



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Linee Guida per la redazione degli studi comunali dei bacini urbani e periurbani interessati da elementi del reticolo idrografico regionale

(articolo 8 comma 5 septies delle NTA del PAI)

Relazione Metodologica per la modellazione idraulica bidimensionale

Allegato alla deliberazione del Comitato Istituzionale n. 7 del 07.04.2021



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Sommario

Premessa.....	4
1 Riferimenti normativi.....	4
2 Metodologia	8
2.1 Identificazione delle fasi di studio.....	8
3 Studi pregressi, vincolistica vigente e pericolosità idrauliche documentate.....	10
3.1 Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI).....	10
3.2 Il Piano stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF).....	10
3.3 Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)	11
4 Definizione dell'idrogramma di progetto	12
4.1 Generazione degli idrogrammi di piena sulla base delle portate adottate in PSFF-PGRA. 13	
4.1.1 Costruzione dell'idrogramma triangolare di riferimento	13
4.2 Generazione degli idrogrammi di piena sulla base delle portate derivanti da studi specifici per il bacino in esame.....	15
4.3 Analisi di idrogrammi definiti ad hoc/assenza di studi pregressi.....	16
5 Costruzione del modello idraulico	17
5.1 Analisi dei dati disponibili	17
5.2 Aggiornamento del DTM	17
5.2.1 Analisi dei rilievi disponibili- Individuazione di “gruppi rappresentativi” di punti....	18
5.2.2 Metodologia utilizzata per creazione dei raster da inserire nel DTM.....	21
5.2.3 Considerazioni conclusive per realizzare l'aggiornamento del DTM	24
5.2.4 Modello digitale della viabilità e degli edifici	25
5.3 Definizione della scabrezza idraulica.....	26
5.4 Definizione del Dominio di calcolo e discretizzazione spaziale.....	30



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

5.5	Determinazione dell'intervallo computazionale	35
5.6	Condizioni al contorno	37
6	Articolazione delle fasi di simulazione idraulica - Inserimento delle brecce	38
7	Analisi dei Risultati.....	41
	Conclusioni	43



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Premessa

La presente relazione si inserisce nell'ambito del Progetto di cui alla Convenzione in data 20 aprile 2020: *“Accordo di collaborazione tra Agenzia Regionale di Distretto Idrografico della Sardegna e DICAAR finalizzato a collaborazione tecnico-scientifica nell'ambito della Seconda Fase di Pianificazione del PGRA, ai sensi dell'art. 7 della Direttiva 2007/60/CE in data 23.10.2007 e dell'art. 7 del Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49”*. In particolare nella Convenzione, al punto 1) dell'Art. 1, è previsto che il DICAAR fornisca supporto scientifico e tecnico per attività di ricerca finalizzate alla predisposizione della metodologia di modellazione 2D degli ambiti fluviali per la modellazione idraulica dei fenomeni di allagamento, in particolare negli ambiti urbani e periurbani interessati da elementi del reticolo idrografico regionale. A tal fine si sono esaminati, come ambiti territoriali pilota, le aree vallive del Fluminimannu di Cagliari e del rio Mogoro.

1 Riferimenti normativi

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.”*

Si riportano, per completezza del documento, anche i citati commi 5ter, quater e quinquies del medesimo articolo 8 delle Norme del PAI:

5ter. 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 $V_p = h(v+0,5)+0,25$,



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

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.

Per tali aree si applicano le norme di cui ai successivi articoli 27, 28, 29 e 30 per i corrispondenti tempi di ritorno.

5quater. I Comuni, a seguito degli studi di cui al comma 5bis, per le aree urbane (H_i^) nelle quali V_p assume un valore inferiore o uguale a 0,75, applicano le norme d'uso stabilite dai piani urbanistici comunali generali ed attuativi, previa loro variante urbanistica di adeguamento per tener conto delle risultanze di tali studi. L'adeguamento dei piani urbanistici comunali generali ed attuativi è effettuato nel rispetto dei principi generali del PAI, con particolare riferimento agli articoli 16, 47 e 49 delle NA, con l'obiettivo di evitare la creazione di nuove situazioni di criticità, ridurre la vulnerabilità degli edifici esistenti, limitare l'impermeabilizzazione dei suoli e migliorare in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità dei sistemi di drenaggio urbano. Gli interventi, le opere e le attività sono realizzati previa loro specifica valutazione da parte dei Comuni, in sede di procedura di formazione dei titoli abilitativi, in relazione alle situazioni di criticità nelle aree (H_i^*) individuate.*

5quinquies. In fase di adeguamento dei piani urbanistici comunali generali ed attuativi, i Comuni introducono per le aree di cui ai commi 5 ter e 5 quater norme relative al divieto di realizzazione di nuovi volumi interrati e seminterrati, alla realizzazione di interventi di adeguamento e di misure di protezione locale ed individuale, alla dismissione obbligatoria e irreversibile dei locali interrati esistenti.

Con l'obiettivo di omogeneizzare le metodologie di studio applicate all'interno del territorio, il suddetto comma è rivolto ai bacini urbani e periurbani interessati da elementi idrici del reticolo idrografico regionale. L'introduzione del citato comma 5septies, consente l'utilizzo della modellazione bidimensionale anche ai territori urbani e periurbani interessati dal reticolo idrografico regionale, finora limitata come possibilità di modellazione idraulica solamente ai bacini urbani residui (articolo 8 comma 5bis delle NTA). L'esigenza di implementare un modello bidimensionale deriva dalla necessità di conoscere su una griglia sufficientemente fitta il valore delle principali grandezze idrauliche, in particolare della velocità e del tirante del flusso idrico, per poter calcolare nelle singole



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

maglie del reticolo l'indice di vulnerabilità (V_p) che sintetizza la pericolosità della corrente e modula, pertanto, tale valore all'interno delle aree di esondazione.

Si sottolinea che nell'ambito delle aree pilota che interessano le aree vallive del Fluminimannu di Cagliari e del rio Mogoro è stata implementata una metodologia di stima dell'indice di vulnerabilità V_p per le aree già vincolate nei precedenti atti di pianificazione di settore (PAI, PSFF e PGRA) che costituiscono il limite esterno di dominio per la individuazione della V_p . Tale metodologia potrà essere applicata anche ad altri corsi fluviali per determinare il valore di V_p per esondazione a seguito di eventi di piena in territori caratterizzati da elevata antropizzazione (aree urbane e peri-urbane).

