



CIUTAT DE L'ALGUER
CITTA' DI ALGHERO

COMUNE DI ALGHERO

PROVINCIA DI SASSARI



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

VARIANTE AL PAI, ex art. 37 comma 3 delle NTA del PAI a seguito di Studio di Assetto idraulico e geologico del territorio comunale

ELABORATO :

RELAZIONE GENERALE REPORT DELLE ANALISI IDROLOGICHE E IDRAULICHE SVILUPPATE CON MODELLO 2D

| REVISIONI | | | | ALLEGATO | SCALA |
|-----------|-----------|-----------|------|------------|--------|
| n° | MODIFICA | DATA | CTRL | | CODICE |
| 01 | Consegna | Feb. 2021 | FC | A-1 | |
| 02 | Consegna | Nov. 2021 | FC | | |
| 03 | Revisione | Dic. 2022 | FC | | NOTE |
| | | | | | |

I Professionisti incaricati :



Studio Associato
4E-INGEGNERIA
Dott. Ing. Fabio Cambula
Dott. Ing. Marco Pani

Il Dirigente

Ing. Michele Fois

Ufficio del Piano Urbanistico
Arch. Angelo Manunta
Geom. Franco Cherchi

L'Assessore all'Urbanistica
Dott. Emiliano Piras

Il Sindaco:
Dott. Mario Conoci

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

Sommario

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Premessa | 2 |
| 2 | Riscontri a richiesta di integrazioni e chiarimenti del | 2 |
| 3 | Codice di calcolo utilizzato | 2 |
| 3.1.1 | Descrizione generale della modellazione utilizzata | 2 |
| 3.1.2 | Equazioni del moto bidimensionale..... | 3 |
| 3.1.3 | Tipologie di soluzioni adottate..... | 3 |
| 4 | Scelta dell'applicazione del comma 5bis dell'art.8..... | 4 |
| 5 | Modello idrologico idraulico..... | 4 |
| 5.1 | Analisi degli studi pregressi e della vincolistica vigente in termini di pericolosità idraulica per i diversi tempi di ritorno | 5 |
| 5.2 | Aggiornamento del DTM disponibile con passo un metro | 5 |
| 5.3 | Definizione degli idrogrammi di progetto sulla base dei dati idrologici disponibili per ciascun elemento idrico analizzato. | 7 |
| 5.3.1 | Canale Urune | 7 |
| 5.3.2 | Area San Giovanni..... | 17 |
| 5.4 | Costruzione del modello idraulico mediante utilizzo del software HecRas 6.0.0..... | 21 |
| 6 | Analisi dei Risultati..... | 24 |

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

1 Premessa

La presente relazione illustra la metodologia e i risultati ottenuti nell'ambito dell'approfondimento dello studio del territorio comunale di Alghero con modalità bidimensionale per i bacini propri del "Canale Urune" e del Rio San Giovanni. Il primo era interessato da ampie aree di inondazione già individuate nell'ambito del P.S.F.F., nello studio di approfondimento delle pericolosità idrauliche per l'area delle bonifiche nella Nurra Algherese e nel P.G.R.A.; il secondo, è stato perimetrato nella prima stesura dello studio art.8 del territorio comunale mediante modellazione monodimensionale. Attraverso l'utilizzo della metodologia indicata nella **Relazione Metodologica per la modellazione idraulica bidimensionale** di cui all'articolo 8 comma 5 septies delle NTA del P.A.I. lo studio ha portato alla definizione degli indici di vulnerabilità V_p per i domini indagati attraverso l'intersezione delle caratteristiche intrinseche del deflusso, **velocità e tiranti idrici**, soprattutto in condizione di esondazione del corso d'acqua dai tratti di deflusso in magra.

Nei paragrafi che seguono saranno illustrati i concetti metodologici comuni alle due aree indagate con modellazione bidimensionale, e successivamente saranno descritte le caratteristiche idrologiche e idrauliche specifiche per ciascun modello.

2 Riscontri a richiesta di integrazioni e chiarimenti del 15/11/2022

Nel presente documento sono riportati in colore azzurro i riscontri forniti alle richieste di chiarimento formulate dall'Agenzia del Distretto Idrografico regionale trasmessa dal Comune di Alghero con nota n. 0104737/2022 del 15/11/2022 e inerenti principalmente la modellazione bidimensionale effettuata per alcune zone del territorio comunale oggetto di studio: area nord-ovest sede del Canale Urune e centro abitato in corrispondenza del Rio San Giovanni.

3 Codice di calcolo utilizzato

3.1.1 Descrizione generale della modellazione utilizzata

Per le modellazioni si è utilizzato il codice di calcolo Hecras 6.0.0 rilasciato dalla *US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*. Il modello determina, attraverso la risoluzione agli elementi finiti delle equazioni di De Saint Venant, le condizioni energetiche variabili lungo il dominio di calcolo individuando il passaggio di regime da corrente lenta a veloce e viceversa anche in relazione agli effetti locali dovuti alla presenza di opere d'arte che ne modificano la geometria.

Dal punto di vista computazionale, per le situazioni più semplici e lineari il modello si basa sulla risoluzione dell'equazione dell'energia con una dimensione mentre utilizza l'equazione dei momenti in situazioni laddove si abbiano rapidi cambiamenti di quota del profilo liquido.

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

Le perdite di carico sono calcolate mediante l'equazione di Manning, il cui parametro può essere specificato per zone diverse del dominio di calcolo. Inoltre, il modello può individuare situazioni di non linearità, come nel caso dei risalti idraulici, o andamenti del profilo determinati dalla presenza di ponti, ostruzioni, soglie, situazioni di imbocco e sbocco da manufatti, e altre situazioni che frequentemente si presentano nei corsi d'acqua per le quali è integrato nella modellazione bidimensionale un breve tratto di modellazione monodimensionale al fine di utilizzare le note equazione dell'idraulica per il calcolo delle perdite di carico dovute alla presenza di queste singolarità.

3.1.2 Equazioni del moto bidimensionale

Le equazioni di Navier-Stokes che descrivono il moto dei fluidi tridimensionali sono semplificate con le seguenti ipotesi:

- Fluido incompressibile;
- Densità uniforme e costante nel tempo;
- Pressione idrostatica uniforme e costante nel tempo;
- Equazioni di Reynolds approssimate con la viscosità di Eddy.

Inoltre è sempre considerata valida l'approssimazione che lega l'altezza del terreno alle coordinate x,y e l'altezza d'acqua alle stesse coordinate e al tempo:

$$z_s(x, y, t) = z_b(x, y) + h(x, y, t)$$

Le equazioni principali utilizzate sono quelle di conservazione della massa, semplificate per fluido incompressibile

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q$$

E quella di conservazione del momento, che in HEC-RAS viene computata in direzione ortogonale a ogni faccia della mesh bidimensionale e vettorialmente assume la forma:

$$\frac{\partial u_N}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla)u_N - f_c u_T = -g \frac{\partial z_s}{\partial N} + \frac{1}{h} \nabla \cdot (\mathbf{v}_t h \nabla u_N) - \frac{\tau_{b,N}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,N}}{\rho h}$$

3.1.3 Tipologie di soluzioni adottate

Il solutore di HEC-RAS per la modellazione bidimensionale ammette tre diversi tipi di gruppi di equazioni che possono essere utilizzati per risolvere il moto bidimensionale al di sopra della Mesh interna al dominio:

- *Diffusion Wave Equations*
- *Shallow Water Equations, Eulerian-Lagrangian Method*
- *SWE-EM, which stands for Shallow Water Equations, Eulerian Method*

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

Nel presente lavoro, in prima approssimazione, per valutare la stabilità del modello si è utilizzato in prima battuta la soluzione con le *Diffusion Wave Equations*. Successivamente, considerando le scarse pendenze presenti nel dominio di studio, osservando che quindi i vettori forza associati ai cambiamenti di velocità nel tempo e nello spazio occuperanno un ruolo significativo nella propagazione dell'onda di piena, si è preferito utilizzare le equazioni **SWE-ME – Full Momentum** in quanto quelle Diffusion Wave trascurano l'accelerazione in rapporto allo spazio ed il tempo.

4 Scelta dell'applicazione del comma 5bis dell'art.8

Con la Deliberazione n.1 del 16.06.2020 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Sardegna è stato introdotto il comma 5 septies dell'articolo 8 delle Norme di Attuazione del PAI che testualmente recita: *“Anche per i bacini che riguardano ambiti urbani e periurbani interessati da elementi del reticolo idrografico regionale individuato dal Comitato istituzionale con deliberazione n. 3 del 30.07.2015, i Comuni possono redigere appositi studi finalizzati alla valutazione del tirante idrico (h) e della velocità della corrente (v), determinati mediante adeguata analisi modellistica. Tali studi sono proposti e redatti dai Comuni in coerenza con specifiche linee guida approvate dal Comitato istituzionale dell'Autorità di bacino, in applicazione dei commi 5 ter, quater e quinquies.”*

Per le due aree, per le quali si propone l'approfondimento con modellazione bidimensionale e conseguente introduzione della Vp funzione dei tiranti idrici e delle velocità, si sono osservate durante la precedente modellazione effettuata in moto permanente monodimensionale estese zone gravate dal vincolo di pericolosità molto elevata tuttavia con tiranti idrici modesti e velocità compatibili con la presenza delle persone anche durante gli eventi di piena. Quindi la morfologia estremamente pianeggiante dei terreni interessati dal reticolo in esame, ha indotto a valutare più appropriate le analisi con modellazione 2D, che riproduce con maggiore affidabilità l'evoluzione della piena senza considerare una direzione di deflusso preferenziale.

Queste motivazioni, unite dall'esigenza dell'amministrazione pubblica di ottenere delle aree pericolose adeguate rispetto alla conoscenza almeno cinquantenaria dei fenomeni di allagamento verificati, hanno portato agli approfondimenti di cui alla presente relazione.

5 Modello idrologico idraulico

Le fasi di studio utilizzate per la definizione delle Vp ricalcano quelle individuate nelle Linee Guida pubblicate in allegato alla deliberazione del Comitato Istituzionale n.7 del 07.04.2021, che si riportano per completezza.

1. Analisi degli studi pregressi e della vincolistica vigente in termini di pericolosità idraulica per i diversi tempi di ritorno;
2. Aggiornamento del DTM disponibile con passo 1 metro

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

3. Definizione dell'idrogramma di progetto sulla base dei dati idrologici disponibili per ciascun elemento idrico analizzato.
4. Costruzione del modello idraulico mediante utilizzo del software HecRas 6.0.0.

5.1 Analisi degli studi pregressi e della vincolistica vigente in termini di pericolosità idraulica per i diversi tempi di ritorno

Nello sviluppo di questa fase lavorativa sono stati confrontati i risultati presenti nelle differenti analisi idrologiche ed idrauliche precedenti per le aree in esame. Nello specifico l'area del Rio San Giovanni era stata studiata esclusivamente dagli scriventi con modellazione monodimensionale e calcolo idrologico delle portate con metodo indiretto TCEV. Per quanto concerne l'area di pertinenza del Canale Urune sono presenti perimetrazioni nel P.S.F.F., nel P.G.R.A scenari attuali e nello studio art.8 effettuato dagli scriventi con modellazione monodimensionale e calcolo idrologico con metodo TCEV.

