo e con densità di punti molto elevata (maglia uniforme di 2 metri), si è scelto di acquisire un nuovo rilievo topografico realizzato con tecnologia lidar attraverso rilievo aereo. Un esempio dei risultati ottenuti è riportato nelle figure seguenti.

Il rilievo così ottenuto è stato integrato con il precedente al fine di realizzare il modello del terreno

da porre a base dei calcoli idraulici.

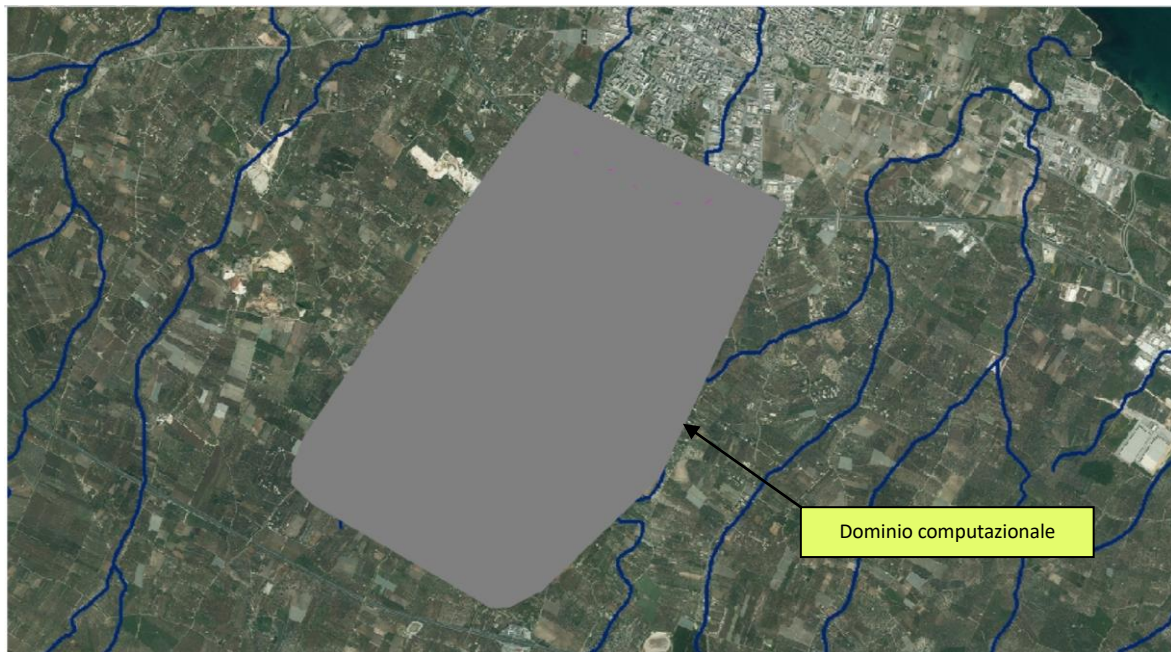


Rilievo topografico condotto attraverso tecnologia aerea con risoluzione di 2 metri

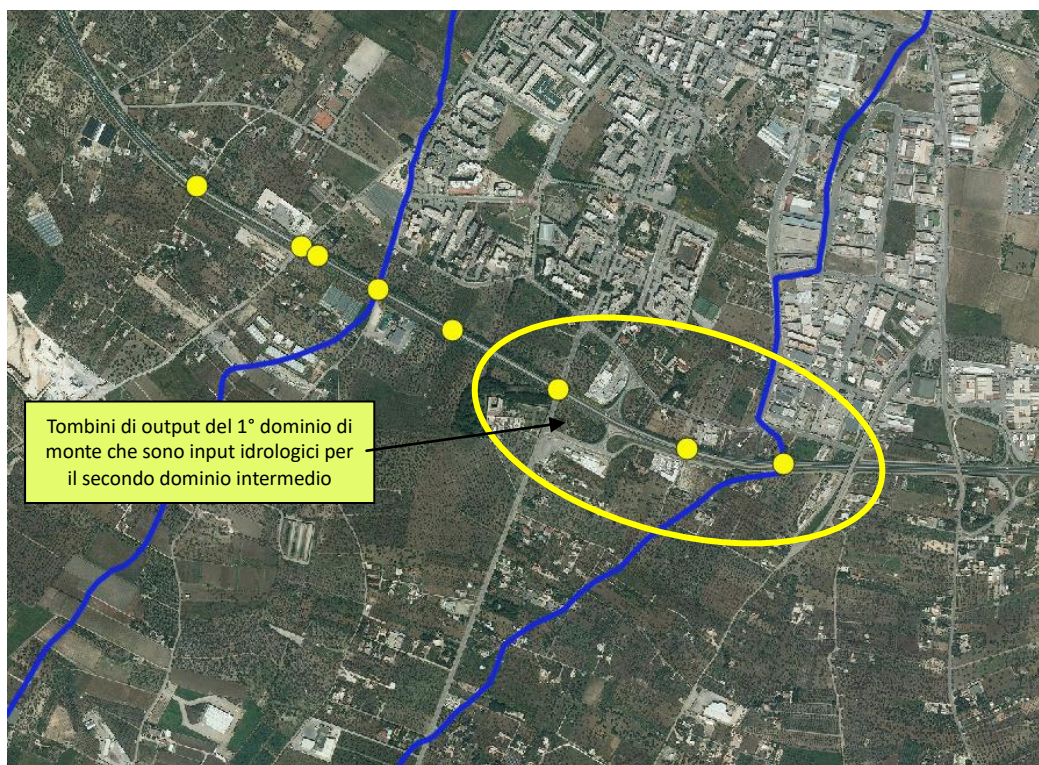
Modello idraulico SUD (modello 1)

Come già descritto nei paragrafi iniziali, il modello idraulico SUD, determinerà gli idrogrammi di output dai tombini della SS16 che saranno di INPUT idrologico al successivo modello idraulico INTERMEDIO posto immediatamente a valle.

Per il modello Sud (modello 1 di monte), allo scopo di poter eseguire i calcoli idraulici, si sono adottate le informazioni plano altimetriche rilevate con gli strumenti e le modalità sopra descritte, per la realizzazione della griglia topografica da utilizzare nel modello di calcolo idraulico. Il DEM ricavato è stato processato attraverso il PREPROCESSING GRID DEVELOPER SYSTEM (GDS). Il GDS consente di elaborare il DEM inserendo tutti gli elementi necessari per la costruzione della geometria di calcolo. Il GDS opera su un grid di dimensione di cella predefinita, ovviamente la dimensione della cella è correlata alla stabilità del sistema in funzione del time-step di calcolo, delle condizioni al contorno, ecc. Nel caso in esame è stata utilizzata una griglia di calcolo la cui dimensione di cella è stata prefissata pari a **5 metri**. La scelta è stata molto onerosa in quanto se si pensa all'elevato numero di computazioni necessarie per giungere ad una configurazione del fenomeno quanto più possibile aderente alla realtà dei luoghi e agli elevatissimi tempi di calcolo, nonostante l'utilizzo di PC molto performanti. Si rimanda, per ogni approfondimento relativo agli aspetti tecnici e alla teoria del modello idraulico, ai documenti presenti sul sito ufficiale dei produttori del software (www.flo2d.com).



Geometria del modello idraulico (planimetria)



Individuazione dei tombini di out put del 1° dominio di monte

La Strada Statale 16 bis presenta, nell'area studiata, sia ponti per l'attraversamento stradale (esempio strada provinciale) sia tombini per consentire il transito delle acque da monte a valle. Questi ultimi nel caso in esame sono di modeste dimensioni rispetto ai primi a testimonianza dell'esigua attitudine dei bacini studiati a generare deflussi verso valle.

Nel caso in esame i ponti (ritenuti poco significativi come **ostacolo** al deflusso) sono stati inseriti direttamente elaborando il rilievo lidar, in sostanza sono stati "eliminati" gli impalcati e il rilevato, pertanto

le acque riescono tranquillamente a defluire verso valle senza alcuna singolarità.

Riguardo i tombini (ritenuti più significativi dal punto di vista di ostacolo al deflusso) ne sono stati rilevati 3, si sono ipotizzati valori di scabrezza relativi ad uno stato di manutenzione medio (Scabrezza di Manning = 0.25). Di questi è stata dedotta la scala di deflusso per inserirla nel modello idraulico fino ad una altezza cautelativa che prevede un grado di riempimento dell'80%.

Si riportano nel seguito le scale di deflusso calcolate per tutti e tre i tombini rilevati.

Tombino n.1		Tombino n.2		Tombino n.3	
H [m]	Q [m³s]	H [m]	Q [m³s]	H [m]	Q [m³s]
0	0	0	0	0	0
0.1	0.08	0.1	0.38	0.1	0.18
0.2	0.31	0.5	4.95	0.5	2.21
0.35	0.5	1	13.92	1	6.04
		4	88.4	2.8	23.39
		5	88.5	3	25

Le analisi di propagazione sono state condotte a scabrezza variabile in modo da tener conto dell'effetto dell'uso del suolo sui fenomeni di propagazione, ovvero per ogni cella è stato inserito il valore di scabrezza di Manning corrispondente, in funzione dell'uso del suolo presente in sito. I dati di scabrezza sono stati desunti dalle mappe dell'uso del suolo rese disponibili dall'Ufficio Cartografico Regionale.