Come già definito nelle Linee Guida ed indirizzi operativi per la modellazione idraulica dei fenomeni di allagamento nei bacini urbani residui, approvate con deliberazione n. 1 del Comitato Istituzionale del 04.02.2020, il criterio di definizione dell'indice V_p è sostanzialmente mutuato dalle Linee Guida ISPRA (Linee Guida 82/2012 - Proposta metodologica per l'aggiornamento delle mappe di pericolosità e di rischio) che riportano le indicazioni per l'attuazione della Direttiva Comunitaria 2007/60/CE (DL n. 49/2010).

E' ancora da ricordare che con deliberazione n. 3 del 30.07.2015 il Comitato Istituzionale ha definito il *Reticolo idrografico di riferimento* per le finalità di applicazione delle Norme Tecniche di Attuazione del PAI e delle relative Direttive come l'insieme degli elementi idrici contenuti nell'ultimo aggiornamento dello strato informativo 04_ELEMENTO_IDRICO.shp del DBGT_10k_Versione 0.1 (Data Base Geo Topografico 1:10.000) scaricabile dal sito istituzionale della Regione Sardegna, che dovrà essere opportunamente integrato con gli ulteriori elementi idrici eventualmente rappresentati nella cartografia dell'Istituto Geografico Militare (IGM), Carta topografica d'Italia - serie 25V edita per la Sardegna dal 1958 al 1965

In definitiva, la presente relazione identifica le Linee Guida e gli indirizzi operativi per la redazione degli studi che prevedono la modellazione 2D e la definizione dell'indice V_p per gli ambiti urbani e periurbani interessati da esondazione per piena nel reticolo idrografico regionale. Le Linee Guida si sviluppano con particolare riferimento all'analisi modellistica idraulica da applicare, con indicazioni inerenti alla definizione del data base cartografico e allo studio idrologico-idraulico. Fanno parte integrante della presente relazione i due annessi, il primo relativo alla parte valliva dell'asta fluviale



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

del Flumini Mannu nel Campidano e il secondo al rio Mogoro, che costituiscono concreta applicazione della metodologia a due differenti casi di studio.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

2 Metodologia

Nei paragrafi che seguono viene descritta la metodologia proposta per lo studio con modellazione idraulica 2D del fenomeno di allagamento delle aree urbane e periurbane attraversate da elementi del reticolo idrografico ufficiale. Partendo da due differenti casi pilota, asta valliva del fiume Fluminimannu ed il rio Mogoro, è stata implementata una metodologia di stima dell'indice di pericolosità V_p all'interno delle aree già vincolate per i singoli tempi di ritorno nei precedenti Atti di Pianificazione di settore, che potrà essere applicata anche ad altri corsi fluviali, ove siano evidenziati ambiti di esondazione in territori caratterizzati da elevata antropizzazione.

2.1 Identificazione delle fasi di studio

La metodologia individuata ed applicata nei due casi di studio pilota, può essere articolata nelle seguenti differenti fasi:

- Analisi degli studi pregressi e della vincolistica vigente in termini di pericolosità idraulica per i diversi tempi di ritorno;
- Definizione dell'idrogramma di progetto sulla base dei dati idrologici disponibili e approvati per ciascun elemento idrico analizzato. Nei due casi pilota sono state applicate due differenti metodologie che verranno descritte in maniera dettagliata nel capitolo 4
- Costruzione del modello idraulico mediante utilizzo del software HecRas 5.0.7. Tale scelta è stata condivisa con ADIS sulla base di analisi precedenti effettuate e documentate con specifici Report sul bacino pilota della bassa valle Coghinas. La scelta è stata anche determinata dalla considerazione che si tratta di un programma liberamente disponibile su web, già ampiamente utilizzato dai professionisti, di relativamente agevole utilizzazione e sul quale è disponibile una ampia casistica e bibliografia di riferimento accessibile ai professionisti. La modellazione è articolata in diverse fasi operative che devono essere sviluppate in maniera accurata, come è di seguito sintetizzato.
- Una fase preliminare, fondamentale per la corretta modellazione, è la predisposizione e l'eventuale aggiornamento del DTM utilizzato. Questa fase è ampiamente descritta nel paragrafo 5.2. Si tratta di un'operazione frequentemente richiesta dagli Enti locali e che, pur



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

rivestendo fondamentale importanza, in quanto consente di rappresentare la realtà dei luoghi nella maniera più aderente possibile, richiede necessariamente l'applicazione di specifiche metodologie per essere utilizzata ad integrazione del DTM disponibile dal portale cartografico regionale.

- Sviluppo delle diverse fasi di simulazione, frequentemente necessarie, che si articolano in sequenze coordinate, che considerano situazioni differenziate del deflusso idrico e richiedono una specifica sequenzialità per evidenziare le criticità residue presenti nell'ambito territoriale esaminato.
- Le fasi finali riguardano l'analisi dei risultati, in particolare per quanto riguarda i valori dei tiranti idrici e le velocità massime valutate negli elementi del reticolo che, opportunamente elaborati, consentono la definizione dell'indice di vulnerabilità. Le mappe dell'indice di vulnerabilità V_p sono conseguentemente fornite per i territori esaminati e con riferimento ai diversi tempi di ritorno degli eventi considerati. In particolare, le mappe della V_p consentiranno ai Comuni interessati di definire le discipline da adottare all'interno dei loro strumenti urbanistici generali ed attuativi.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

3 Studi pregressi, vincolistica vigente e pericolosità idrauliche documentate

E' necessario preliminarmente effettuare una ricognizione degli studi approvati nel territorio di interesse per documentare i vincoli attuali sul territorio, gli aspetti geo-morfologici ed idrologici (reticolo, bacini, portate, etc.) e le pericolosità individuate per gli eventi di piena caratterizzati dai diversi tempi di ritorno. Si ricorda, infatti, che la metodologia di modellazione sviluppata nelle Linee Guida ha lo scopo di stimare l'indice di vulnerabilità all'interno delle aree già vincolate nei precedenti Atti di Pianificazione di Settore (PAI, PSFF, PGRA, Studi comunali). Al solo fine di completezza del documento e rimandando ai siti istituzionali, si riportano i principali elementi dei Piani ad oggi vigenti all'interno dell'intero territorio regionale, specificando che, come detto, la pericolosità vigente può derivare anche da studi comunali di assetto idrogeologico (art. 8 delle Norme del PAI).

3.1 Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)

Il Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico del bacino unico della Regione Sardegna, è redatto ai sensi della legge n. 183 del 18.5.1989 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" e del decreto-legge n. 180/1998, con le relative fonti normative di conversione, modifica e integrazione.