5.2 Aggiornamento del DTM disponibile con passo un metro

Prima di utilizzare il DTM per la definizione delle grandezze idrologiche e per la modellazione idrologica idraulica in bidimensionale si è provveduto ad effettuare un confronto tra il DTM presente e l'ortofoto con l'obiettivo di identificare eventuali modifiche intervenute nell'intervallo di tempo compreso tra il rilievo usato nel DTM ed oggi.

Si precisa da subito che per l'area del Canale Urune le modifiche al DTM effettuate dagli scriventi sono state sostanziali. Nell'area di approfondimento del Canale Urune sono presenti diversi canali artificiali che hanno lo scopo di facilitare il deflusso dell'acqua in caso di eventi meteorologici importanti (non a caso l'area è stata oggetto di bonifica proprio dai frequenti ristagni idrici). Tali canali molto spesso non hanno dimensioni ragguardevoli, e pur avendo evidenza nel DTM regionale della loro presenza, la definizione non è costante ma risulta interrotta frequentemente dall'interferenza delle chiome degli alberi (per lunghi tratti i canali sono affiancati da alberi di eucalipto in entrambe le sponde) che hanno ostacolato la corretta interpretazione del terreno nel DTM.

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

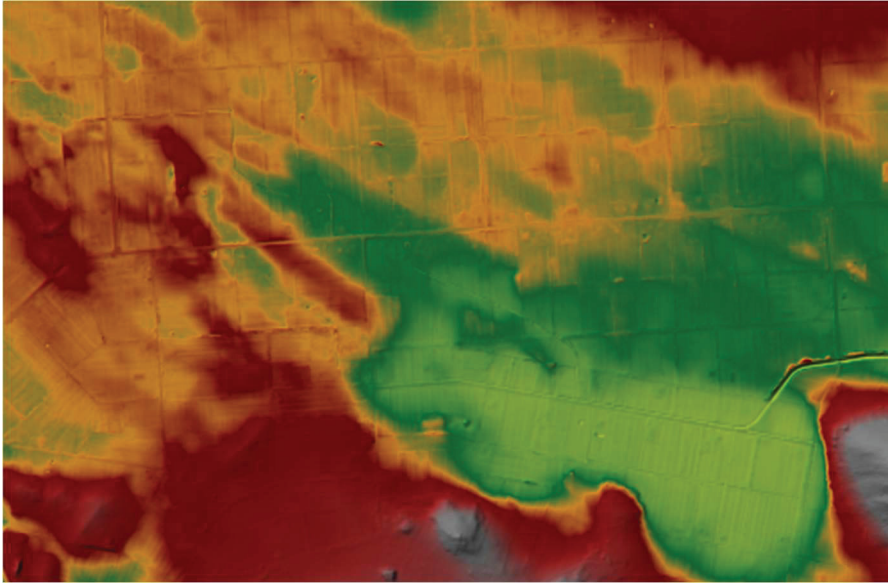


Figura 1 - Estratto DTM 1m Regione Sardegna

Gli scriventi hanno quindi provveduto in prima istanza ad eseguire il rilievo puntuale in campo dei canali principali individuabili da DTM e da ortofoto, ricavandone le dimensioni trasversali significative e dove possibile i tratti di pendenza omogenea. I canali così rilevati sono stati inseriti nel DTM al fine di ottenere una morfologia del dominio di studio il più aderente possibile con quella reale.

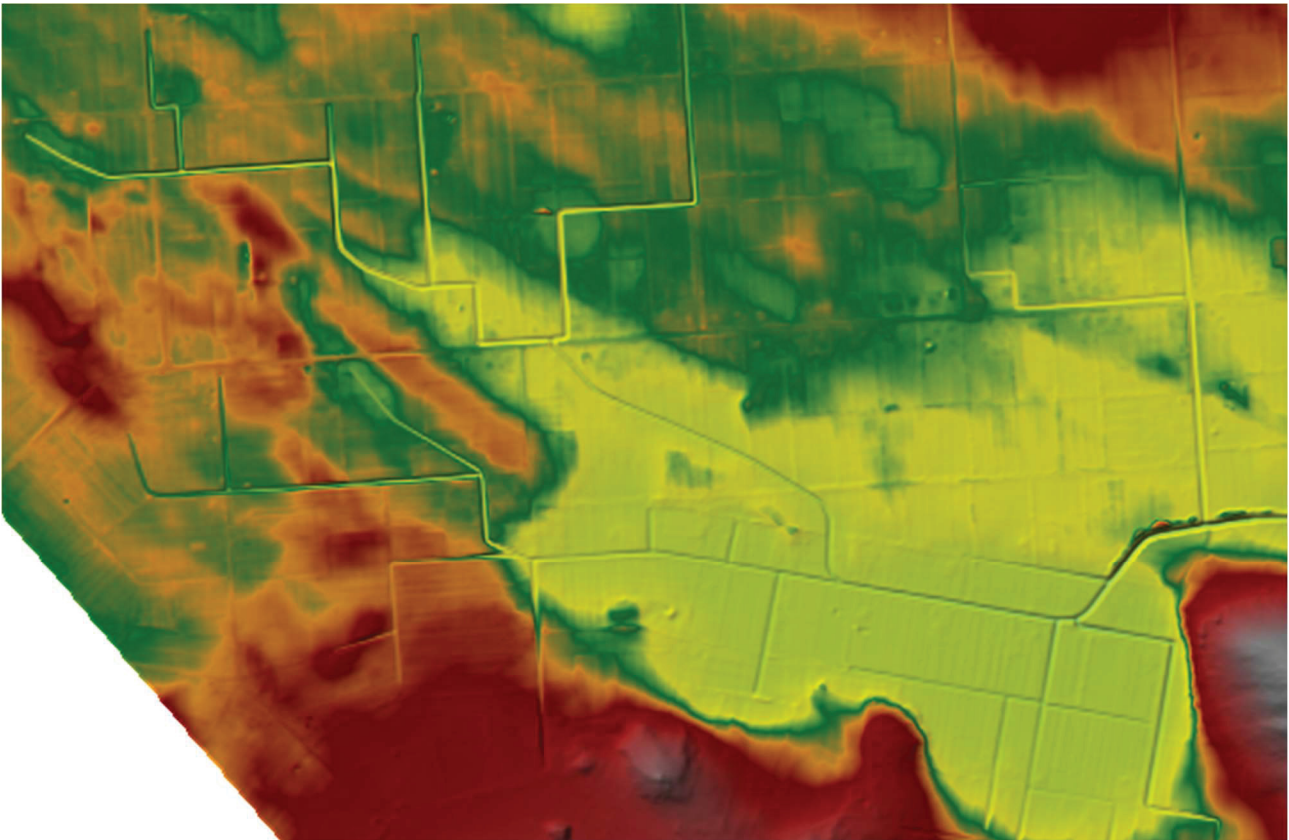


Figura 2 - DTM 1m con inserimento dei canali di bonifica rilevati direttamente in campo

Il DTM così modificato è stato utilizzato per le successive elaborazioni.

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

Per l'area denominata "San Giovanni" il DTM 1 m non è stato modificato in quanto ritenuto rappresentativo dello stato attuale dei luoghi.

5.3 Definizione degli idrogrammi di progetto sulla base dei dati idrologici disponibili per ciascun elemento idrico analizzato.

5.3.1 Canale Urune

Si è fatto riferimento principalmente alle portate al colmo stimate dal P.S.F.F. nel documento 3.06.1.1.1 dove per la sezione di calcolo denominata D, di cui alla figura seguente estratta dal P.S.F.F. si riportano le seguenti portate di riferimento:

Tabella 1 - portate di picco calcolate nel PSFF

| Sezione | Area [km ²] | Q(T2) [m ³ /s] | Q(T50) [m ³ /s] | Q(T100) [m ³ /s] | Q(T200) [m ³ /s] | Q(T500) [m ³ /s] |
|---------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| A | 2,2 | 2 | 11 | 14 | 19 | 25 |
| B | 4,2 | 3 | 18 | 24 | 30 | 39 |
| C | 8,8 | 6 | 31 | 40 | 51 | 65 |
| D | 13,6 | 8 | 48 | 64 | 81 | 105 |
| E | 15,1 | 9 | 50 | 65 | 82 | 105 |
| F | 20,0 | 12 | 61 | 79 | 99 | 126 |
| G | 30,7 | 14 | 85 | 110 | 137 | 174 |
| H | 32,9 | 20 | 87 | 111 | 138 | 174 |
| I | 37,2 | 24 | 91 | 115 | 141 | 177 |
| L | 41,8 | 27 | 100 | 127 | 155 | 193 |
| M | 46,4 | 30 | 109 | 137 | 167 | 207 |

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D - rev. Dic. 2022

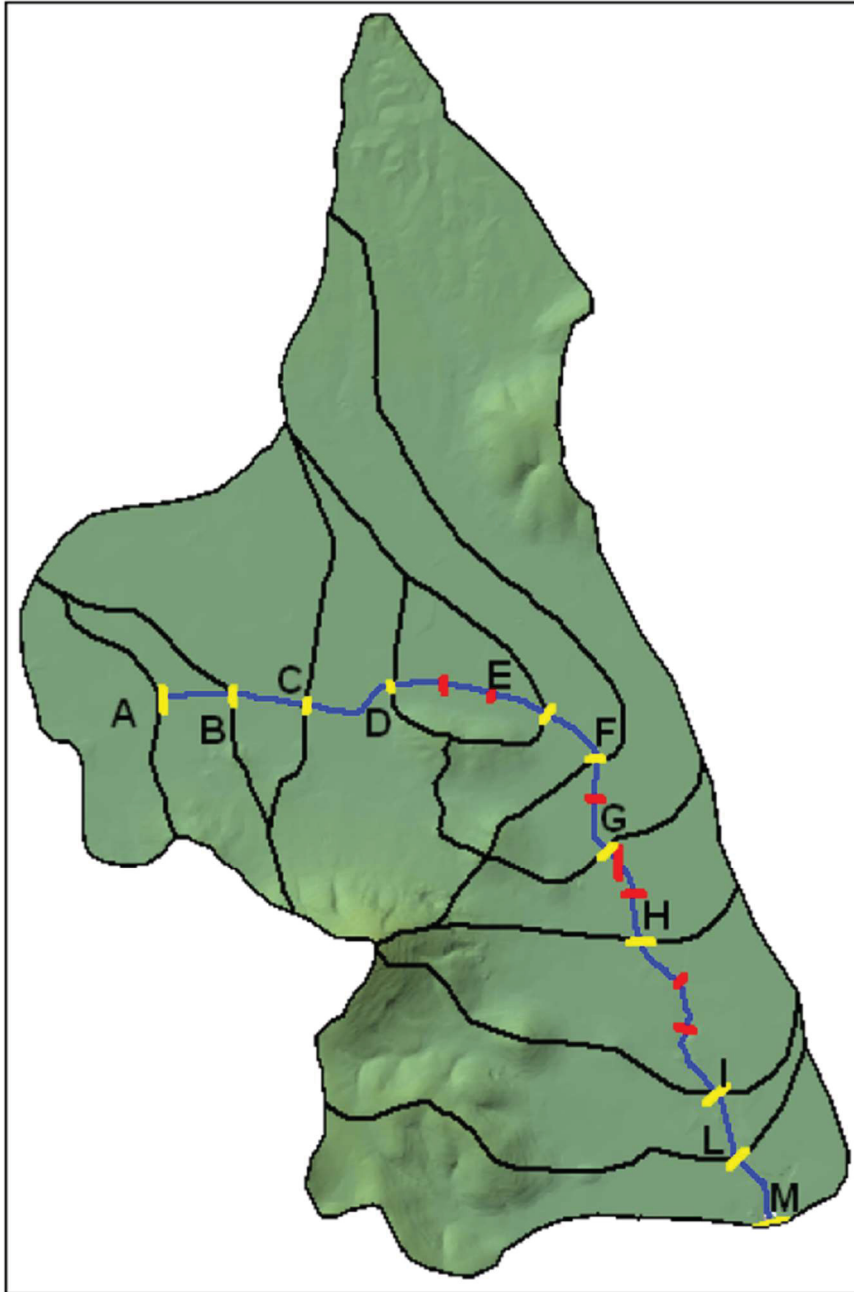


Figura 3 - geometria del bacino proprio del Canale Urune individuato nel P.S.F.F.