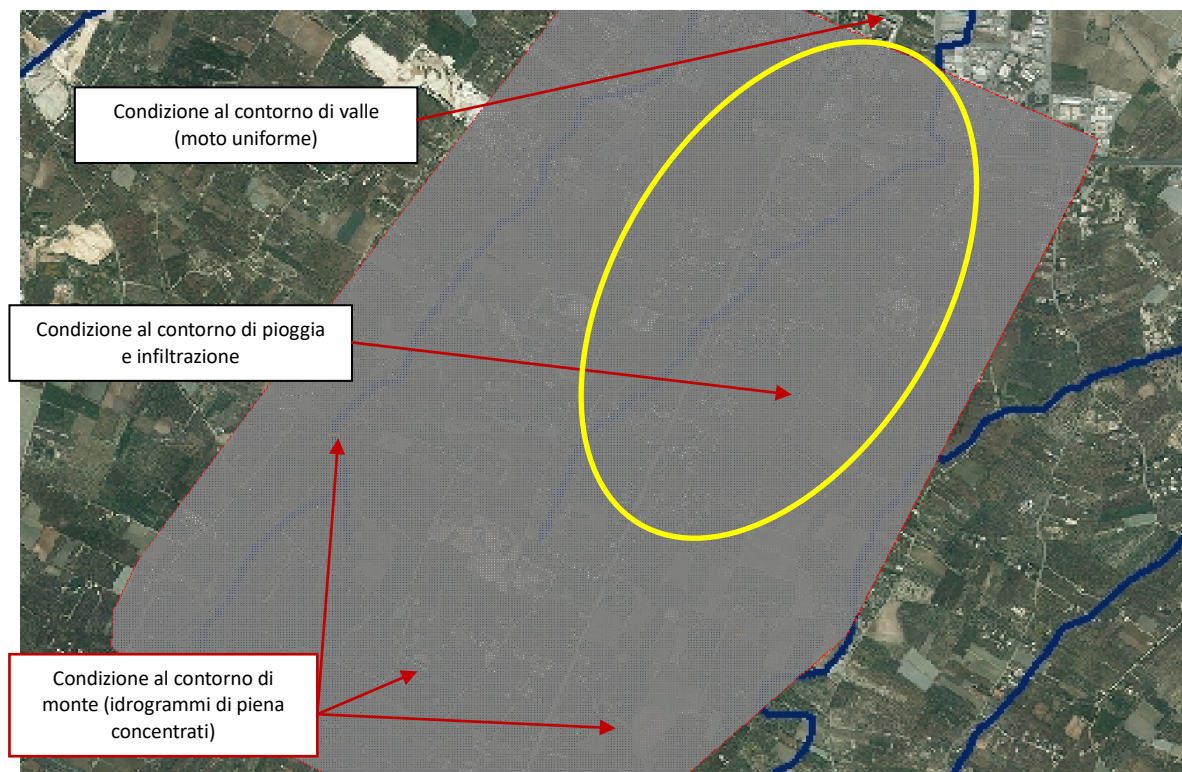
Nello studio condotto:

- le condizioni a contorno di monte hanno riguardato gli idrogrammi di piena;
- le condizioni al contorno di valle (celle di *outflow* con libera uscita dal dominio in moto uniforme) sono state inserite lungo un limite parallelo e immediatamente a valle della SS16 per tutta l'estensione del rilievo LIDAR, in quanto la viabilità costituisce sbarramento e singolarità del deflusso verso il centro urbano.

Inoltre, al fine di considerare il contributo delle acque zenitali del bacino residuo, si è inserito uno ietogramma di pioggia costante (per ognuno dei due tempi di ritorno) su tutto il dominio di calcolo, inserendo per ogni cella il valore di Curve Number corrispondente.

Le simulazioni idrauliche, condotte in moto vario, hanno consentito di ricavare cella per cella, in funzione del tempo di ritorno prefissato, una serie di grandezze idrodinamiche fondamentali per le valutazioni conseguenti tra cui la determinazione dei livelli di pericolosità idraulica connessi.

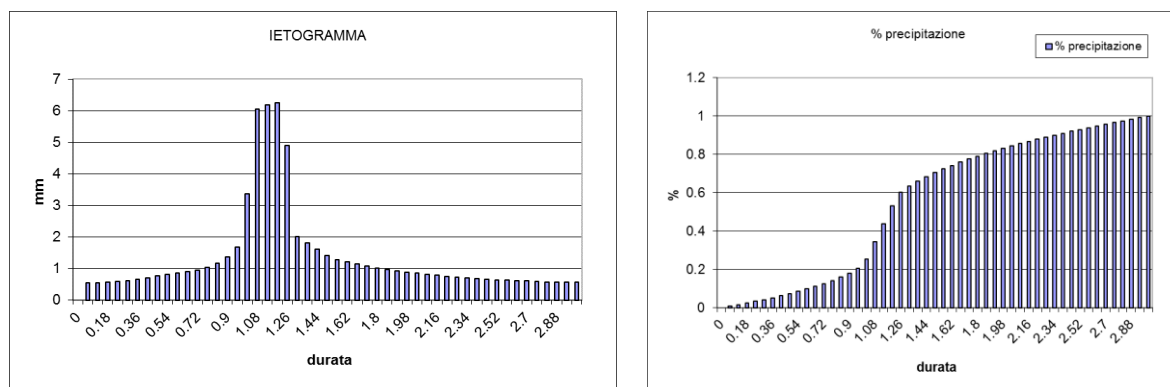
Nel caso in esame, in funzione dei risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate, sono state estratte le seguenti mappe che riguardano l'andamento dei massimi temporali dei tiranti idrici e l'andamento delle velocità **ma soprattutto (obiettivo del presente studio) sono stati determinati gli idrogrammi in uscita dal modello (dai tombini) nel tempo di ritorno di 200 anni che saranno posti come input nel successivo modello di valle (modello intermedio 2).**



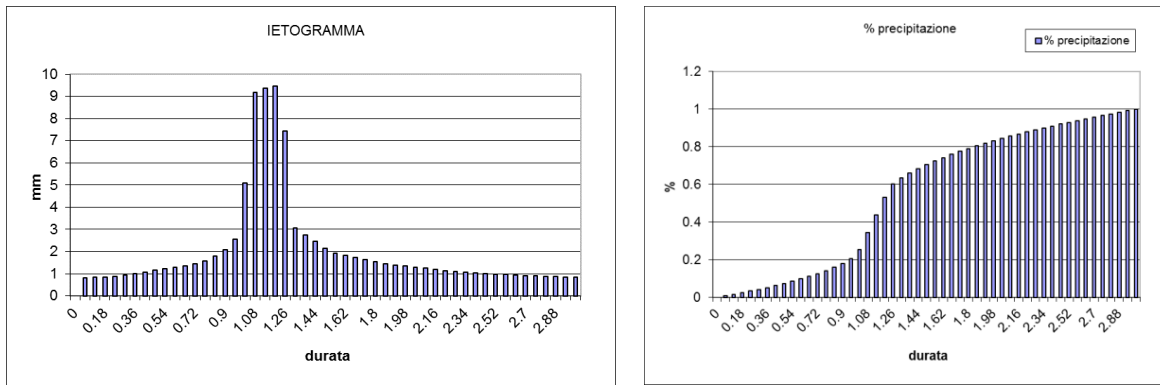
Condizioni al contorno utilizzate nel modello di calcolo

Nel caso esaminato, come già accennato e come desumibile dall'esame della figura sopra riportata, sono stati inseriti gli idrogrammi di piena a monte della SS16 in rappresentanza del bacino idrografico riferito a ciascuno degli impluvi individuati che intersecano il tracciato stradale a monte dell'area di interesse. È stata inoltre inserita la pioggia zenitale (a vantaggio di sicurezza utilizzando uno ietogramma di tipo Chicago) ed il valore di infiltrazione relativo ai suoli su cui la stessa cade, per l'area del **bacino Residuo**.

I calcoli idrologici sono stati condotti, come già detto facendo riferimento ad un'ipotesi di umidità antecedente l'evento di carattere elevata (CN3). La durata della precipitazione è pari a 3 ore e i valori delle altezze di pioggia per tempi di ritorno di 30 e 200 anni sono rispettivamente pari a 67,14 mm, 101,88 mm.



Ietogramma e cumulata per tr 30 anni



Ietogramma e cumulata per tr 200 anni

Tali ietogrammi saranno utilizzati anche per il successivo modello intermedio (modello 2) di valle.

A valle dei tombini sono state inserite delle sezioni di controllo dalle quali poter ricavare gli idrogrammi (che costituiranno input idrologici del successivo modello intermedio).