Il PAI ha valore di piano territoriale di settore e prevale sui piani e programmi di settore di livello regionale ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

3.2 Il Piano stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali è redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge n. 183 del 19 maggio 1989. Il PSFF ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali. Esso costituisce un approfondimento e un'integrazione al Piano di Assetto Idrogeologico poiché è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali che permette,



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il raggiungimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali. Il Piano nella sua versione finale è stato adottato con Delibera n.1 del 20.06.2013. L'approccio metodologico impiegato per la delimitazione delle Fasce Fluviali segue le Linee Guida per la Redazione del PSFF e individua cinque fasce:

- Fascia A_2 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 2 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, individua l'alveo a sponde piene del corpo idrico, definito solitamente da nette scarpate che limitano l'ambito fluviale;
- Fascia A_50 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 50 anni, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- Fascia B_100 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 100 anni, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- Fascia B_200 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 200 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata.
- Fascia C o area di inondazione per piena catastrofica, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, rappresenta l'involuppo esterno della fascia C geomorfologica (involuppo delle forme fluviali legate alla propagazione delle piene sulla piana alluvionale integrate con la rappresentazione altimetrica del territorio e gli effetti delle opere idrauliche e delle infrastrutture interferenti) e dell'area inondabile per l'evento con tempo di ritorno 500 anni (limite delle aree in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici di piena). Per i tratti arginati, i limiti delle fasce fluviali per gli eventi che comportano la tracimazione sono stati tracciati con riferimento ai livelli idrici derivanti dallo schema di calcolo idraulico che considera l'assenza della funzione di ritenuta dell'argine e la sezione di deflusso estesa all'intera area inondabile. Sui corsi d'acqua secondari è stata definita la fascia C o area d'inondazione per piena catastrofica che, tracciata con criteri geomorfologici, rappresenta la regione fluviale potenzialmente oggetto d'inondazione nel corso delle piene caratterizzate da un elevato tempo di ritorno (500 anni) e comunque di eccezionale gravità.

3.3 Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni è redatto in recepimento della direttiva 2007/60/CE e del relativo decreto di recepimento nazionale, D.Lgs. 23 febbraio 2010 n. 49 "Attuazione della Direttiva Comunitaria 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni".



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Il Piano coinvolge tutti gli aspetti della gestione del rischio di alluvioni con riferimento alla realizzazione di opere infrastrutturali di mitigazione del rischio, ma anche con riferimento alle misure non strutturali finalizzate alla prevenzione, protezione e preparazione rispetto al verificarsi degli eventi alluvionali; tali misure sono predisposte in considerazione delle specifiche caratteristiche del sottobacino di riferimento. Il PGRA individua, quindi, strumenti operativi e di governance (quali linee guida, buone pratiche, accordi istituzionali, modalità di coinvolgimento attivo della popolazione) finalizzati alla gestione del fenomeno alluvionale in senso ampio, al fine di ridurre quanto più possibile le conseguenze negative dei fenomeni alluvionali.

Ai sensi dell'art. 6 del D.lgs. 49/2010, le mappe di pericolosità e rischio di alluvioni contengono la perimetrazione delle aree che potrebbero essere interessate da alluvioni secondo diversi tempi di ritorno.

4 Definizione dell'idrogramma di progetto

Di seguito sarà illustrata la metodologia utilizzata per la definizione dell'idrogramma di progetto utilizzato nella modellazione 2D ai diversi tempi di ritorno. Ovviamente, si tratta di una fase che in diversi contesti potrà essere articolata in modo differenziato sulla base della disponibilità di studi idrologici specifici. In termini generali, si può ritenere di poter operare anche in presenza delle sole informazioni disponibili dal PSFF che, per i corsi d'acqua principali e alle diverse sezioni di interesse e tempi di ritorno, fornisce la stima della portata al colmo di piena e la stima della precipitazione netta che contribuisce al deflusso. In queste condizioni si potrà comunque operare la generazione di uno schema triangolare di idrogramma di piena. Questa informazione è comunque necessaria in quanto rappresenta l'input del deflusso nella modellazione bidimensionale. Sulla base dell'analisi degli studi pregressi, indicati al capitolo 3, o di eventuali ulteriori e più recenti elaborazioni idrologiche (si ricordano in particolare i Piani di Laminazione) dovrà essere comunque possibile stimare gli idrogrammi di piena ai diversi tempi di ritorno da considerare nella modellazione 2D.

A titolo esemplificativo, nella presente relazione metodologica si considerano i due casi di studio del Fluminimannu e del Rio Mogoro. Nei due casi la definizione dell'idrogramma di progetto è stata sviluppata in maniera differente sulla base delle informazioni disponibili per i due ambiti idrografici.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

4.1 Generazione degli idrogrammi di piena sulla base delle portate adottate in PSFF-PGRA

Per il Fluminimannu, nell'ambito della redazione del PSFF è stata predisposta la Relazione monografica del bacino idrografico nella quale l'intero bacino è stato suddiviso in due tratti: il primo, più a monte dell'abitato di Villasor, denominato FluminiMannu 041, il secondo da Villasor alla foce denominato semplicemente FluminiMannu che si sviluppa per circa 29 km. Le medesime valutazioni idrologiche sono state interamente confermate e riprese nell'ambito del PGRA e sono contenute nell'allegato 7.4.FM.R1-1 relazione Generale – FluminiMannu. La stima degli idrogrammi di piena è stata condotta, pertanto, come da indicazioni riportate nelle Integrazioni Metodologiche alle Linee Guida del PSFF. Le portate per i sottobacini a valle della diga sono state valutate attraverso la metodologia di Marone, procedimento che tiene conto delle principali variabili che intervengono nel processo di laminazione.