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

Si specifica come la sezione D sia ubicata planimetricamente in corrispondenza del confine di valle della modellazione bidimensionale eseguita, in particolare sull'attraversamento sulla Via Salvatore Dore, traversa della SP 55bis.



Figura 4 - individuazione su foto satellitare della sezione di chiusaura del bacino di calcolo

L'area analizzata, pur presentando una sezione incisa in corrispondenza dell'asta denominata Canale Urune, è caratterizzata da scarsissime pendenze e dalla presenza di numerosi canali artificiali, i canali di bonifica, che aiutano il deflusso verso il Canale Urune. La particolare conformazione orografica sopra descritta determina la non applicabilità di un idrogramma in un'univoca sezione di monte.

Per tale motivo la definizione degli idrogrammi di calcolo è stata articolata in alcune sottofasi:

1. definizione di 4 idrogrammi di pioggia lorda, uno per ciascun tempo di ritorno P.A.I., calcolati sulla base delle curve di possibilità pluviometrica regionali per durate funzione del tempo di ritorno proprio del bacino idrografico definito dalle più comuni formule presenti in letteratura;
2. modellazione bidimensionale di tipo "Rain On Grids", avente come condizione al contorno in ingresso esclusivamente gli idrogrammi di pioggia lorda precedentemente calcolati, che coinvolgesse l'intero bacino idrografico di riferimento;
3. confronto delle portate di picco ottenute con la modellazione di cui al punto 2 con quelle riscontrabili nel P.S.F.F.
4. individuazione delle principali linee di deflusso per le quali ottenere gli idrogrammi in ingresso per i 4 tempi di ritorno utilizzati.

COMUNE DI ALGERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

Le altezze di pioggia lorda utilizzate per la costruzione dello ietogramma e la durata della precipitazione sono indicate nella tabella seguente.

Tabella 2 - altezze di pioggia lorde utilizzate per la costruzione degli ietogrammi

| Tempi di ritorno | T | (anni) | 50 | 100 | 200 | 500 |
|-----------------------|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Durata Precipitazione | t | (ore) | 1.278 | 1.278 | 1.278 | 1.278 |
| Dati pluviometrici | Pgiorn. | (mm) | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Sottozona | | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Altezza di pioggia | n1 | - | 0.316 | 0.316 | 0.316 | 0.316 |
| | a1 | - | 20.69 | 20.69 | 20.69 | 20.69 |
| | n2 | - | -0.01 | -0.01 | -0.02 | -0.02 |
| | a2 | - | 2.28 | 2.605 | 2.931 | 3.361 |
| | n | - | 0.303 | 0.302 | 0.301 | 0.299 |
| | a | - | 47.17 | 53.91 | 60.64 | 69.55 |
| | h | (mm) | 50.81 | 58.05 | 65.28 | 74.84 |

La costruzione matematica dello ietogramma è avvenuta con le consuete formule riportate in letteratura tecnica che legano la durata parziale dell'evento all'altezza di pioggia cumulata.

Prima del picco:

$$i(t) = n a \left(\frac{rt_p - t}{r} \right)^{n-1}$$

Dopo il picco:

$$i(t) = n a \left(\frac{t - rt_p}{1-r} \right)^{n-1}$$

Si è utilizzata una discretizzazione con passi di 30 sec ottenendo per i 4 tempi di ritorno i risultati visualizzabili di seguito.

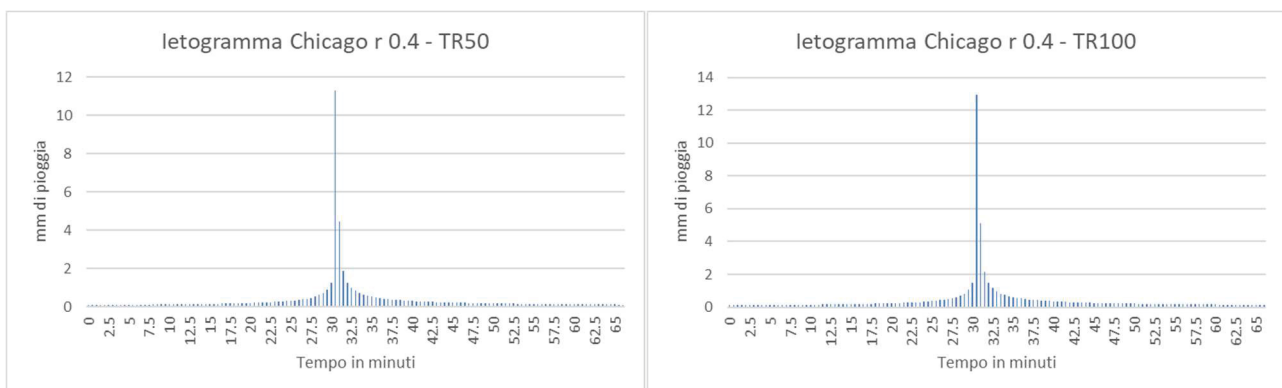


Figura 5 - ietogramma Chicago TR50 TR100

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

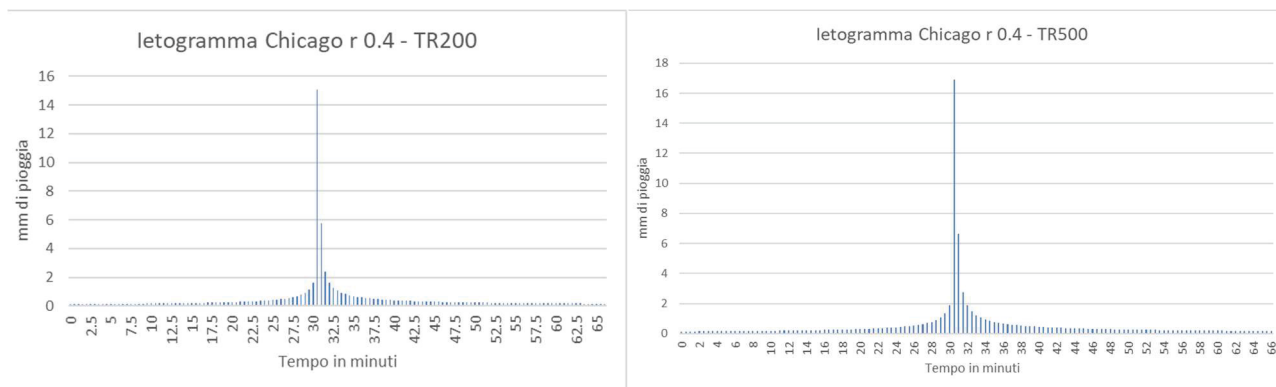


Figura 6 - ietogramma Chicago TR200 e TR500

Il processo di trasformazione degli afflussi in deflussi, in termini di risposta del terreno all'evento di pioggia intensa è stato valutato con metodologia SCS – CN direttamente implementata nel software HEC-RAS.

In una prima analisi si è provato ad utilizzare valori di CN differenziati zona per zona sulla scorta delle carte tematiche regionali, in particolare della Carta delle Permeabilità 2019, della Carta litologica 2019 e quella del Curve Number. Pur ponendoci in condizioni di CNIII si sono però ottenuti valori di picco decisamente inferiori a quelli considerati “attendibili” ovvero quelli del P.S.F.F.. Per questo motivo si è effettuata una “semplificazione” attribuendo un valore univoco di CNII pari a 90 così come dai precedenti studi in monodimensionale effettuati dagli scriventi per l'area in esame. In questo caso la risposta del bacino idrografico alla sollecitazione degli ietogrammi di progetto ha dato per i 4 tempi di ritorno dei valori di picco “vicini” a quelli descritti nel P.S.F.F. e conseguentemente si è ritenuta attendibile la modellazione effettuata.

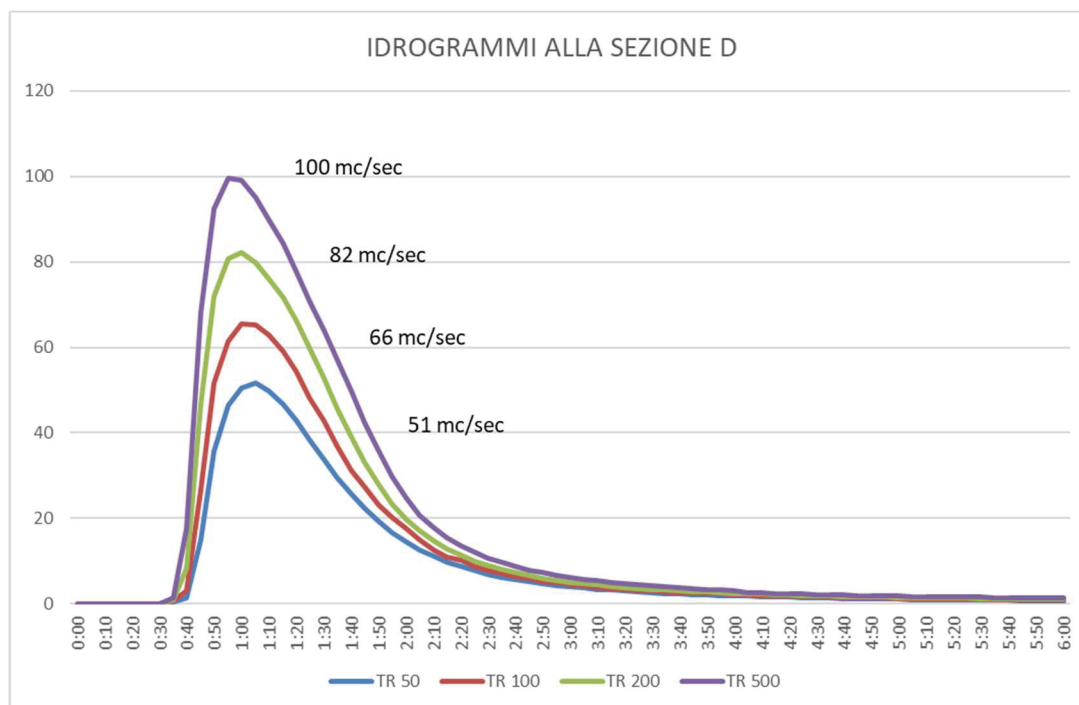


Figura 7 - Idrogrammi restituiti dalla modellazione Rain On Grids alla sezione D posta in corrispondenza dell'attraversamento sulla Via Salvatore Dore

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

In sintesi, la modellazione Rain On Grids effettuata, avente in ingresso gli ietogrammi precedentemente descritti, ha restituito come risultato alla sezione di chiusura D sopra individuata gli idrogrammi sopra raffigurati.