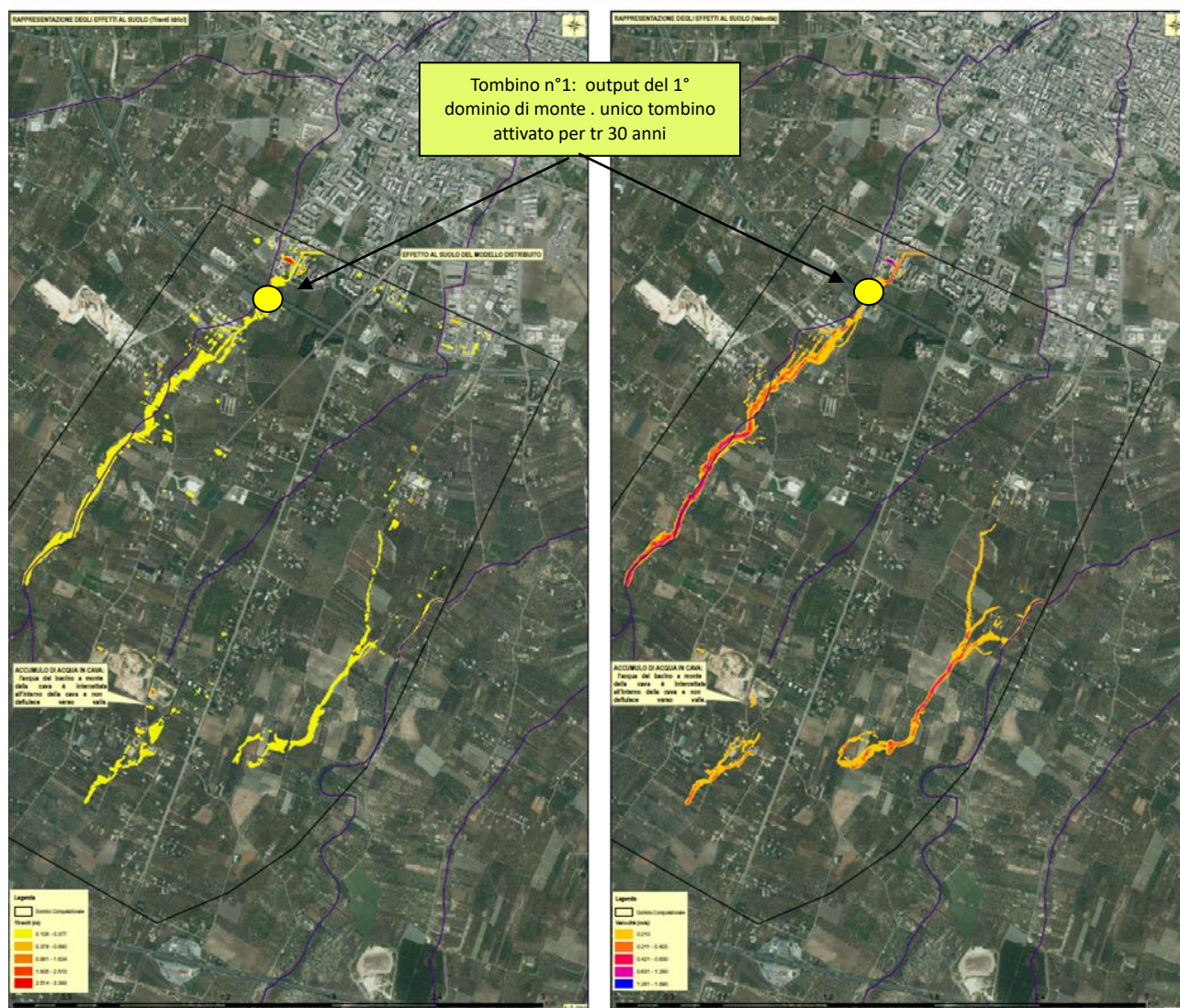


Tombini e sezioni di controllo (nel caso in oggetto le sezioni interessate sono C, D ed E)

Pertanto, le simulazioni condotte hanno consentito di determinare i valori dei tiranti e delle velocità al fine di individuare le aree a pericolosità idraulica.

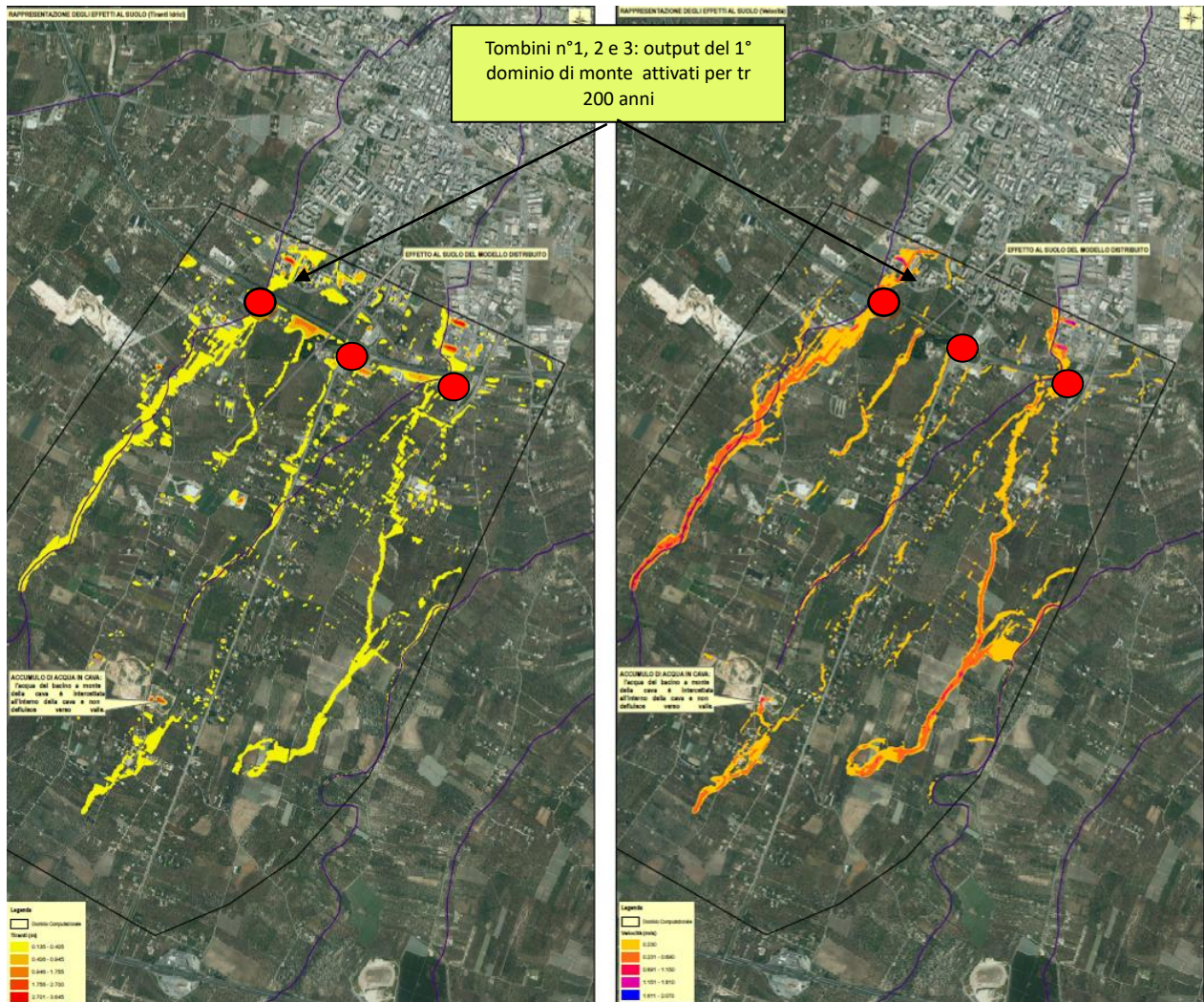
Si sottolinea che ogni simulazione ha generato una mappa con valori di tiranti e velocità.

Le immagini dei risultati conseguiti sono di seguito riportate demandando alle tavole una più adeguata rappresentazione cartografica.



Mappe dei tiranti idrici e delle velocità per tr 30 anni (zona sud di Bisceglie)

Dalle immagini sopra allegate si evince che per tr 30 anni, l'unico deflusso che interessa il territorio oggetto di studio risulta quello del bacino 1, che è convogliato verso il tombino del reticolo di riferimento. Gli altri 3 bacini (bacino 2, bacino 3 e bacino residuo) non risultano dare contributi significativi alla pericolosità idraulica.



Mappe dei tiranti idrici e delle velocità per tr 200 anni (zona sud di Bisceglie)

Dall'esame dei risultati per tr 200 anni si evince che:

- per quanto riguarda il bacino 1 si conferma quanto visto per la simulazione tr 30 anni ossia i deflussi (dell'idrogramma concentrato) sono convogliati direttamente verso il tombino del reticolo di riferimento, creando una zona di allagamento immediatamente a monte della SS16.
- I deflussi di piena (dell'idrogramma concentrato) del bacino 2 che giungono da monte sono intercettati nella cava esistente, pertanto non riescono a giungere fino a valle;
- I deflussi (dell'idrogramma concentrato) del bacino 3 si suddividono in due direzioni preferenziali ossia verso valle (entrando attraverso il tombino nel centro urbano) e verso est contribuendo alla piena del reticolo con termine NON oggetto del presente studio.
- Per quanto riguarda il bacino residuo, la precipitazione applicata (a vantaggio di sicurezza con

ietogramma chicao e CN3) risulta interessare delle zone a ridosso della SS16 e una minima parte (direzione preferenziale di deflusso) in zone contermini alla Strada Provinciale 85 (via Sant'Andrea).