Nella modellazione 2D sono state considerate le seguenti due sezioni di interesse, caratterizzate sulla base delle informazioni contenute nel PSFF:

Tabella 1. Descrizione delle caratteristiche idrologiche dei due sottobacini considerati nel presente studio

Sezione Presente Studio	Sezione PSFF	Sottobacino PSFF	Superficie sottesa (Km2)	Tempo di ritorno/ Portate al colmo	50	100	200
Sezione Monte	N 33	X*	1'218.7	Q (mc/s)	2'390	2'900	3'410
Sezione Valle	N 13	Y*	1'756	Q (mc/s)	3'340	4'060	4'780

4.1.1 Costruzione dell'idrogramma triangolare di riferimento

Nei precedenti studi finora approvati, le modellazioni per l'individuazione della pericolosità sono state sviluppate con l'approccio monodimensionale in condizione di moto permanente, ossia considerando una situazione stazionaria con input idrologico il valore del picco di portata, variabile



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



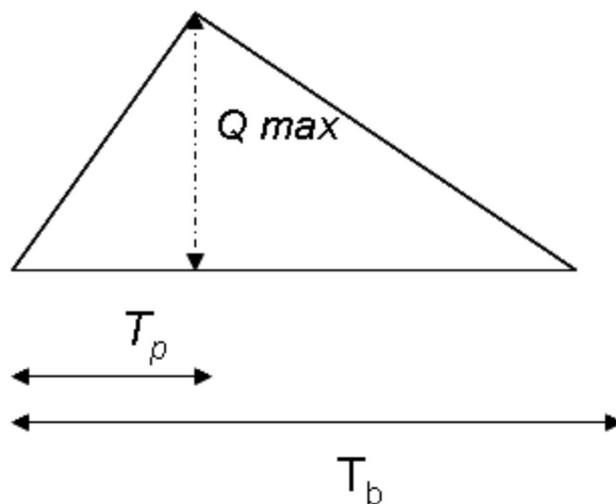
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

per i diversi tempi di ritorno. Nella modellazione idraulica bidimensionale, la modellazione dovrà essere eseguita in condizioni di moto vario e pertanto necessita della definizione di un idrogramma di piena che consenta di caratterizzare nel tempo la variazione del deflusso.

Pertanto, dopo aver identificato le sezioni di interesse per il bacino oggetto di studio e aver definito le portate al colmo è necessario procedere alla definizione dell'idrogramma di portata di piena con i diversi tempi di ritorno considerati in PSFF, cioè 50,100 e 200 anni.

La stima dell'idrogramma di piena può essere condotta con tecniche semplificate, come da indicazioni riportate nelle Integrazioni Metodologiche alle Linee Guida, par. 4.2.1, redatte dalla Direzione Scientifica del PSFF su commissione della Regione Autonoma Sardegna.

Si assume un idrogramma di forma triangolare, ipotizzando che il tempo di base T_b sia dato da: $T_b = \frac{2W}{Q_{max}}$ dove W è il volume di pioggia netta e Q_{max} la portata al colmo stimata.



Una volta stimato il volume di pioggia netta è quindi possibile calcolare i tempi caratteristici dell'idrogramma, assunte le relazioni:

$$T_p = T_b/2,67 ; \quad T_b - T_p = 1,67T_p$$

A titolo esemplificativo nella seguente figura si riporta l'idrogramma di progetto triangolare utilizzato nella modellazione del Fluminimannu per il tempo di ritorno di 50 anni inserito nella sezione di monte e di valle indicate in Tabella 2.

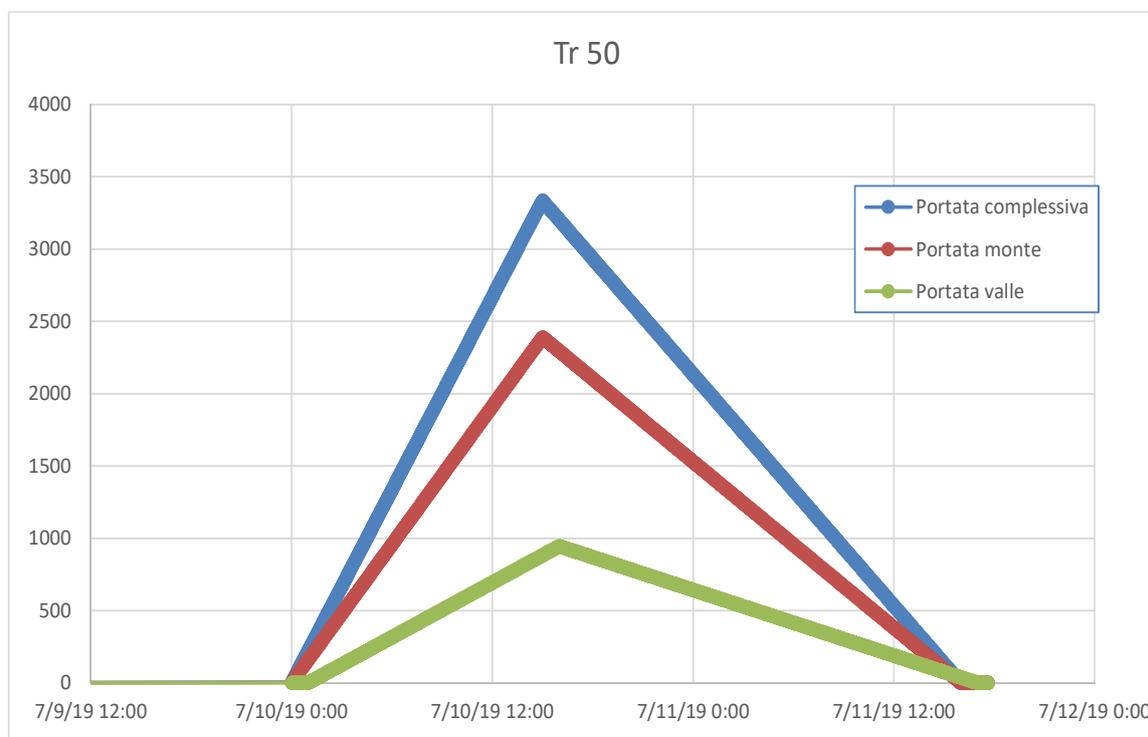


REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA



4.2 Generazione degli idrogrammi di piena sulla base delle portate derivanti da studi specifici per il bacino in esame

Qualora esistano ulteriori studi approvati da ADIS che definiscono gli idrogrammi di progetto del bacino idrografico considerato, è opportuno valutare la possibilità di utilizzare le informazioni contenute per valutare gli idrogrammi da adottare nella modellazione idraulica bidimensionale. Nel caso specifico del Rio Mogoro, ad esempio, è stato considerato l'idrogramma di piena definito dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR) nell'ambito della convenzione stipulata fra Sardegna Ricerche e DICAAR denominata "Approfondimento sulla applicazione del Progetto VAPI sulla valutazione delle Piene in Sardegna, nel contesto dei bacini del Rio Mogoro e del Fluminimannu di Uta", ha elaborato gli idrogrammi sintetici di piena con tempo di ritorno 50, 100, 200 e 500 anni per i bacini del Rio Mogoro e del Fluminimannu, anche al fine della verifica delle portate stimate nell'ambito del PSFF, Piano Stralcio delle Fasce Fluviali. Lo studio idrologico, al quale si rimanda per maggiori dettagli, è stato condotto attraverso la metodologia indiretta di trasformazione afflussi – deflussi basata sulla stima della precipitazione attesa ai diversi