La scelta di adottare come riferimento le portate del P.S.F.F. è stata dettata dal fatto che l'intero bacino idrografico, sollecitato con gli ietogrammi di progetto determinati con altezza di pioggia uguale, a meno di trascurabili approssimazioni, a quella dello studio ex art.8 e "permeabilità" analoga (in realtà leggermente superiore) a quanto impostato durante lo studio art. 8, cioè CNII 90 e CNIII 95.39, **ha restituito valori di portata alla sezione di controllo confrontabili con quelli del P.S.F.F.. Non si è ritenuto quindi corretto "incrementare" ulteriormente ad arbitrio la permeabilità del bacino per ottenere delle portate, quelle dell'art.8, che derivano da un'analisi di tipo diretto ritenuta meno affidabile di quella proposta nel presente lavoro.**

Si è successivamente proceduto a valutare gli idrogrammi da utilizzare nella modellazione finale, escludendo parte del dominio bidimensionale utilizzato fino a questo punto e sostituendolo con delle condizioni al contorno che immettano nel dominio di calcolo un idrogramma così come valutato in precedenza.

Sono state quindi escluse dallo studio bidimensionale le porzioni di bacino idrografico che ricadono in zone ad elevata pendenza, in particolare il versante del Monte Doglia e quelli di Guardia Grande e Monte Sas Piccas. E' infatti noto come la valutazione della V_p per le zone ad elevata pendenza risulta essere poco rappresentativa per la presenza di alte velocità e battenti minimi.

Il contributo di queste aree al deflusso sulla zona propria del canale Urune è stato valutato nell'ambito della modellazione iniziale tipo "Rain on Grids", ovvero con pioggia distribuita in tutto il bacino contribuente, inserendo a valle di questi versanti sezioni di controllo nelle quali valutare le portate transanti in seguito alla sollecitazione con gli ietogrammi di progetto definiti in precedenza. In tali sezioni quindi, individuate nella Figura 10, sono stati valutati gli idrogrammi risultanti dalla modellazione iniziale "Rain on Grids" per i quattro tempi di ritorno.

Gli idrogrammi così ottenuti sono stati utilizzati successivamente nella modellazione finale utilizzata per la definizione delle V_p come condizioni al contorno di monte, imponendole nella stessa sezione per le quali erano stati valutati gli idrogrammi nella modellazione precedente.

COMUNE DI ALGERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D - rev. Dic. 2022

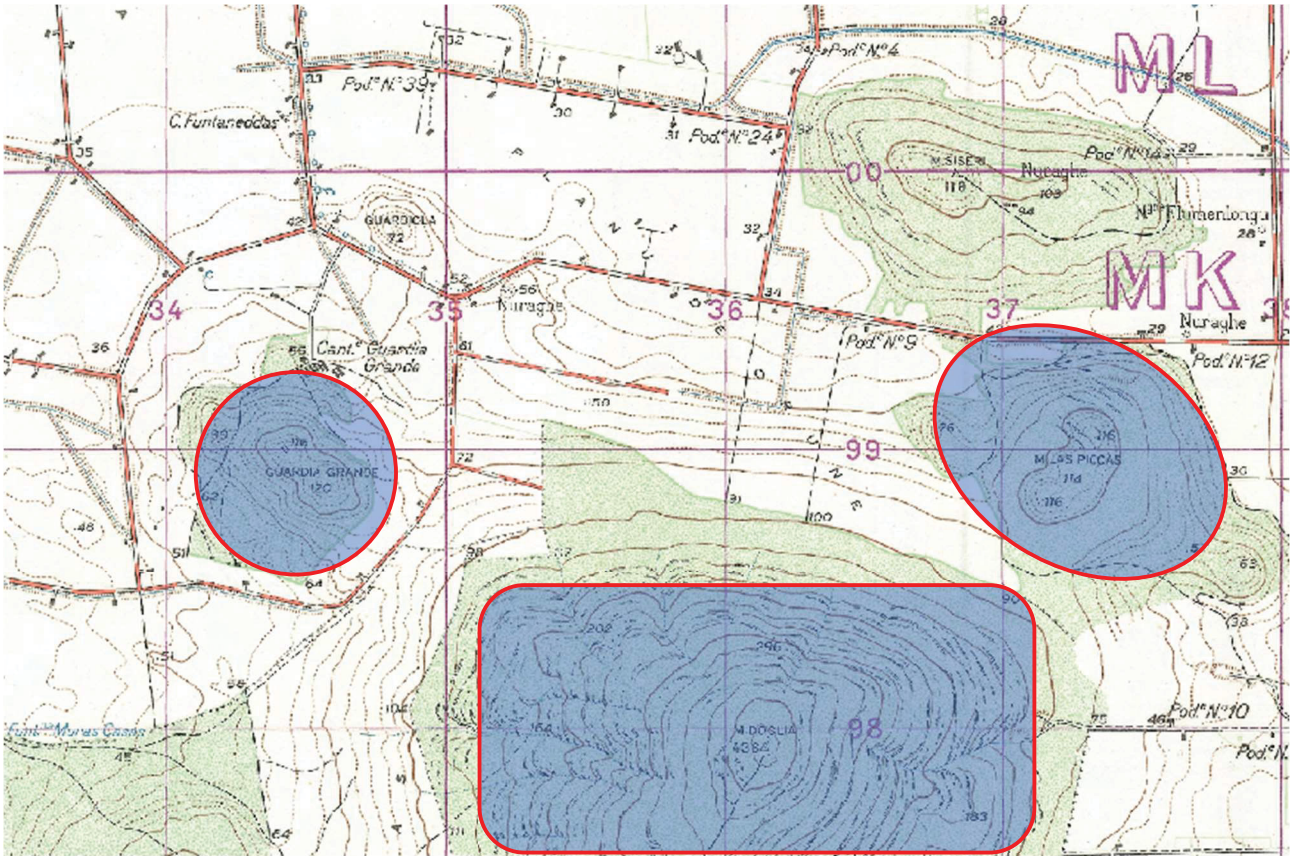


Figura 8 - inquadramento su IGM dei rilievi collinari ad elevata pendenza esclusi dal modello finale

La mesh utilizzata ha le caratteristiche descritte nella figura seguente.

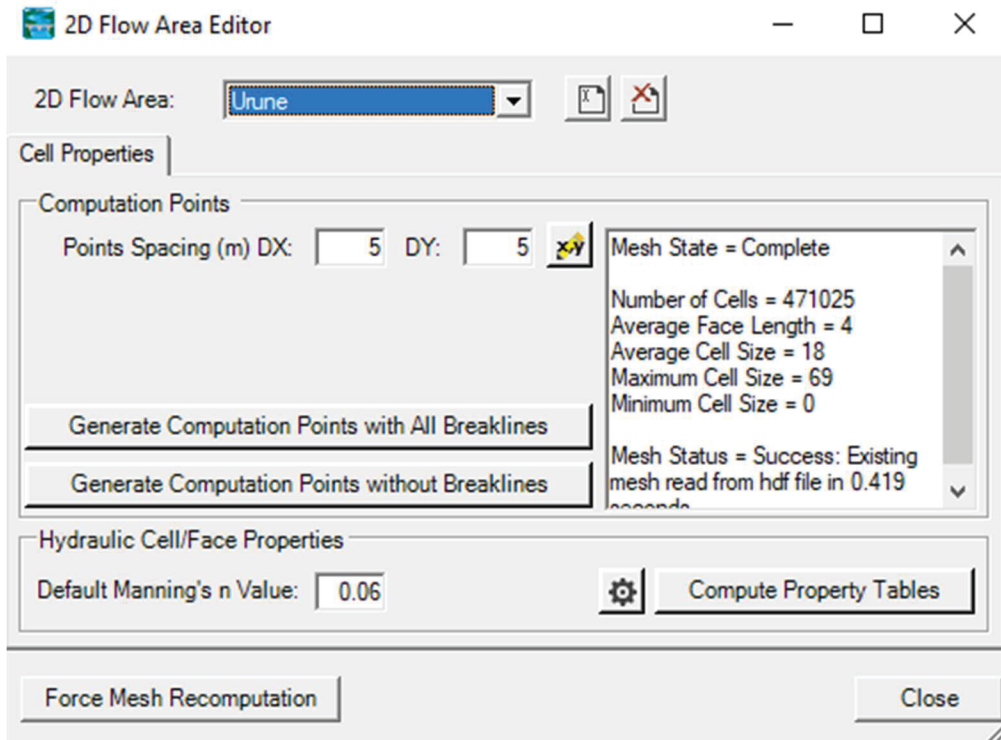


Figura 9 - mesh di calcolo del dominio bidimensionale "Canale Urune"

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

La maglia di calcolo così creata è stata successivamente infittita mediante l'utilizzo di "breaklines" lungo tutti i tracciati dei canali e lungo le strade principali. Un totale di 52 linee di infittimento nelle quali si sono imposte celle di larghezze variabile con lato minimo 0.50 m in corrispondenza della linea di infittimento.