Gli idrogrammi in uscita dal modello 1 (di monte), sono di seguito riportati

	A	C	D	E	B	
	1	2	3	4	5	
TIME (HRS)						
0.1	0	0	0	0	0	0
0.2	0	0	0	0	0	0
0.3	0	0	0	0	0	0
0.4	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0
0.6	0	0	0	0	0	0
0.7	0	0	0	0	0	0
0.8	0	0	0	0	0	0
0.9	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
1.1	0	0	0	0.01	0	0
1.2	0	0	0	0.01	0	0
1.3	0	0	0	0	0	0
1.4	0	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0.03	0	0
1.6	0	0	0	0.01	0	0
1.7	0	0.01	0.01	-0.01	0.02	0
1.8	0	0.01	0.01	0.02	0	0
1.9	0.8	0.02	0	0	0	0
2	2.47	0.01	0.01	0	0.01	0
2.1	3.25	0.01	0.02	0	0	0
2.2	3.78	0.01	0.02	0.02	0.01	0
2.3	4.29	0.01	0	0.06	0	0
2.4	4.16	0.03	0.01	0.16	0	0
2.5	4.28	0.03	0.02	0.21	0.01	0
2.6	4.1	0.03	0	0.47	0.03	0
2.7	3.86	0.03	0.01	0.76	0.2	0
2.8	3.54	0.03	0	0.94	0.43	0
2.9	3.29	0.03	0.01	1.22	0.54	0
3	3.07	0.06	0.09	1.58	0.63	0
3.1	2.84	0.08	0.18	1.94	0.62	0
3.2	2.62	0.11	0.25	2.31	0.62	0
3.3	2.49	0.13	0.31	2.62	0.62	0
3.4	2.35	0.14	0.5	2.87	0.62	0
3.5	2.17	0.41	0.51	3.01	0.62	0
3.6	2.02	0.45	0.32	3.11	0.62	0
3.7	1.84	0.46	0.5	3.11	0.62	0
3.8	1.68	0.44	0.49	3.11	0.62	0
3.9	1.53	0.43	0.48	3.06	0.62	0
4	1.39	0.43	0.29	2.95	0.62	0
4.1	1.26	0.42	0.3	2.85	0.62	0
4.2	1.16	0.4	0.29	2.74	0.62	0
4.3	1.08	0.41	0.29	2.68	0.62	0
4.4	0.98	0.41	0.54	2.47	0.62	0
4.5	0.91	0.42	0.56	2.38	0.62	0
4.6	0.83	0.43	0.56	2.23	0.62	0
4.7	0.78	0.37	0.53	2.11	0.62	0
4.8	0.74	0.36	0.53	2.05	0.62	0
4.9	0.69	0.34	0.49	1.91	0.62	0
5	0.66	0.32	0.47	1.84	0.62	0

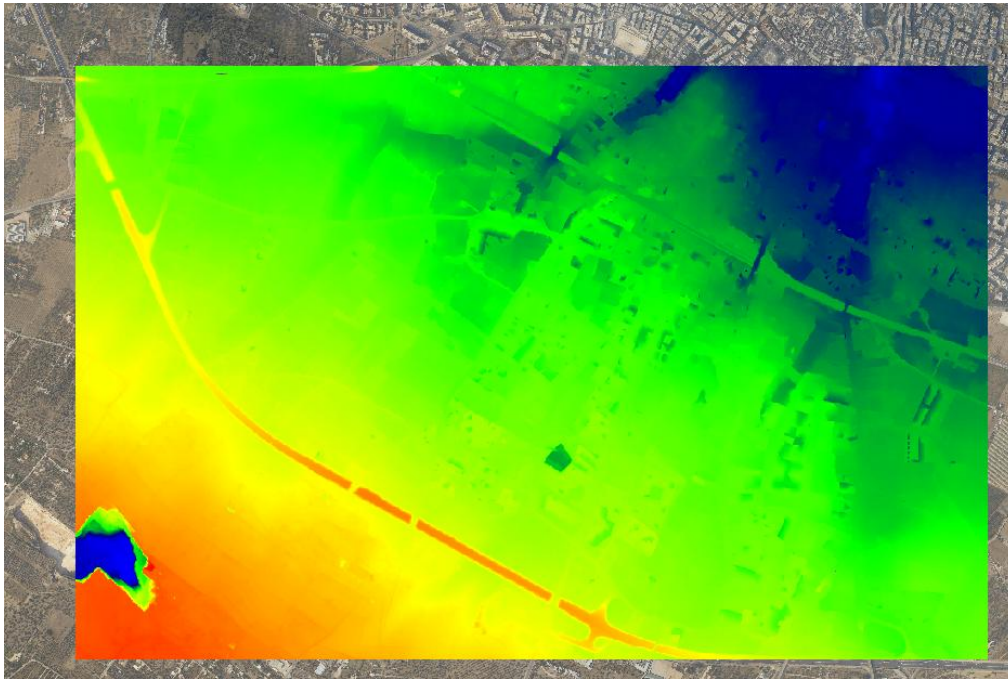
	A	C	D	E	B	
TIME (HRS)						
5.1	0.64	0.3	0.31	1.73	0.62	0
5.2	0.6	0.28	0.3	1.62	0.62	0
5.3	0.57	0.26	0.29	1.58	0.62	0
5.4	0.52	0.24	0.27	1.45	0.62	0
5.5	0.5	0.23	0.26	1.33	0.62	0
5.6	0.45	0.21	0.24	1.25	0.62	0
5.7	0.45	0.18	0.23	1.17	0.62	0
5.8	0.43	0.17	0.22	1.07	0.62	0
5.9	0.41	0.16	0.21	0.98	0.62	0
6	0.39	0.14	0.19	0.92	0.62	0
6.1	0.37	0.13	0.18	0.85	0.62	0
6.2	0.34	0.13	0.17	0.78	0.62	0
6.3	0.32	0.12	0.16	0.75	0.62	0
6.4	0.31	0.11	0.15	0.7	0.62	0
6.5	0.3	0.11	0.14	0.69	0.62	0
6.6	0.27	0.1	0.13	0.64	0.62	0
6.7	0.26	0.1	0.12	0.59	0.62	0
6.8	0.25	0.09	0.11	0.56	0.62	0
6.9	0.23	0.09	0.11	0.54	0.62	0
7	0.22	0.08	0.1	0.53	0.62	0
7.1	0.21	0.08	0.1	0.5	0.62	0
7.2	0.16	0.08	0.09	0.49	0.62	0
7.3	0.18	0.07	0.09	0.46	0.62	0
7.4	0.15	0.07	0.09	0.45	0.62	0
7.5	0.15	0.07	0.08	0.41	0.62	0
7.6	0.15	0.07	0.08	0.37	0.62	0
7.7	0.14	0.07	0.07	0.34	0.62	0
7.8	0.15	0.06	0.07	0.34	0.62	0
7.9	0.14	0.06	0.07	0.32	0.62	0
8	0.14	0.06	0.07	0.32	0.62	0
8.1	0.13	0.06	0.06	0.31	0.62	0
8.2	0.12	0.05	0.07	0.3	0.62	0
8.3	0.12	0.05	0.06	0.29	0.62	0
8.4	0.11	0.05	0.05	0.26	0.62	0
8.5	0.11	0.04	0.04	0.26	0.62	0
8.6	0.11	0.05	0.03	0.25	0.62	0
8.7	0.1	0.04	0.03	0.24	0.62	0
8.8	0.1	0.04	0.02	0.22	0.57	0
8.9	0.09	0.04	0.02	0.21	0.55	0
9	0.09	0.04	0.02	0.21	0.53	0
9.1	0.09	0.04	0.02	0.19	0.52	0
9.2	0.08	0.04	0.02	0.18	0.49	0
9.3	0.08	0.03	0.02	0.19	0.47	0
9.4	0.08	0.03	0.02	0.18	0.45	0
9.5	0.07	0.02	0.02	0.17	0.43	0
9.6	0.07	0.03	0.02	0.17	0.41	0
9.7	0.07	0.03	0.02	0.16	0.4	0
9.8	0.07	0.03	0.02	0.16	0.38	0
9.9	0.06	0.02	0.02	0.16	0.35	0
10	0.06	0.02	0.02	0.14	0.32	0

Idrogrammi in uscita dal modello SUD 1.(in rosso gli idrogrammi che interessano la zona Est)

Modello idraulico INTERMEDIO (modello 2)

Il dominio intermedio 2 è racchiuso tra la SS16 e la ferrovia.

Anche in questo caso, come per il modello Sud (modello 1 di monte), si sono adottate le informazioni plano altimetriche derivate dal rilievo LIDAR implementato e processato attraverso il PREPROCESSING GRID DEVELOPER SYSTEM (GDS) che consente di elaborare il DEM inserendo tutti gli elementi necessari per la costruzione della geometria di calcolo. Nel caso in esame è stata utilizzata una griglia di calcolo la cui dimensione di cella è stata prefissata pari a 5 metri.



Rilievo LIDAR utilizzato come base topografica del dominio intermedio 2

Come già anticipato, le condizioni al contorno di monte risultano gli idrogrammi in uscita al modello SUD 1 (si sottolinea che il modello SUD è stato già analizzato dalla Segreteria tecnica Operativa, dell'autorità di Bacino degli Appennini meridionali nell'ambito dell'istruttoria tecnica relativa al progetto PAI adottato con Decreto Segretariale n. 624 del .4/10/2019)

Inoltre sono applicati, a vantaggio di sicurezza, per il bacino residuo, diversi idrogrammi (di durata variabile, 1, 2, 3 e 4 ore) come pioggia uniformemente distribuita, adottando quello che determina il maggior deflusso in uscita dal modello.