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna

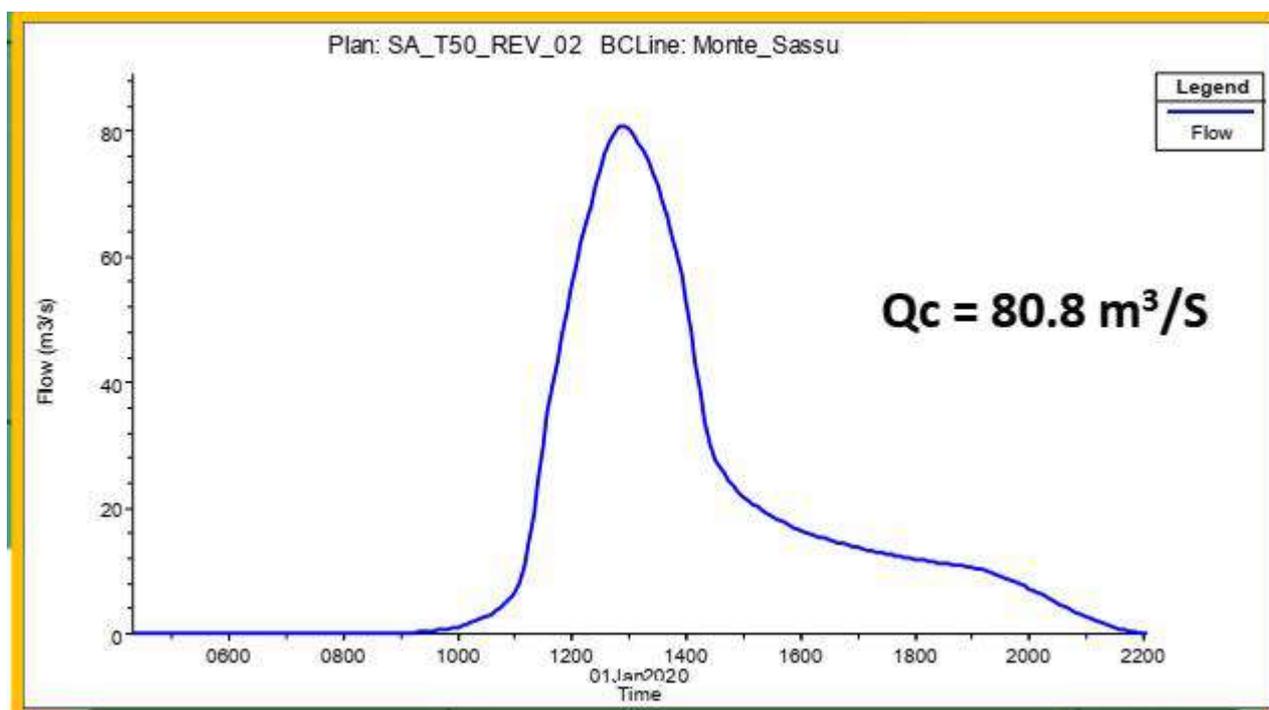


UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

tempi di ritorno con l'utilizzazione delle curve di possibilità pluviometrica ottenute dalla applicazione della distribuzione probabilistica TCEV. Mediante l'utilizzo di uno ietogramma di tipo Chicago si sono ottenuti gli ietogrammi di progetto relativi ai diversi tempi di ritorno.

La trasformazione afflussi-deflussi è stata sviluppata con l'ausilio del modello semi-distribuito Hec – Hms ed ha consentito la stima degli idrogrammi di piena attesi per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

A titolo esemplificativo si riporta nell'immagine seguente l'idrogramma di piena per il bacino del rio Sassu all'immissione sul rio Mogoro per il tempo di ritorno di 50 anni.



4.3 Analisi di idrogrammi definiti ad hoc/assenza di studi pregressi

Qualora non esistano per il corso d'acqua esaminato specifici studi approvati che consentono di valutare gli idrogrammi di piena per la modellazione 2D, è necessario sviluppare uno studio idrologico di dettaglio come da indicazioni riportate nelle Integrazioni Metodologiche alle Linee Guida del PSFF.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

5 Costruzione del modello idraulico

Il software utilizzato per la modellazione idraulica bidimensionale è di norma il software HecRAS (ver. 5.0.7). Come già rimarcato, l'interesse verso l'utilizzo di HecRAS è motivato dalla sua ampia diffusione in ambito professionale tecnico, trattandosi di un software scaricabile gratuitamente e, ulteriormente, anche per la sua ampia documentazione disponibile nell'implementazione della modellistica idraulica numerica.

5.1 Analisi dei dati disponibili

Per poter implementare il modello idraulico 2D, è necessario predisporre le informazioni geometriche relative alle quote del terreno. A tal fine sono disponibili:

- DTM con maglia 1 metro della Regione Sardegna
- Carta Tecnica Regionale scala 1:10'000 della Regione Sardegna
- Le caratteristiche dimensionali principali delle opere stradali (sezioni trasversali e profili longitudinali, ingombro dei ponti o degli scatolari presenti) e degli interventi progettuali devono essere desunte dagli elaborati progettuali e dagli studi disponibili.
- Eventuali rilievi disponibili

5.2 Aggiornamento del DTM

Come già detto nella identificazione delle fasi di studio, l'aggiornamento del DTM, a seguito della modifica delle quote del territorio o di presunti errori in esso contenuti, è un'operazione frequentemente richiesta dagli Enti locali che tuttavia non hanno sempre la percezione delle difficoltà conseguenti a questo tipo di operazioni che, pur rivestendo fondamentale importanza, in quanto permettono di rappresentare la realtà dei luoghi nella maniera più aderente possibile, richiede necessariamente l'applicazione di specifiche metodologie per essere correttamente utilizzata ad integrazione del DTM disponibile dal portale cartografico regionale.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

5.2.1 Analisi dei rilievi disponibili- Individuazione di “gruppi rappresentativi” di punti

Per poter procedere all'utilizzo dei dati da inserire all'interno del DTM che deve essere utilizzato nel modello idraulico è opportuno realizzare una classificazione dei punti di battuta da inserire. E' utile che i punti vengano raggruppati in “gruppi rappresentativi” di un'area rilevata magari appartenenti ad un determinato ambito territoriale omogeneo. In generale vengono individuati sostanzialmente due tipologie di ambiti territoriali: lotto e strada.