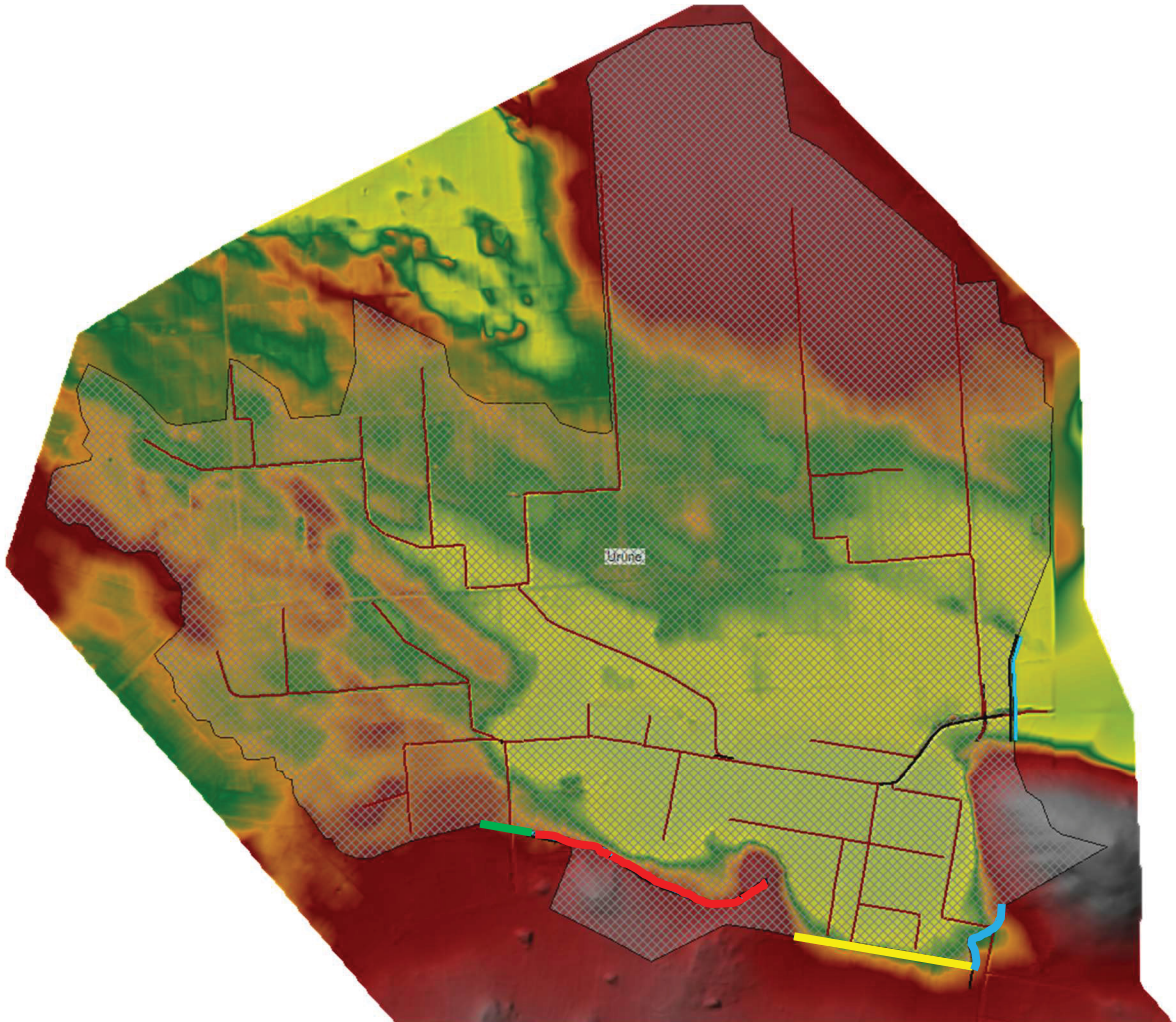


Figura 10 - modello di calcolo con evidenza delle "Breaklines" utilizzate

Sono inoltre evidenti nella figura precedente in colorazioni variabili le 4 condizioni al contorno di monte utilizzate, nelle quali sono stati inseriti gli idrogrammi in ingresso precedentemente calcolati utilizzando esclusivamente la metodologia "Rain on Grids".

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D - rev. Dic. 2022

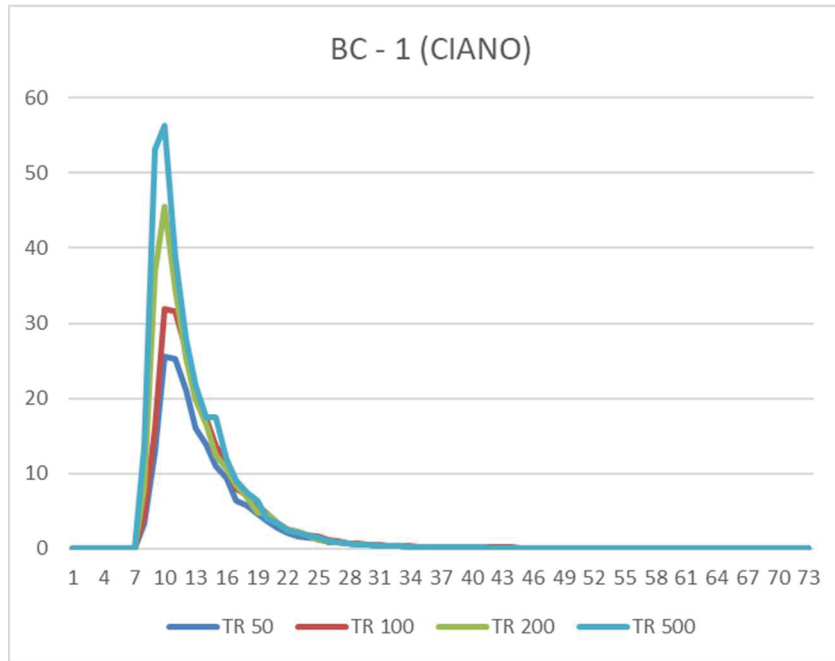


Figura 11 - idrogrammi in ingresso per i 4 tempi di ritorno BC – 1 – ciano

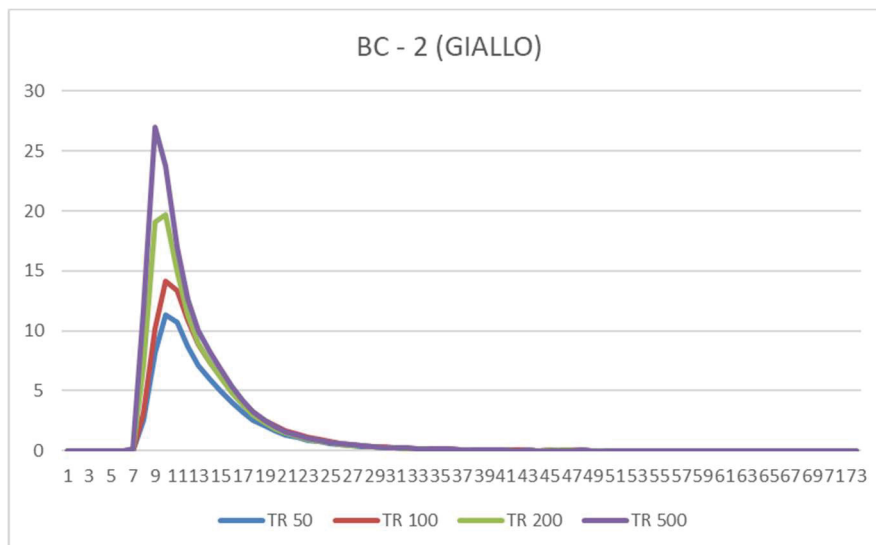


Figura 12 - idrogrammi in ingresso per i 4 tempi di ritorno BC – 2 – giallo

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

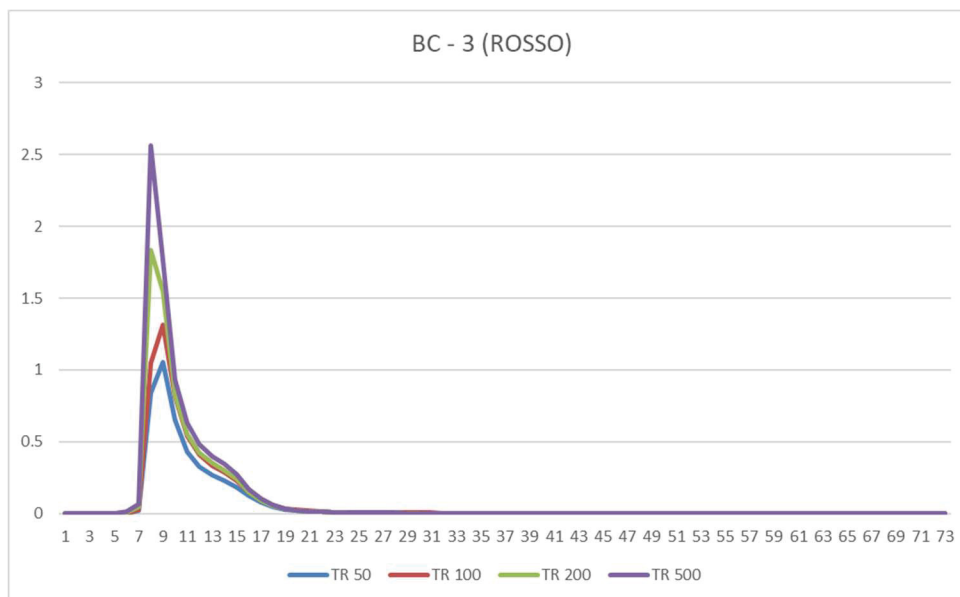


Figura 13 - idrogrammi in ingresso per i 4 tempi di ritorno BC – 3 – rosso

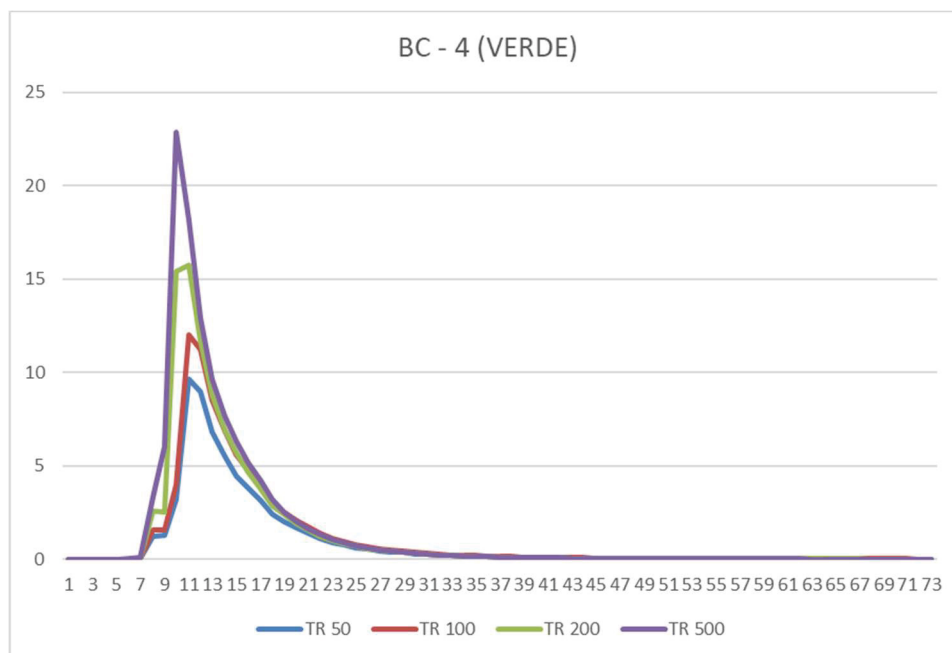


Figura 14 - idrogrammi in ingresso per i 4 tempi di ritorno BC – 4 – verde

Nel restante dominio bidimensionale il processo di trasformazione afflussi deflussi è stato rappresentato anche in questa modellazione con metodologia “Rain on Grids”.

Nel modello finale quindi parte del bacino proprio del canale Urune non è stato analizzato con metodologia “Rain on Grids” ma si sono inseriti gli idrogrammi nelle 4 sezioni a monte che tenessero conto del deflusso proveniente dalle aree escluse.