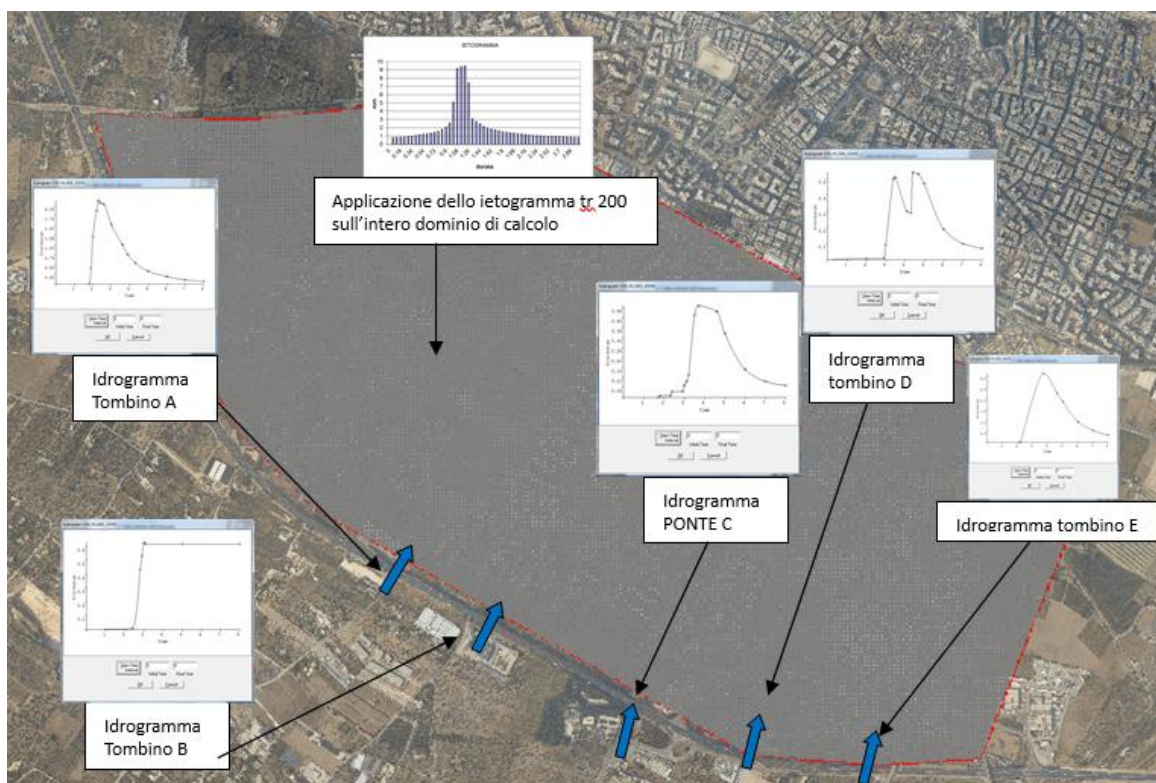
In altri termini, sono stati previsti diverse ipotesi di precipitazione per massimizzare gli effetti del deflusso verso valle che sarà adottato come condizione al contorno di monte dal successivo modello idraulico NORD 3.

Gli ietogrammi applicati, di tipo Chicago, sono riferiti al tempo di ritorno di 200 anni e presentano i seguenti valori di durata e altezza di precipitazione:

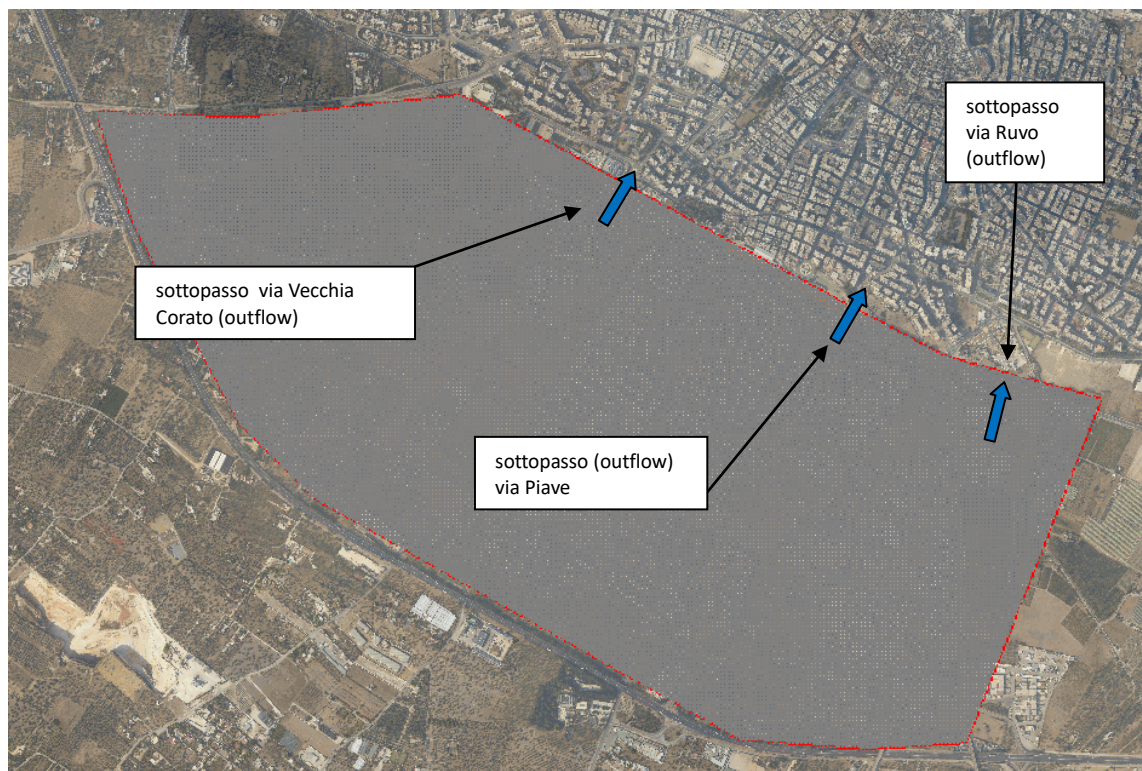
durata [h]	1	2	3	4
Altezza precipitazione [mm]	81.696	94.418	102.760	109.121

Durate e altezze di precipitazione applicate come pioggia distribuita sul dominio

Le condizioni al contorno di valle, invece, sono le celle di *outflow* inserire nei sottopassi al di sotto della ferrovia



Individuazione delle condizioni al contorno di monte del dominio intermedio 2

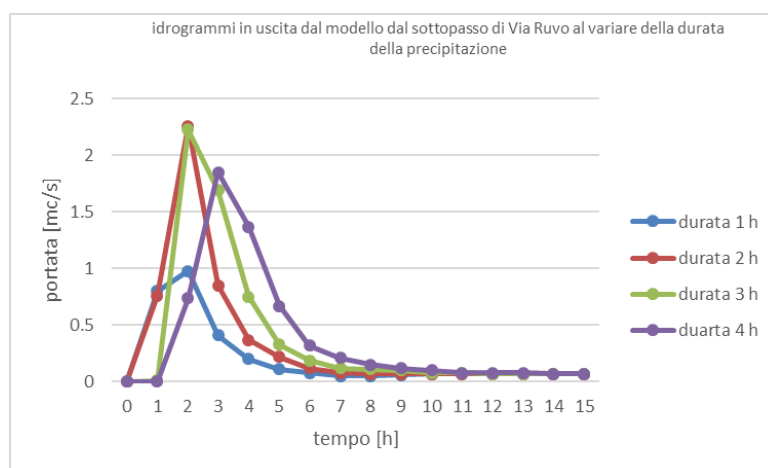


Individuazione delle condizioni al contorno di valle del dominio intermedio 2

Le simulazioni condotte hanno consentito di determinare i valori dei tiranti e delle velocità e soprattutto gli idrogrammi in uscita dai sottopassi.

Analizzando gli idrogrammi in uscita si riscontra che la precipitazione più gravosa (ietogramma applicato a parametri distribuiti) risulta quella relativa alle 3 ore perché a parità di valore massimo della portata dispone di un volume maggiore.

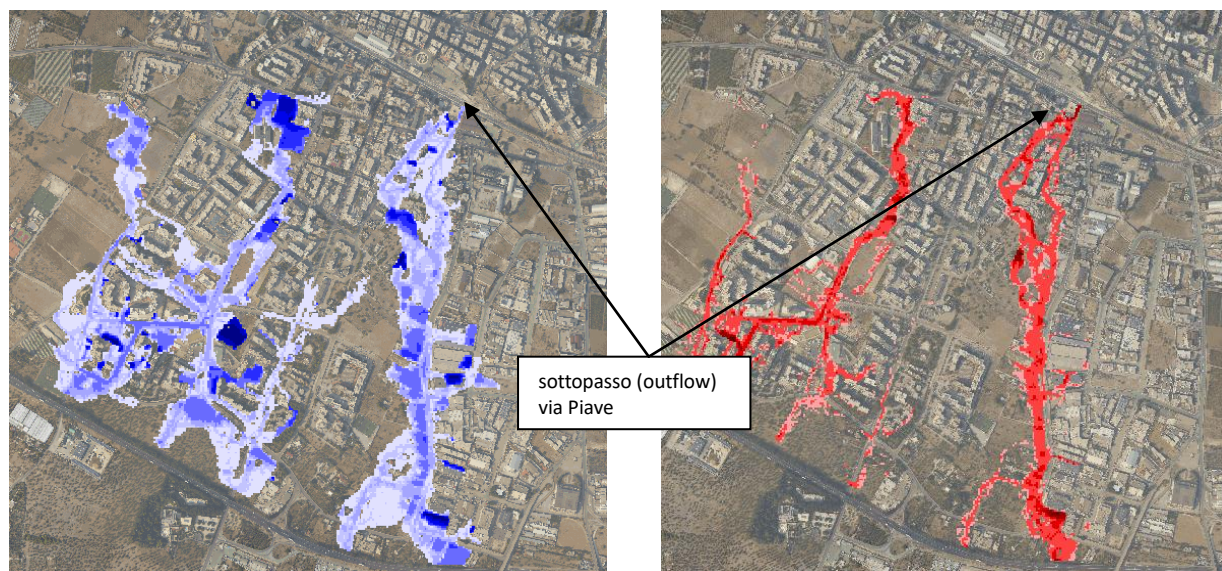
durata [h]	1	2	3	4
tempo[h]				
0	0	0	0	0
1	0.8	0.76	0.01	0
2	0.98	2.26	2.23	0.74
3	0.41	0.85	1.69	1.85
4	0.2	0.37	0.75	1.37
5	0.11	0.22	0.33	0.67
6	0.08	0.12	0.19	0.32
7	0.05	0.08	0.12	0.21
8	0.05	0.07	0.11	0.15
9	0.06	0.07	0.1	0.12
10	0.07	0.07	0.08	0.1
11	0.07	0.07	0.08	0.08
12	0.07	0.07	0.07	0.08
13	0.07	0.07	0.07	0.08
14	0.07	0.07	0.07	0.07
15	0.07	0.07	0.07	0.07