Di seguito si riporta un'esemplificazione della metodologia utilizzata, mettendo in evidenza le caratteristiche delle informazioni che devono essere impiegate per poter considerare utilizzabile o meno il dato disponibile dal rilievo per poter adeguatamente caratterizzare l'ambito territoriale al fine dell'aggiornamento del DTM.

In particolare si possono individuare i seguenti elementi significativi:

- ✓ Le **strade**: per il rilievo delle strade è necessario rilevare **almeno 3 punti** in corrispondenza di ciascuna sezione trasversale considerata. Un punto in corrispondenza di ciascuno dei due cigli stradali ed uno al centro della carreggiata. Se sono presenti dei marciapiedi è necessario rilevarne la quota con ulteriori punti rilevati sempre in corrispondenza della sezione considerata. Gli ambiti nei quali sono presenti solamente punti isolati rilevati in corrispondenza del solo ciglio o al centro della carreggiata non sono stati considerati utili ai fini dell'aggiornamento dell'informazione cartografica.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

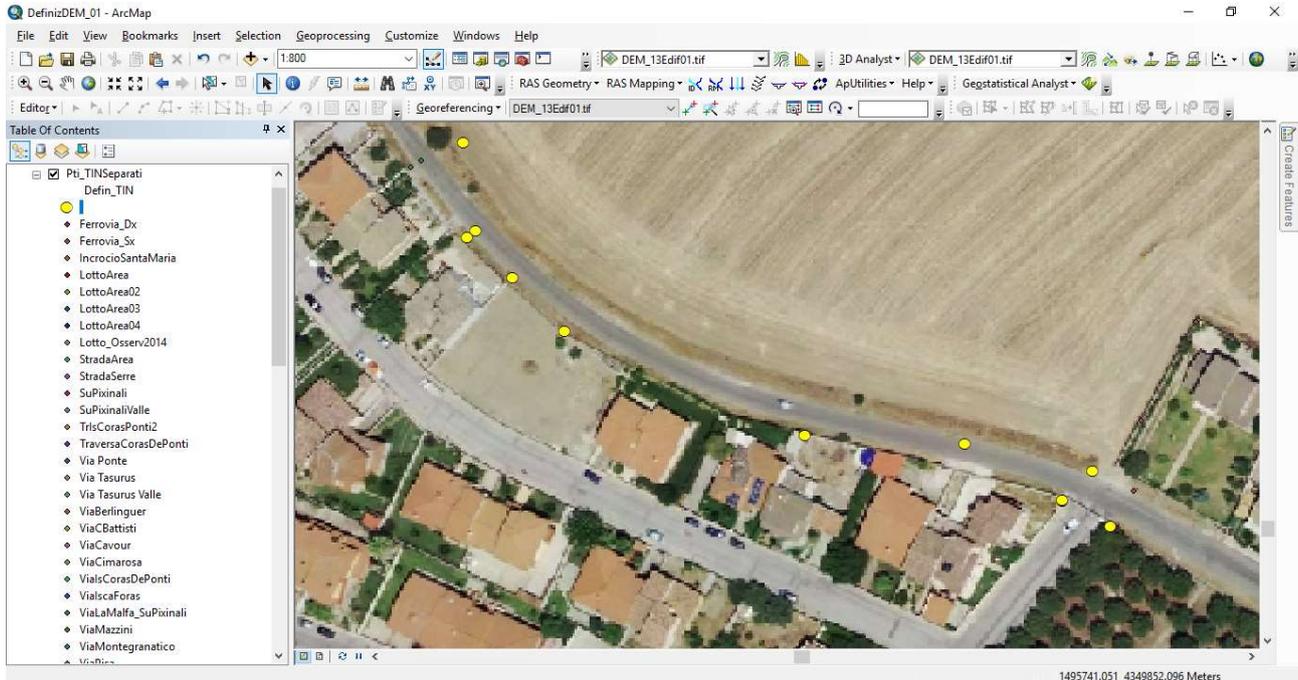


Figura 1. Esempio di punti lungo strada non rappresentativi

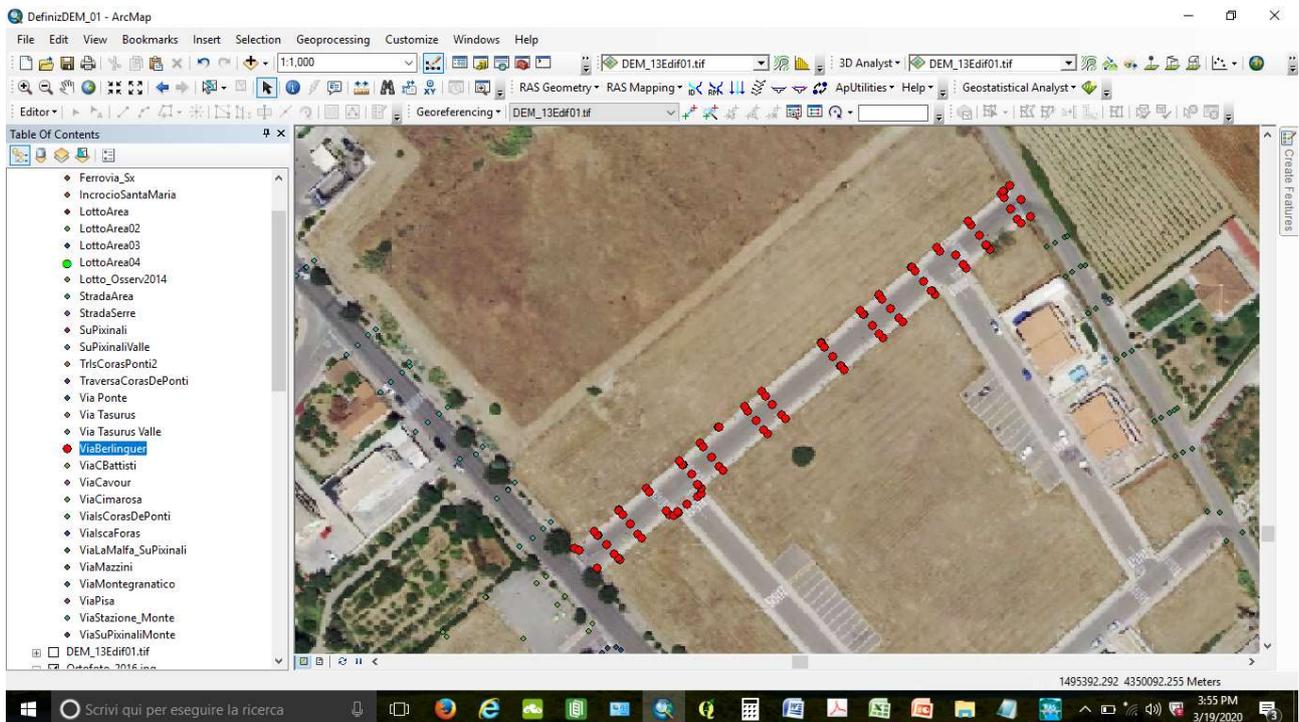


Figura 2. Esempio di punti lungo strada correttamente rilevati ed utilizzabili

- ✓ **I lotti:** per il rilievo dei lotti è necessario disporre di una serie di punti che ricoprano l'intera estensione in maniera omogenea. E' auspicabile poter disporre di una maglia avente una