Il confronto finale tra le due modellazioni effettuate, quella con l'intero bacino sollecitato con ietogramma, modello interamente “Rain on Grids”, e quello nel quale si ha una riduzione della superficie di calcolo “rain on grids” in corrispondenza dei versanti più acclivi e sostituzione del contributo di portata attraverso l'introduzione degli idrogrammi precedentemente calcolati, porge

COMUNE DI ALGERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

idrogrammi in uscita situati immediatamente a monte dell'attraversamento stradale molto simili tra loro e si ritiene per questo il risultato ottenuto accettabile.

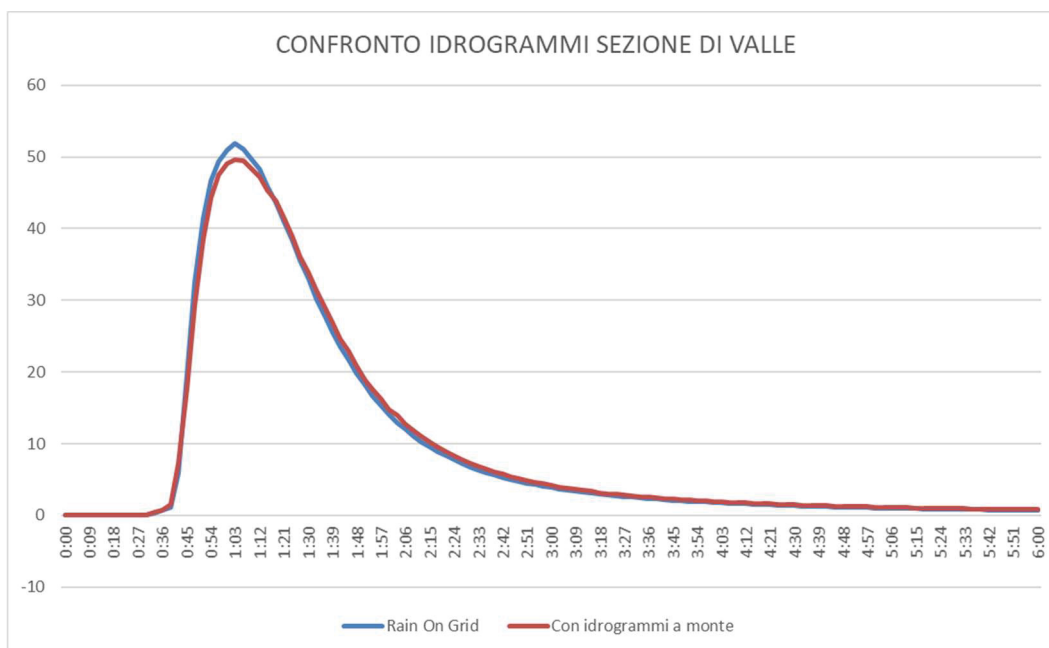


Figura 15 - Confronto idrogrammi alla sezione finale per i due modelli utilizzati

5.3.2 Area San Giovanni

In questo caso è stato possibile individuare un'unica sezione di ingresso a monte del compluvio nel quale applicare l'idrogramma calcolato con la metodologia precedentemente descritta per il Canale Urune. Il procedimento utilizzato è analogo a quanto descritto per il canale urune. Le portate di picco sono state confrontate con quelle calcolate dagli scriventi in sede di modellazione monodimensionale della stessa area nella precedente stesura del lavoro.

Tabella 3 - altezze di pioggia lorde utilizzate per la costruzione degli idrogrammi

| Tempi di ritorno | T (anni) | 50 | 100 | 200 | 500 | |
|-----------------------|---------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------|
| Durata Precipitazione | t (ore) | 0.522 | 0.522 | 0.522 | 0.522 | |
| Dati pluviometrici | Pgiorn. (mm) | 50 | 50 | 50 | 50 | |
| Sottozona | | 2 | 2 | 2 | 2 | |
| Altezza di pioggia | n1 | - | 0.316 | 0.316 | 0.316 | 0.316 |
| | a1 | - | 20.69 | 20.69 | 20.69 | 20.69 |
| | n2 | - | 0.124 | 0.158 | 0.185 | 0.211 |
| | a2 | - | 2.28 | 2.605 | 2.931 | 3.361 |
| | n | - | 0.44 | 0.473 | 0.501 | 0.527 |
| | a | - | 47.17 | 53.91 | 60.64 | 69.55 |
| | h (mm) | 35.44 | 39.63 | 43.8 | 49.38 | |

COMUNE DI ALGERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

Tabella 4 – Portate calcolate con metodologia indiretta SCS-CN TCEV

| TR (anni) | | 50 | 100 | 200 | 500 |
|--------------------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| L | m | 2745 | 2745 | 2745 | 2745 |
| CN | - | 94.64 | 94.64 | 94.64 | 94.64 |
| i_{bac} | - | 0.06221 | 0.0622 | 0.0622 | 0.0622 |
| A | kmq | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 |
| Hmax | m slm | 117.01 | 117.01 | 117.01 | 117.01 |
| Hmed | m slm | 33.51 | 33.51 | 33.51 | 33.51 |
| Hmin | m slm | 1.61 | 1.61 | 1.61 | 1.61 |
| iret | m/m | 0.08653 | 0.0865 | 0.0865 | 0.0865 |
| tc adott. | VIPARELLI | | | | |
| | (ore) | 0.763 | 0.763 | 0.763 | 0.763 |
| T | (anni) | 50 | 100 | 200 | 500 |
| Pgiorn. | (mm) | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Sottozona | | 2 | 2 | 2 | 2 |
| n1 | - | 0.31570972 | 0.31570972 | 0.3157097 | 0.3157097 |
| a1 | - | 20.6914142 | 20.6914142 | 20.691414 | 20.691414 |
| n2 (ADOTTATO) | - | 0.12392456 | 0.157628 | 0.184906 | 0.2111044 |
| a2 (ADOTTATO) | - | 2.27959585 | 2.60522 | 2.9308441 | 3.3612959 |
| n (ADOTTATO) | - | 0.43963428 | 0.47333772 | 0.5006157 | 0.5268141 |
| a (ADOTTATO) | - | 47.1680621 | 53.9056862 | 60.64331 | 69.549965 |
| h (ADOTTATO) | (mm) | 41.867 | 47.413 | 52.946 | 60.292 |
| Coef.f.Ragg (ADOTTATO) | - | 0.956 | 0.956 | 0.956 | 0.956 |
| hr (ADOTTATO) | (mm) | 40.013 | 45.312 | 50.600 | 57.621 |
| S | (mm) | 14.385 | 14.385 | 14.385 | 14.385 |
| la | (mm) | 2.877 | 2.877 | 2.877 | 2.877 |
| Pnetta (ADOTTATO) | (mm) | 26.767 | 31.692 | 36.670 | 43.352 |
| Coef.defl. (ADOTTATO) | - | 0.639 | 0.668 | 0.693 | 0.719 |
| Qpicco (ADOTTATO) | (m³/s) | 10.239 | 12.123 | 14.027 | 16.583 |

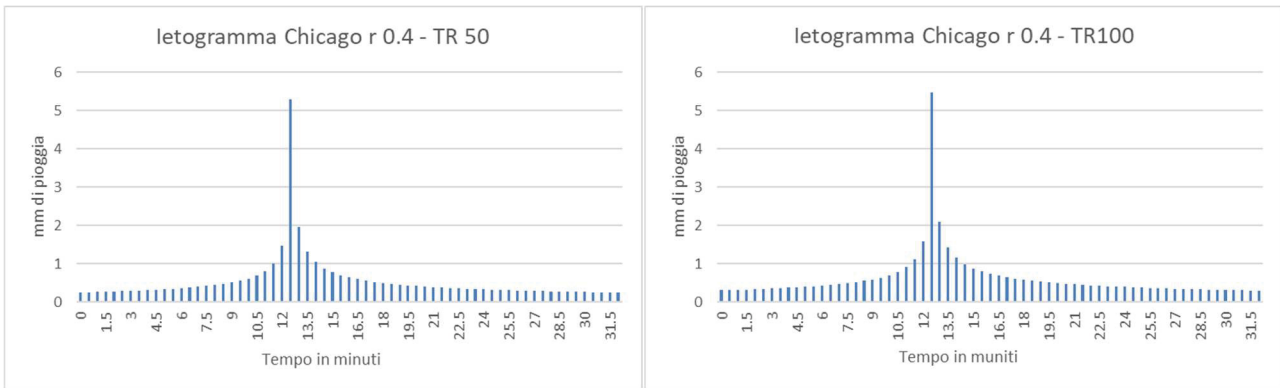


Figura 16 - Ietogramma Chicago TR50 e TR100

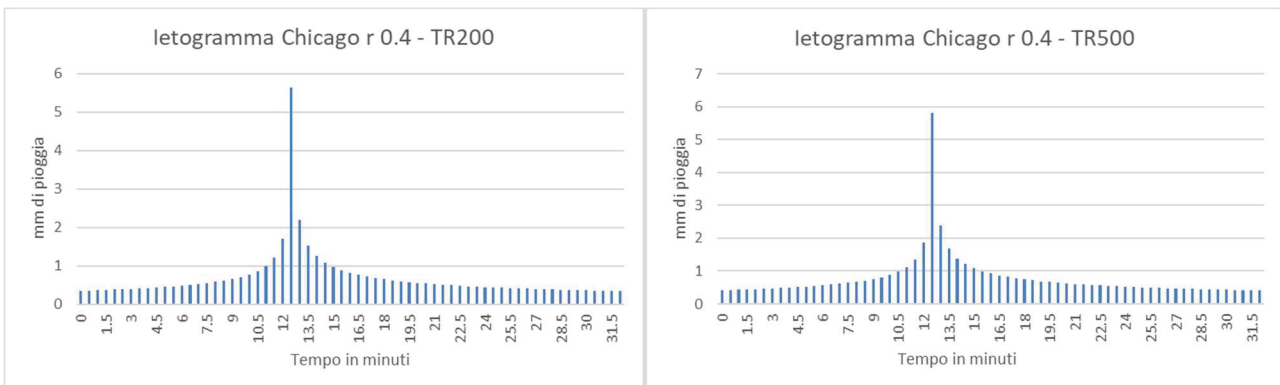


Figura 17 - Ietogramma Chicago TR200 e TR500

COMUNE DI ALGERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D - rev. Dic. 2022