Idrogrammi di uscita dal sottopasso di via Ruvo al variare delle durate di applicazione degli ietogrammi

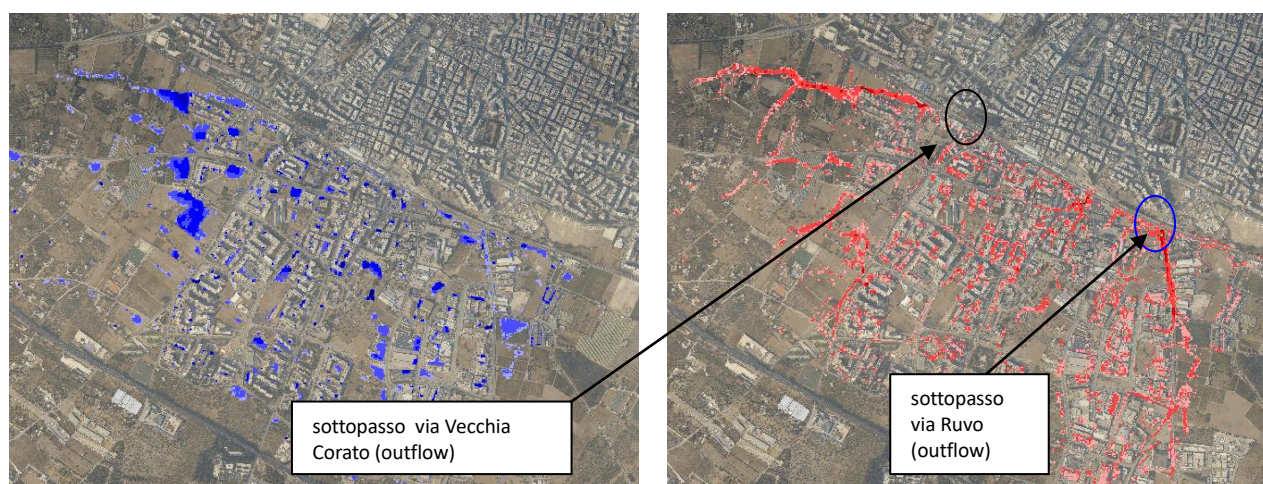
Di seguito sono riportate, **per facilità di rappresentazione**, l'effetto al suolo dei soli parametri concentrati ovvero degli idrogrammi che provengono dal modello sud.

L'immagine sotto riportata evidenzia che gli idrogrammi che provengono dal modello sud hanno influenza solo nel sottopasso di **via Piave**.



Rappresentazione dell'effetto al suolo degli idrogrammi concentrati provenienti dal modello sud applicati come condizione al contorno di valle del modello intermedio (in blu i tiranti e in rosso le velocità).

Invece valutando separatamente, gli apporti degli ietogrammi applicati si evidenzia che l'apporto della pioggia distribuita **influenza i sottopassi di via vecchia Corato e di Via Ruvo** (quest'ultimo costituisce condizione al contorno di monte del successivo modello).

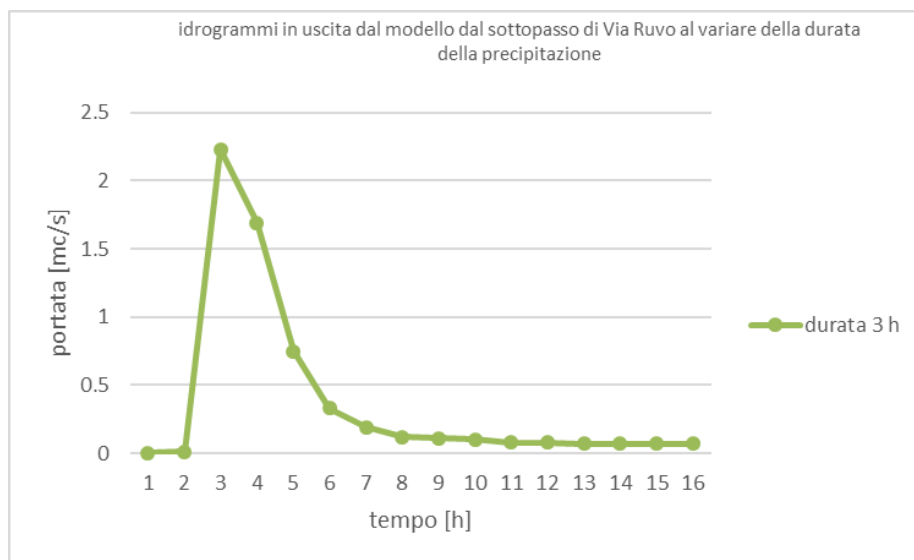


Rappresentazione dell'effetto al suolo dello ietogrammi 3 ore applicato al dominio (in blu i tiranti e in rosso le velocità).

Ovviamente la valutazione e la determinazione dell'idrogramma in uscita dal sottopasso di via Ruvo che

costituisce condizione al contorno del modello NORD finale, è stata comunque effettuata applicando contestualmente, nel modello intermedio, sia i parametri concentrati sia lo ietogramma di pioggia distribuita con durata di 3 h.

Per quanto sopra, l'idrogramma in uscita dal sottopasso di Via Piave presenta una portata massima di 2.23 mc/s.



Modello idraulico DI VALLE (modello 3)

Il modello idraulico di valle è implementato per valutare la compatibilità dell'intervento.

il dominio di studio è limitato esclusivamente al territorio contermini al sito in oggetto.

Come già descritto, la condizione al contorno di monte è rappresentata dall'idrogramma in uscita dal modello intermedio n°2 e applicato al sottopasso di via Ruvo.

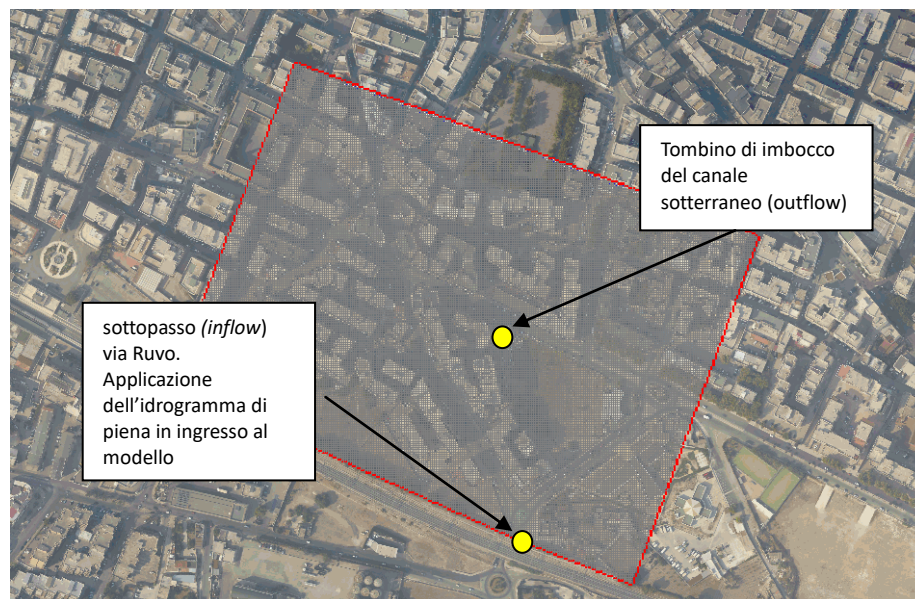
Data l'esigua estensione del dominio di studio, non è prevista l'applicazione dello ietogramma come pioggia distribuita.

Il dato topografico utilizzato è sempre il rilievo LIDAR acquisito, in questo caso del Ministero dell'ambiente.