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

discretizzazione spaziale costante che copra l'intera estensione del lotto (ad esempio con un delta spaziale di 2 metri) e della variabilità altimetrica al suo interno. Sarebbe comunque auspicabile un rilievo avente una discretizzazione paragonabile al dato di partenza che si vuole integrare.

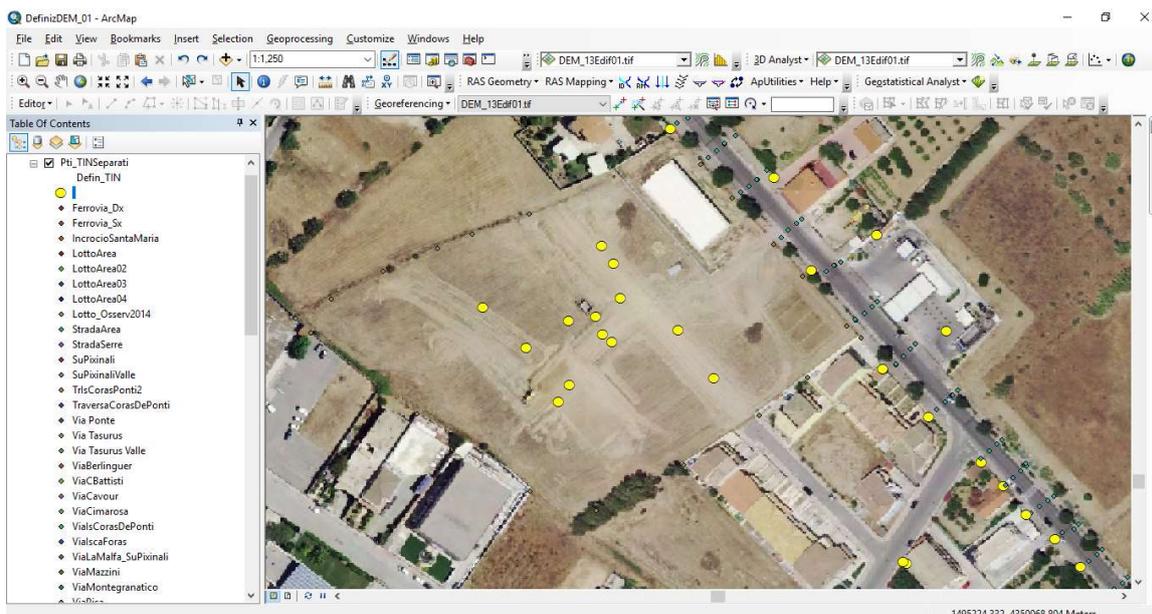


Figura 3. Esempio di punti all'interno di un lotto non rappresentativi

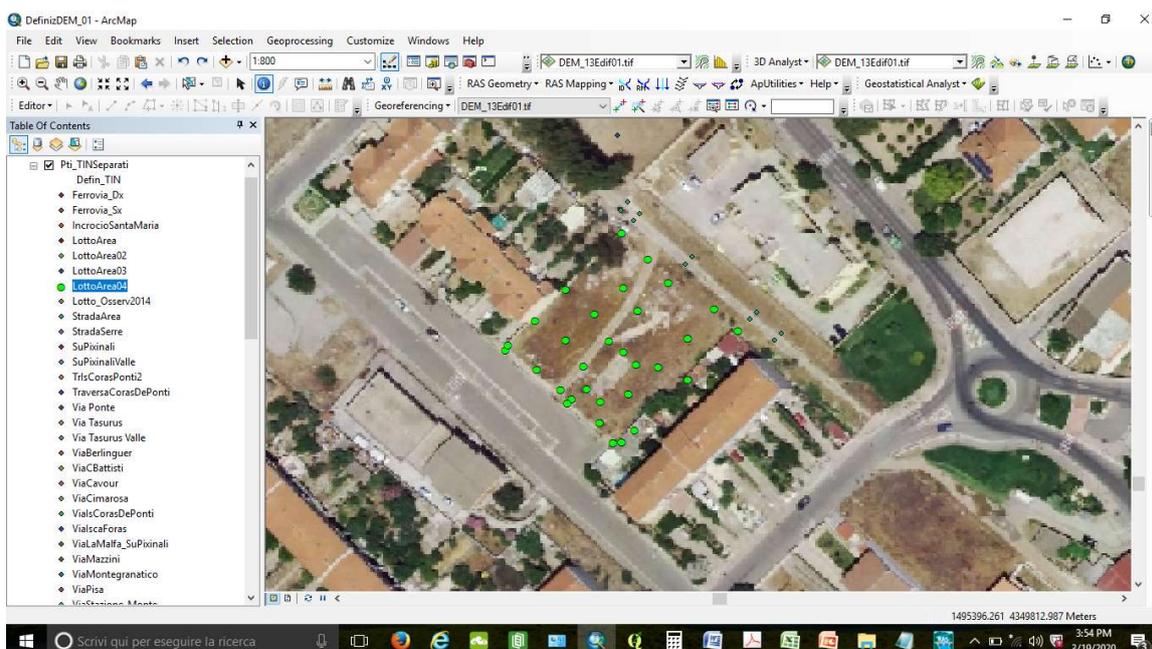


Figura 4. Esempio di punti all'interno di un lotto correttamente rilevati ed utilizzabili



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

5.2.2 Metodologia utilizzata per creazione dei raster da inserire nel DTM

Dopo aver individuato i punti appartenenti ad un “gruppo omogeneo” è necessario creare uno specifico *shape* che li contenga.