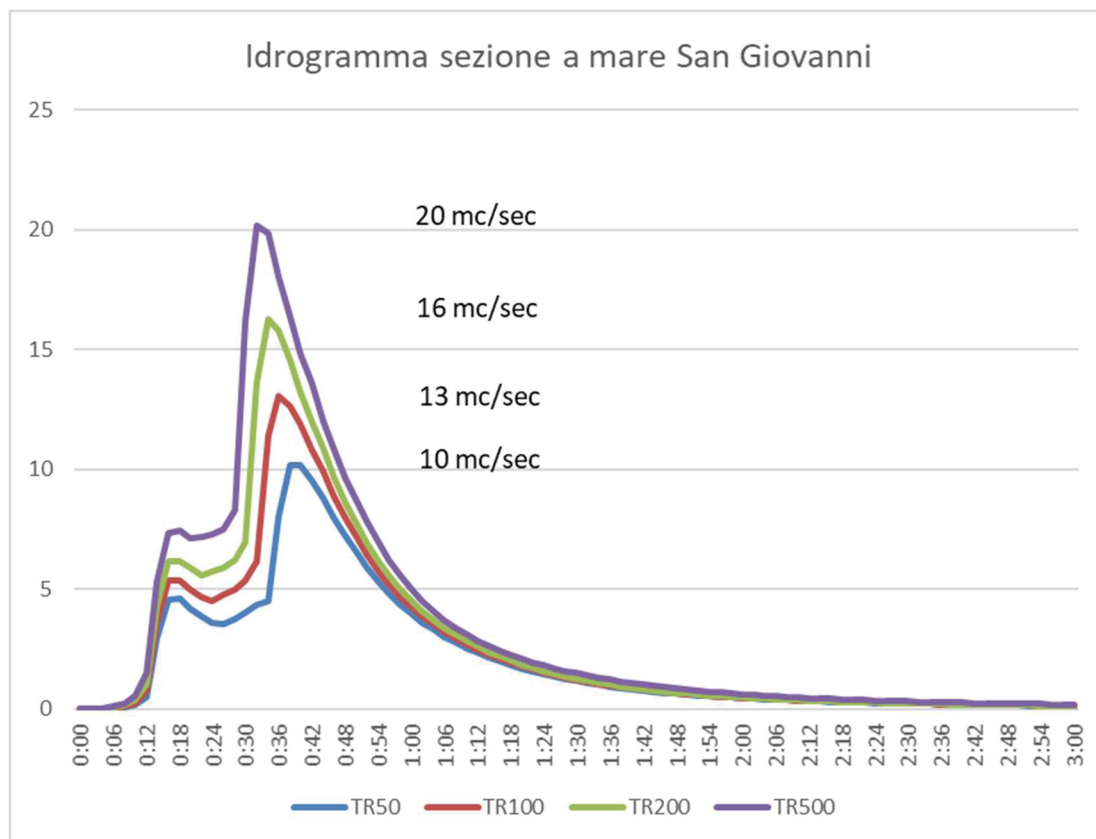


Figura 18 - idrogrammi ottenuti dalla modellazione Rain on Grids

Gli idrogrammi ottenuti, per i quattro tempi di ritorno, sono stati impostati come condizioni al contorno di monte nella sezione evidenziata nella figura seguente.



Figura 19 - dominio bidimensionale con evidenziate le due condizioni al contorno utilizzate

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

I valori di scabrezza utilizzati per le varie superfici presenti, sono stati desunti dalle linee guida per la modellazione bidimensionale in ambito extra urbano di recente pubblicazione che per semplicità di lettura si riportano di seguito.

Tabella 5 - valori di scabrezza utilizzati in relazione ai diversi usi del suolo

| codice GridCode | UDS | Descrizione | Default Manning HecRas |
|-----------------|------|--|------------------------|
| 1 | - | No data | 0 |
| 2 | 5212 | acquacolture in lagune, laghi e stagni costieri | 0.1 |
| 3 | 3122 | arboricoltura con essenze forestali di conifere | 0.12 |
| 4 | 321 | aree a pascolo naturale | 0.035 |
| 5 | 3242 | aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione: ricoloniz. artificiale | 0.035 |
| 6 | 124 | aree aeroportuali ed eliporti | 0.013 |
| 7 | 244 | aree agroforestali | 0.05 |
| 8 | 1422 | aree archeologiche | 0.013 |
| 9 | 3313 | aree dunali coperte da vegetazione di ampiezza superiore a 25 m | 0.1 |
| 10 | 131 | aree estrattive | 0.05 |
| 11 | 5231 | aree marine a produzione ittica naturale | 0.1 |
| 12 | 123 | aree portuali | 0.013 |
| 13 | 243 | aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti | 0.05 |
| 14 | 1421 | aree ricreative e sportive | 0.035 |
| 15 | 141 | aree verdi urbane | 0.03 |
| 16 | 5122 | bacini artificiali | 0.1 |
| 17 | 3111 | boschi di latifoglie | 0.12 |
| 18 | 5112 | canali e idrovie | 0.1 |
| 19 | 133 | cantieri | 0.03 |
| 20 | 3221 | cespuglieti e arbusteti | 0.04 |
| 21 | 143 | cimiteri | 0.013 |
| 22 | 2124 | colture in serra | 0.15 |
| 23 | 2413 | colture temporanee associate ad altre colture permanenti | 0.03 |
| 24 | 2412 | colture temporanee associate al vigneto | 0.03 |
| 25 | 2411 | colture temporanee associate all'olivo | 0.03 |
| 26 | 1322 | depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri di autoveicoli | 0.035 |
| 27 | 1321 | discariche | 0.035 |
| 28 | 1122 | fabbricati rurali | 0.02 |
| 29 | 3222 | formazioni di ripa non arboree | 0.1 |
| 30 | 222 | frutteti e frutti minori | 0.035 |
| 31 | 3232 | gariga | 0.035 |
| 32 | 1223 | grandi impianti di concentrazione e smistamento merci | 0.03 |
| 33 | 1224 | impianti a servizio delle reti di distribuzione | 0.03 |

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

Tabella 6 - valori di scabrezza utilizzati in relazione ai diversi usi del suolo

| codice GridCode | UDS | Descrizione | Default Manning HecRas |
|-----------------|------|--|------------------------|
| 34 | 1212 | insediamenti di grandi impianti di servizi | 0.035 |
| 35 | 1211 | insediamenti industriali-artigianali e commerciali e spazi annessi | 0.012 |
| 36 | 5211 | lagune, laghi e stagni costieri a produzione ittica naturale | 0.1 |
| 37 | 3231 | macchia mediterranea | 0.05 |
| 38 | 223 | oliveti | 0.04 |
| 39 | 411 | paludi interne | 0.1 |
| 40 | 421 | paludi salmastre | 0.1 |
| 41 | 2112 | prati artificiali | 0.03 |
| 42 | 1222 | reti ferroviarie e spazi annessi | 0.03 |
| 43 | 1221 | reti stradali e spazi accessori | 0.03 |
| 44 | 422 | saline | 0.1 |
| 45 | 2111 | seminativi in aree non irrigue | 0.03 |
| 46 | 2121 | seminativi semplici e colture orticole a pieno campo | 0.035 |
| 47 | 242 | sistemi colturali e particellari complessi | 0.035 |
| 48 | 3311 | spiagge di ampiezza superiore a 25 m | 0.03 |
| 49 | 1111 | tessuto residenziale compatto e denso | 0.013 |
| 50 | 1112 | tessuto residenziale rado | 0.013 |
| 51 | 1121 | tessuto residenziale rado e nucleiforme | 0.013 |
| 52 | 221 | vigneti | 0.035 |
| 53 | 2123 | vivai | 0.15 |
| 54 | 423 | zone intertidali (zona del litorale che dipende dalle maree) | 0.1 |

5.4 Costruzione del modello idraulico mediante utilizzo del software HecRas 6.0.0.

Come già ampiamente descritto nei paragrafi precedenti, la simulazione idraulica necessita della definizione degli input idrologici da fornire come condizione al contorno del modello numerico. Come descritto per ciascun dominio bidimensionale si sono individuati nel dominio di calcolo i punti di immissione degli idrogrammi di progetto precedentemente definiti soprattutto in base alla conformazione del terreno ed all'analisi idrologica del bacino di interesse.

La condizione al contorno di valle per il Rio San Giovanni è stata imposta pari a 1.80 m sul livello del mare.

La condizione al contorno di valle per il Canale Urune è stata imposta pari al livello di moto uniforme con pendenza pari a quella del tratto vallivo del canale.

Si specifica che le modellazioni effettuate per il calcolo della V_p sono state duplici: la prima con solo DTM 1m, la seconda "modificando" il DTM 1m attraverso l'introduzione degli edifici ricostruiti imponendo un incremento dell'altimetria in corrispondenza dell'impronta degli edifici di 5 metri. Si è successivamente verificato come i tiranti idrici fossero inferiori all'altezza impostata per gli edifici. La definizione della V_p è il risultato dell'involuppo delle due modellazioni.

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D - rev. Dic. 2022



Figura 20 - inquadramento su satellitare dettaglio Zona San Giovanni

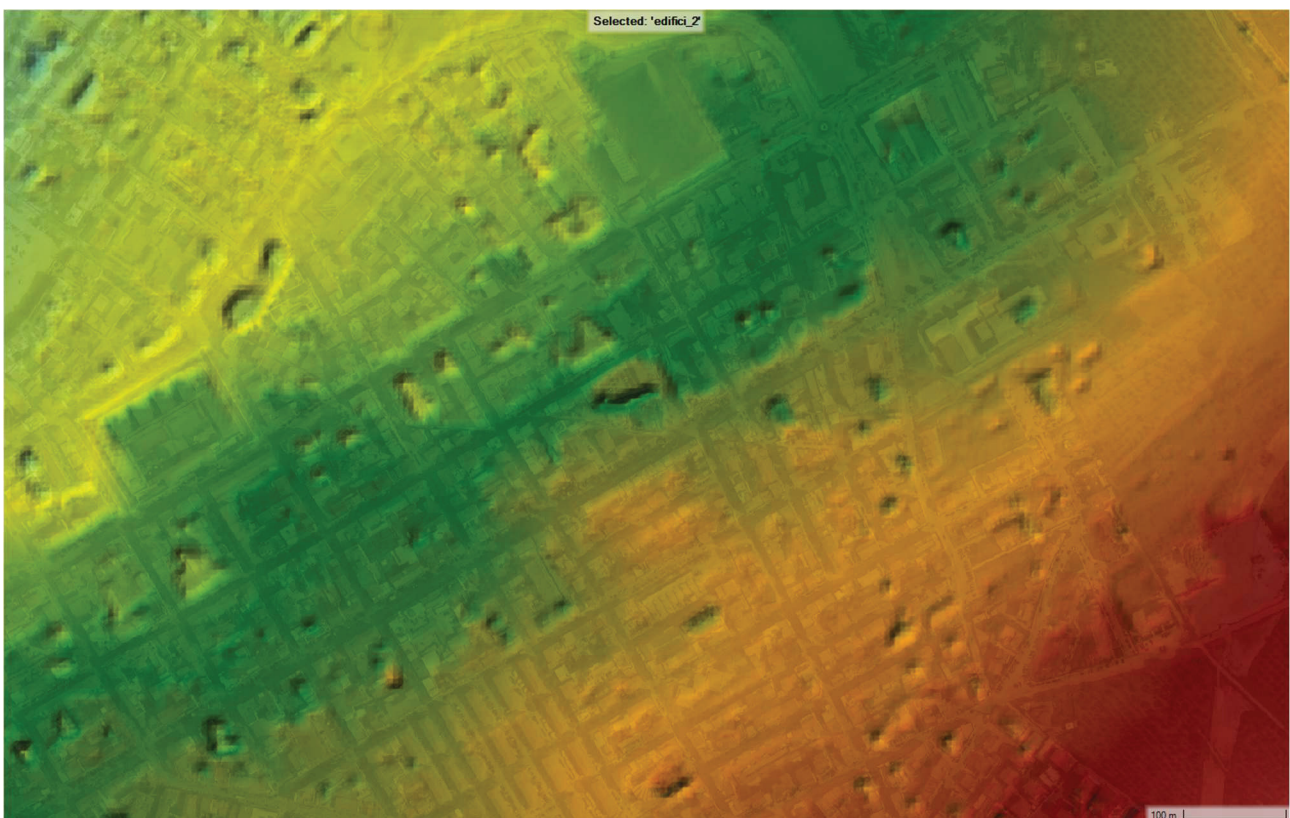


Figura 21 - DTM 1m Zona San Giovanni senza edifici

COMUNE DI ALGERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022



Figura 22 - Dettaglio DTM zona San Giovanni Edifici

Le figure precedenti specificano graficamente quanto affermato nel paragrafo precedente. In particolare la Figura 20 evidenzia su immagine satellitare Google Earth un ampio dettaglio della porzione di territorio indagata nella modellazione bidimensionale del rio San Giovanni; le successive immagini invece, Figura 21 e Figura 22, evidenziano il DTM 1m utilizzato nelle due modellazioni, la prima senza edifici e la seconda inserendo gli edifici. Il risultato finale della vulnerabilità delle persone è ottenuto dall'involuppo delle due modellazioni sopra descritte.