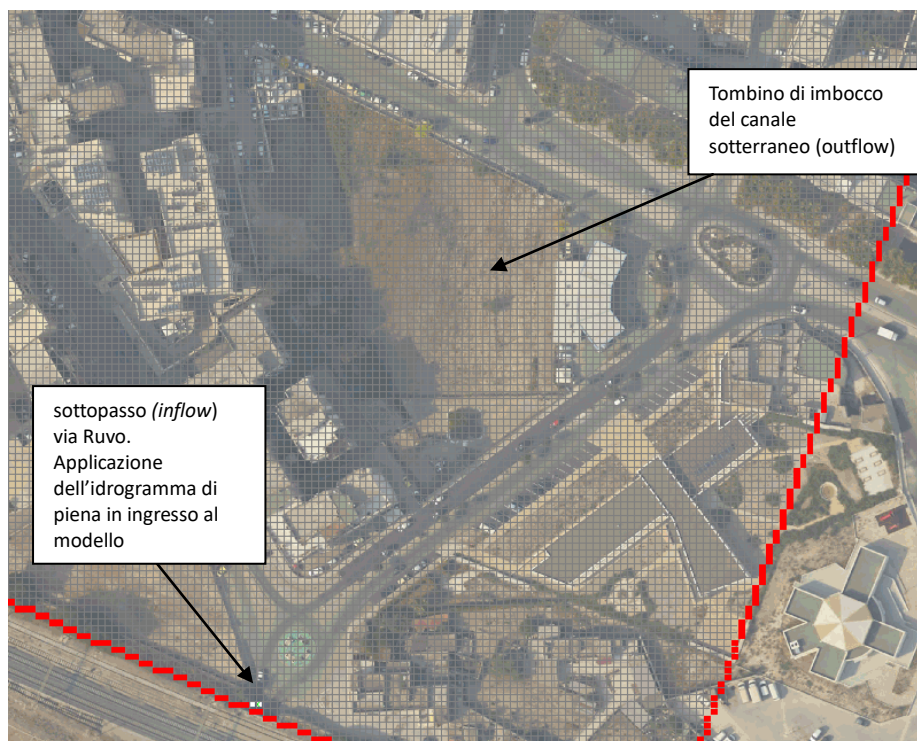
La condizione al contorno di valle è rappresentata dal tombino di imbocco del canale sotterraneo già descritto nel paragrafo dedicato nella quale si applica la condizione di moto uniforme (*outflow*).

A vantaggio di sicurezza, è stata inserita la scala di deflusso del tombino considerando solo il 50% della sezione libera (ovvero considerando il tombino occluso per il 50%). La portata massima prevista dal tombino in condizioni di riempimento totale (al 505%) è di circa 1 mc/s. a vantaggio di sicurezza, anche per altezze di

carico (*Head water inlet condition*) superiori allo speco, si utilizzerà il valore di deflusso pari a 1 mc/s anche se in tali condizioni la pressione a monte aumenta il deflusso all'interno del tombino.



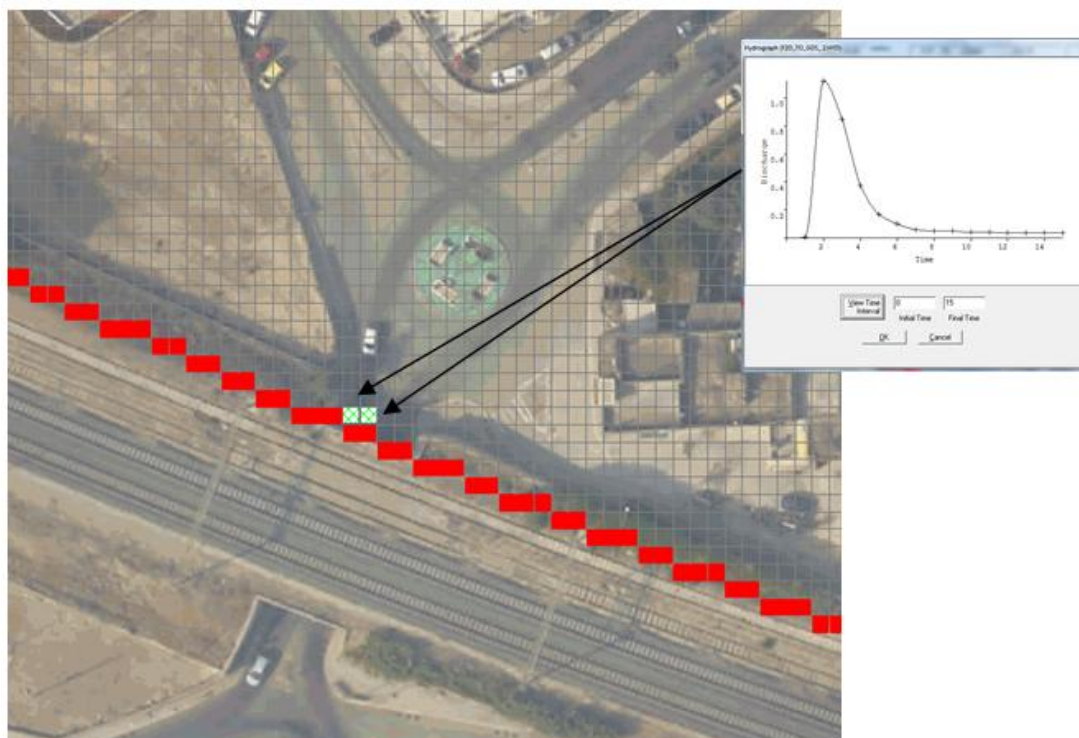
Rappresentazione del modello idraulico NORD n°3. condizioni al contorno di monte (idrogramma in ingresso) e di valle (tombino idraulico)



Particolare della localizzazione delle condizioni al contorno del modello idraulico NORD n°3.

carico (*Head water inlet condition*) superiori allo speco, si utilizzerà il valore di deflusso pari a 1 mc/s anche se in tali condizioni la pressione a monte aumenta il deflusso all'interno del tombino.

Le celle del dominio hanno un lato di 2 m per avere un dettaglio massimo e un modello quanto più aderente alla realtà anche se tali dimensioni però allungano notevolmente il tempo computazionale e soprattutto espongono il modello a rischi di instabilità. Per questo motivo è stato suddiviso l'idrogramma in ingresso in parti uguali due celle contigue



Suddivisione dell'idrogramma in ingresso in due celle (Sottopasso via Ruvo)

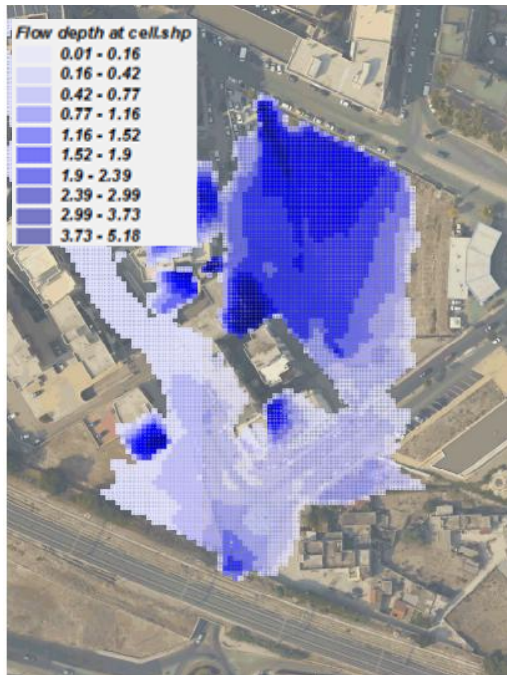
La modellazione (per tr 200 anni) è stata infine effettuata in condizioni di pre e post operam.

Nel modello idraulico preoperam, è stato utilizzato il rilievo LIDAR così come acquisito del Ministero dell'ambiente e implementato nel GDS con celle da 2 m.

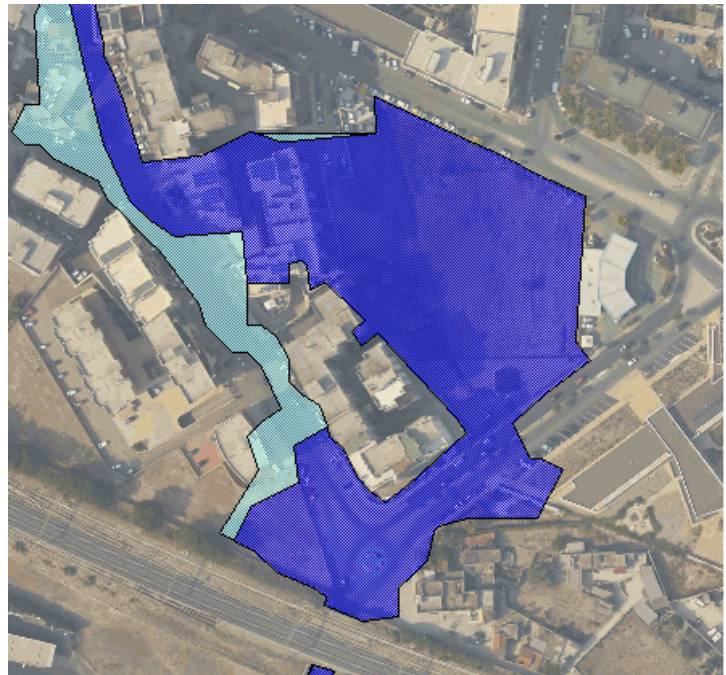
I risultati hanno evidenziato il reale percorso delle acque che si discosta leggermente da quello individuato nel PAI vigente e soprattutto restituisce dati dei parametri idrodinamici necessari alla successiva verifica rispetto allo stato di progetto.

Come riporta l'immagine seguente il deflusso idraulico, in uscita dal sottopasso si convoglia prevalentemente verso il sito interessato che risulta depresso morfologicamente rispetto la zona circostante e in parte in vi Isonzo. L'effetto al suolo è molto simile con l'area a media pericolosità idraulica riportata nel PAI vigente ma con l'unica differenza che il modello dell'Autorità di Bacino non ha considerato il tombino di imbocco del canale sotterraneo. Questa differenza, diventa significativa in quanto permette alle acque di Non esondare in sinistra idraulica , dal sito depresso verso via Isonzo (come invece viene riportato nel PAI

vigente).



Rappresentazione dei tiranti idraulici allo stato di fatto (modello pre operam) solo per tr 200 anni

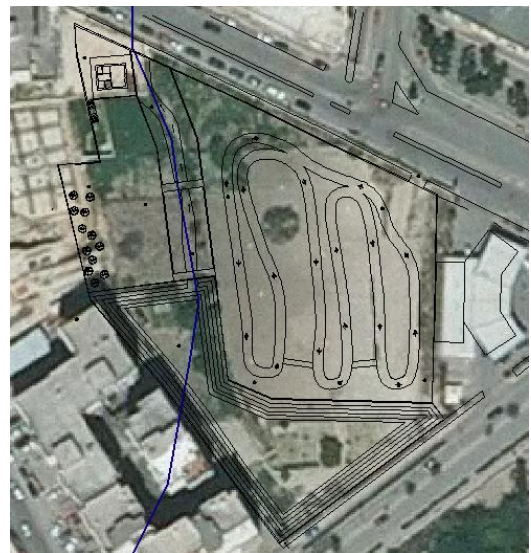


Rappresentazione delle aree ad alta e media pericolosità idraulica riportate nel PAI vigente

Il livello idrico raggiunto in prossimità del tombino di imbocco risulta pari a 2.70 m ovvero 16.97 m slm.

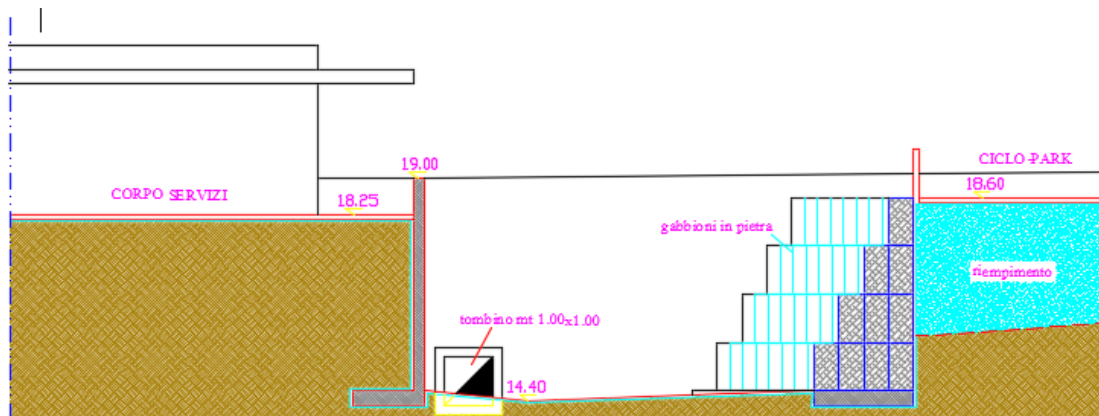
Il **modello idraulico postoperam**, ricalca il precedente modello con la differenza che vengono modificate le relative quote del terreno così come previste nel progetto.

Il progetto prevede la realizzazione di un'area ciclocross in sinistra idraulica per una estensione di circa 3.500 mq, mentre in destra idraulica un'area dog park, elevata a 18.60 m slm e edificio servizi già a 18.25 m slm. entrambe le aree sono portate finite ad una quota di 18.60 m slm e protette nelle loro scarpate da gabbionate in pietra.





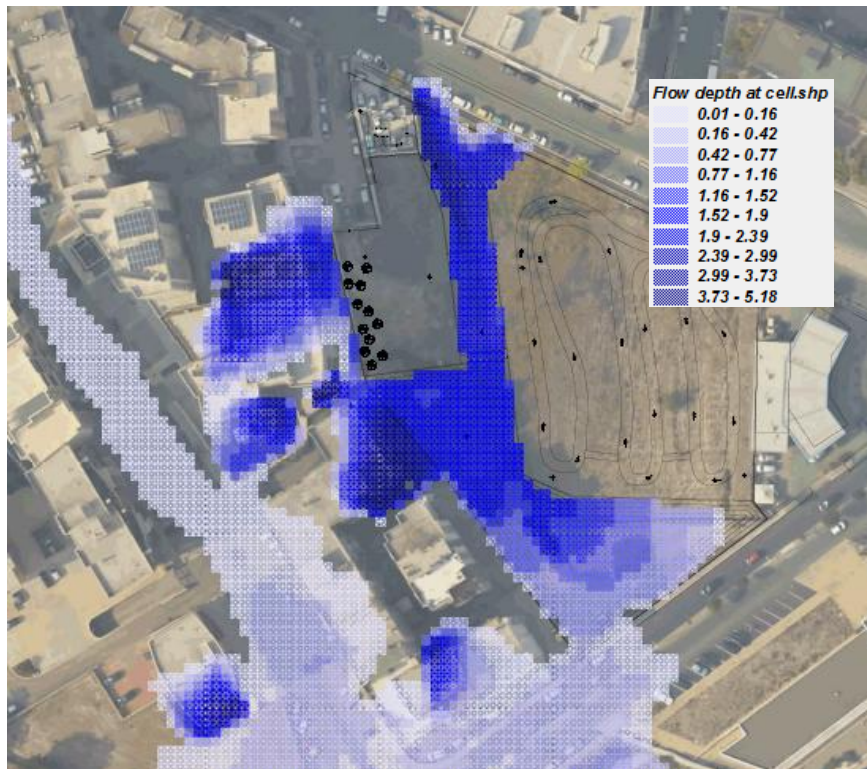
Intervento in progetto



Sezione rappresentativa in corrispondenza del tombino idraulico (pre e post operam)

La modellazione effettuata in condizioni di post operam (innalzando le quote di calpestio in corrispondenza delle nuove aree previste in progetto ha consentito la valutazione sull'eventuale interferenza di tali opere con il regime idraulico allo stato di fatto.

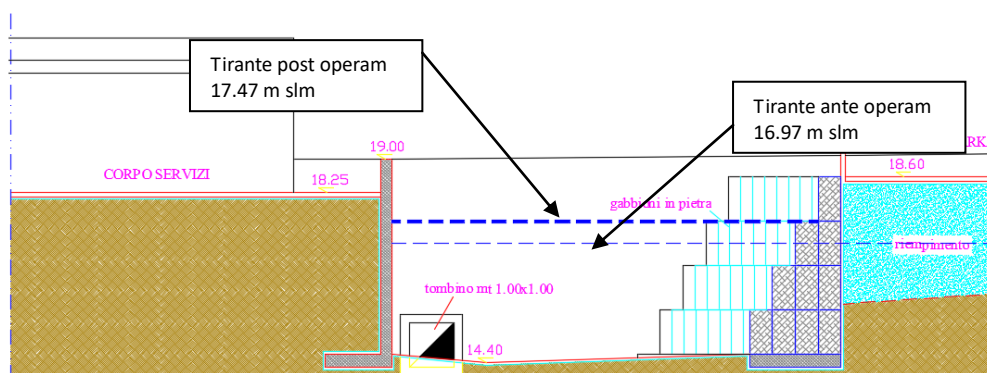
Nell'immagine sotto allegata è rappresentato l'output del modello.



Rappresentazione dei tiranti idraulici allo stato di progetto (modello post operam) solo per tr 200 anni

Dall'immagine riportata si evince che le aree previste in progetto risultano in sicurezza idraulica in quanto all'esterno delle aree con tr 200 anni, inoltre il livello idrico raggiunto in prossimità del tombino di imbocco risulta pari a 3.20 m (+0.50 m rispetto al pre operam) ovvero 17.47 m slm, garantendo, rispetto alle aree contermini in progetto un franco di sicurezza di circa 1.12 m.

In ultimo si riscontra che la pericolosità idraulica nelle aree contermini esterne alle particelle interessate dal progetto risulta NON variata.



Confronto del tirante idrico in pre e post operam

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente studio specialistico è stato redatto al fine individuare le reali aeree a diversa pericolosità idraulica nella zona oggetto di intervento di riqualificazione nella zona compresa tra Via s. Martino, Via Isonzo e Via Vittorio Veneto, nel centro urbano **e valutare la compatibilità dell'intervento ai sensi delle NTA del PAI della Puglia.**

Le valutazioni di carattere idrologico ed idraulico sono state eseguite **secondo quanto prescritto dalle indicazioni tecniche riportate nella relazione di Piano del PAI Puglia.**

Le frasi preliminari dello studio effettuato, al fine di giungere ad una determinazione delle aree di allagamento dei luoghi molto prossima alla realtà, sono state supportate da numerosi sopralluoghi in campo e dall'effettuazione di rilievi topografici di dettaglio finalizzati al rilevamento di tutti gli elementi numerici necessari per una analisi idrologica ed idraulica completa ed esaustiva. In particolare, al fine di giungere ad un dato topografico omogeneo ed esteso, è stato condotto un duplice rilievo, di cui il secondo su base lidar, che ha consentito di avere un rilievo ad equidistanza di 2 metri che, unito al rilievo dei manufatti eseguito con tecnica GPS, hanno fornito un database estremamente completo.

Dalle modellazioni effettuate si evince **che il progetto proposto**, che prevede la realizzazione di un'area di ciclo cross e di un'area a dog park entrambe innalzate ad una quota di 18.60 m slm:

- **Risulta in sicurezza idraulica** in quanto non interessato dall'area a media pericolosità idraulica;
- **Presenta un franco di sicurezza di oltre 1 m** rispetto al tirante idrico della piena bicentenaria;
- **Non aumenta la pericolosità idraulica nelle zone contermini**

Per quanto sopra l'intervento si ritiene compatibile con le NTA del PAI della Puglia.