6 Analisi dei Risultati

Le simulazioni idrauliche 2D hanno permesso di definire con maggiore accuratezza le criticità idrauliche delle porzioni di territorio comunale di Alghero, dove, con particolare riferimento all'area delle bonifiche ed al Canale Urune, a causa della particolare morfologia del terreno con presenza di una fitta rete di canali di scolo anche ortogonali all'asta principale, la modellazione monodimensionale in moto permanente non consentiva di valutare adeguatamente il fenomeno di propagazione delle piene.

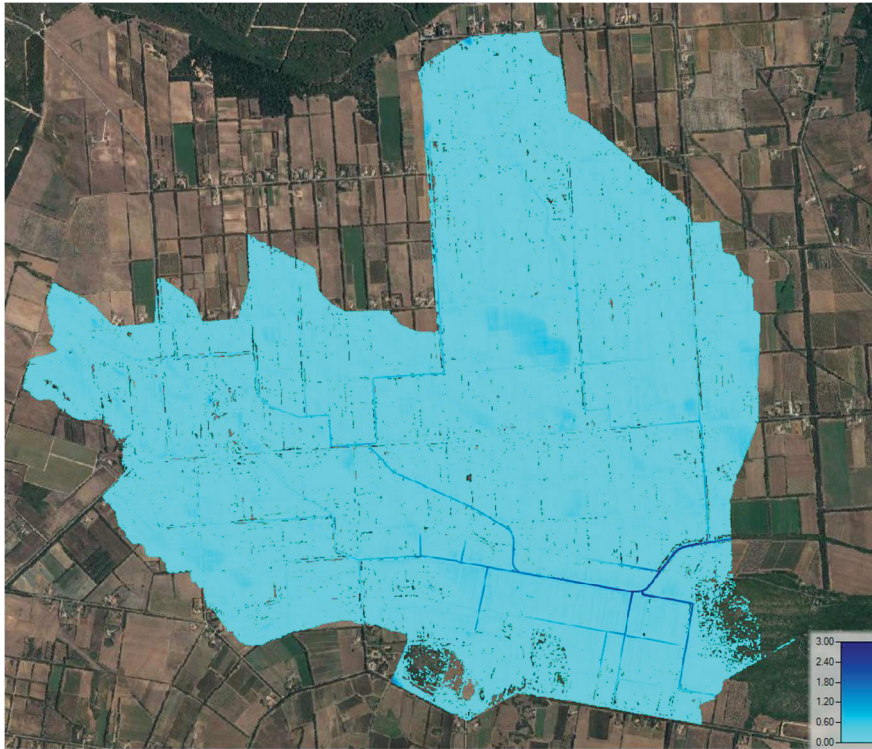


Figura 23 – involucro dei livelli idrici massimi per la modellazione TR 50 - Canale Urune

È possibile osservare come si riscontrino livelli idrici minori di 20 cm in quasi tutto il dominio di calcolo eccezione fatta per i canali incisi deputati allo scolo delle acque reflue.

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022



Figura 24 – inviluppo dei livelli idrici massimi per la modellazione TR 50 – Rio San Giovanni

Anche in questo caso si riscontrano livelli idrici quasi sempre inferiori ai 20 cm, in accordo con la modellazione monodimensionale condotta in precedenza che per l'area mostrava tiranti idrici minimi indicando quindi come percorso successivo di approfondimento la modellazione bidimensionale.

La simulazione bidimensionale ha consentito, infatti, di evidenziare le vie secondarie di deflusso presenti, confluenti nell'asta principale, valutandone in dettaglio livelli idrici e i valori di velocità per stimare conseguentemente l'indice di vulnerabilità V_p .

Il modello bidimensionale ha fornito una mappa dei valori massimi dei battenti idrici h e delle velocità v attribuibili a ciascun elemento del reticolo nel quale è stato suddiviso il dominio di calcolo per ciascuna simulazione.

La fase finale della modellazione idraulica è consistita nel calcolare l'inviluppo dei massimi (in termini di tiranti e di velocità) derivanti dalla sovrapposizione dei risultati ottenuti dalle distinte simulazioni.

L'ultimo passaggio ha riguardato l'elaborazione dell'indice di vulnerabilità V_p sulla base dei valori di h e v massimi precedentemente stimati.

Infatti, così come riportato nell'articolo 8 comma 5ter delle NTA *“Con riferimento al comma precedente, i Comuni provvedono a perimetrare, per i tempi di ritorno pari a 50, 100, 200 e 500 anni, come aree urbane di pericolosità idraulica quelle parti del territorio comunale nelle quali la vulnerabilità delle persone (V_p) assuma valori superiori a 0,75. La vulnerabilità delle persone V_p , secondo le Linee Guida ISPRA, è espressa dalla relazione:*

$$V_p = h(v + 0.5) + 0.25$$

con (h) in metri e (v) in metri al secondo e assumendo

$V_p = 0$ nel caso in cui (h) è inferiore o uguale a 0,25 m.”

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022

Si riportano di seguito le immagini inerenti i risultati in termini di V_p e pericolosità idraulica.

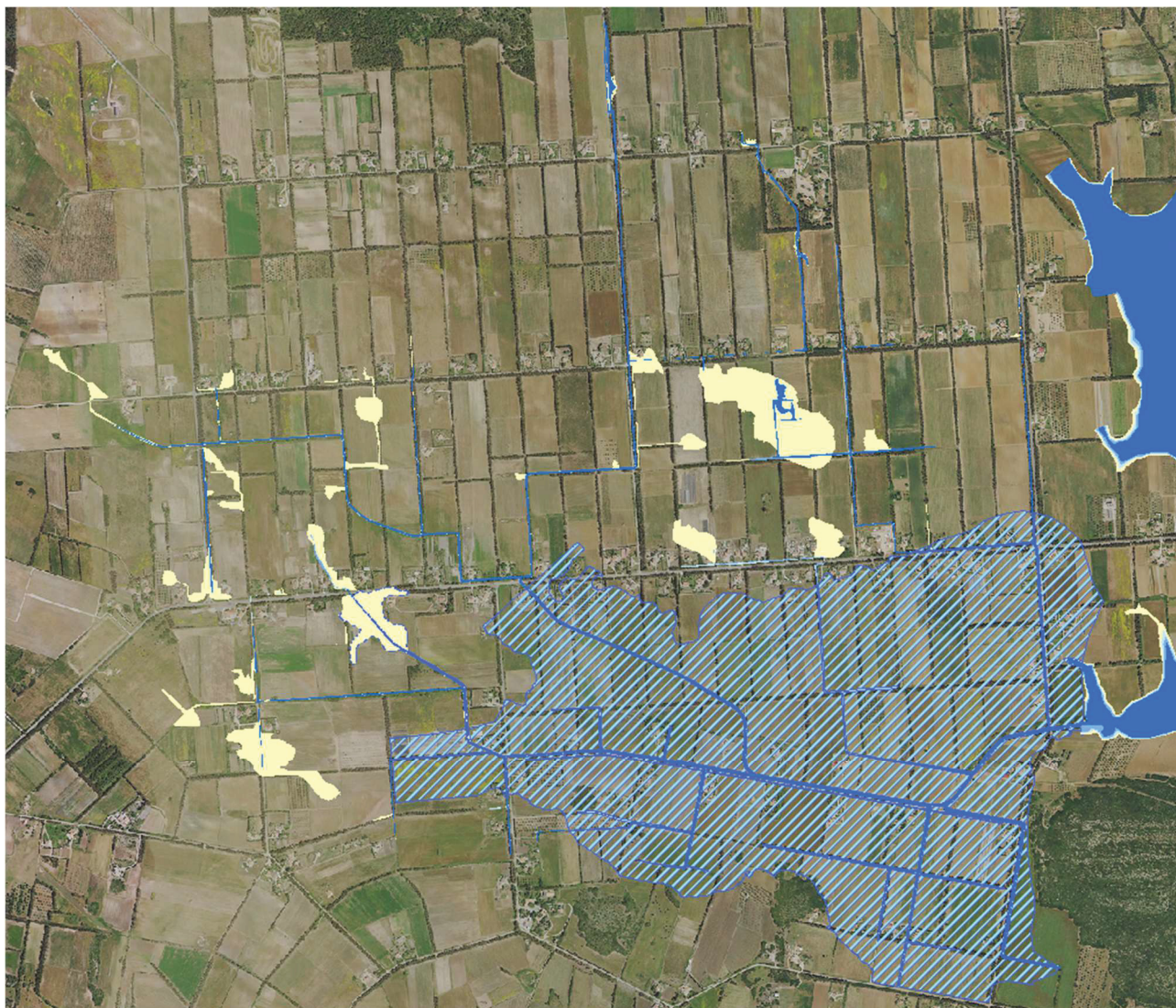


Figura 25 – **SETTORE NORD-OVEST (area Bonifiche)**: aree con $V_p > 0.75$ (in azzurro) $V_p=0$ (tratteggiato) .
L'area tratteggiata corrisponde alla pericolosità H_i^* di cui all'articolo 5 quater delle N.A. del PAI

COMUNE DI ALGHERO (SS)

Variante al PAI ai sensi dell'art. 37 C.3 lett. B) delle N.A. a seguito di Studio di Assetto Idraulico - Territorio comunale
RELAZIONE GENERALE - Report analisi idrologiche e idrauliche sviluppate con modello 2D – rev. Dic. 2022



Figura 26 – **SETTORE CENTRO ABITATO (Rio San Giovanni)**: aree con $V_p > 0.75$ (in azzurro) $V_p=0$ (tratteggiato) . L'area tratteggiata corrisponde alla pericolosità H_i^* di cui all'articolo 5 quater delle N.A. del PAI