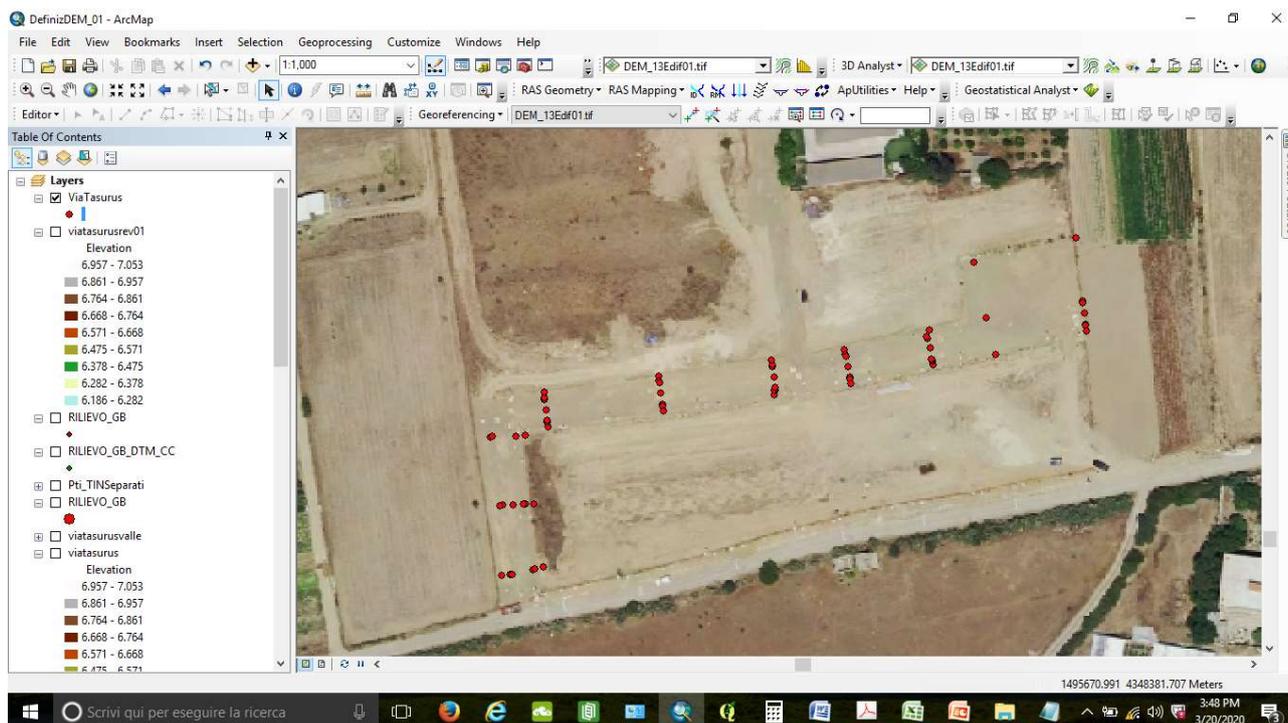


Figura 5. Shape dei punti rappresentativi di una specifica zona.

A partire dallo *shape* è necessario generare un TIN (*Triangulated Irregular Network*) della zona individuata dal “gruppo omogeneo” di punti utilizzati.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

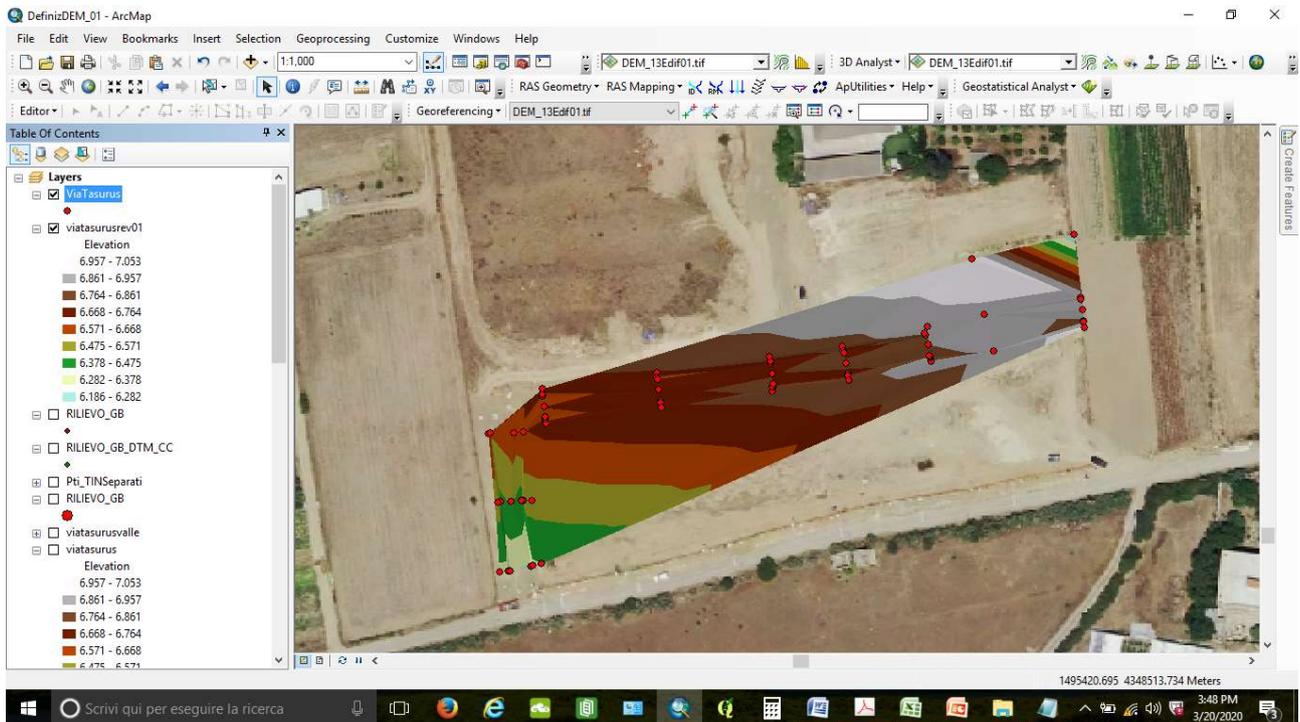


Figura 6. Trasformazione in TIN dello shape dei punti rappresentativi di una specifica zona.

Come si vede nella Figura 6 il TIN generato automaticamente in ambiente GIS può non rappresentare in maniera corretta l'andamento orografico del terreno. E' necessario perciò intervenire ulteriormente nella trasformazione con il comando "*Delineate TIN area data*" che consente di ritagliare e definire meglio l'area di interesse sulla base dei punti osservati.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

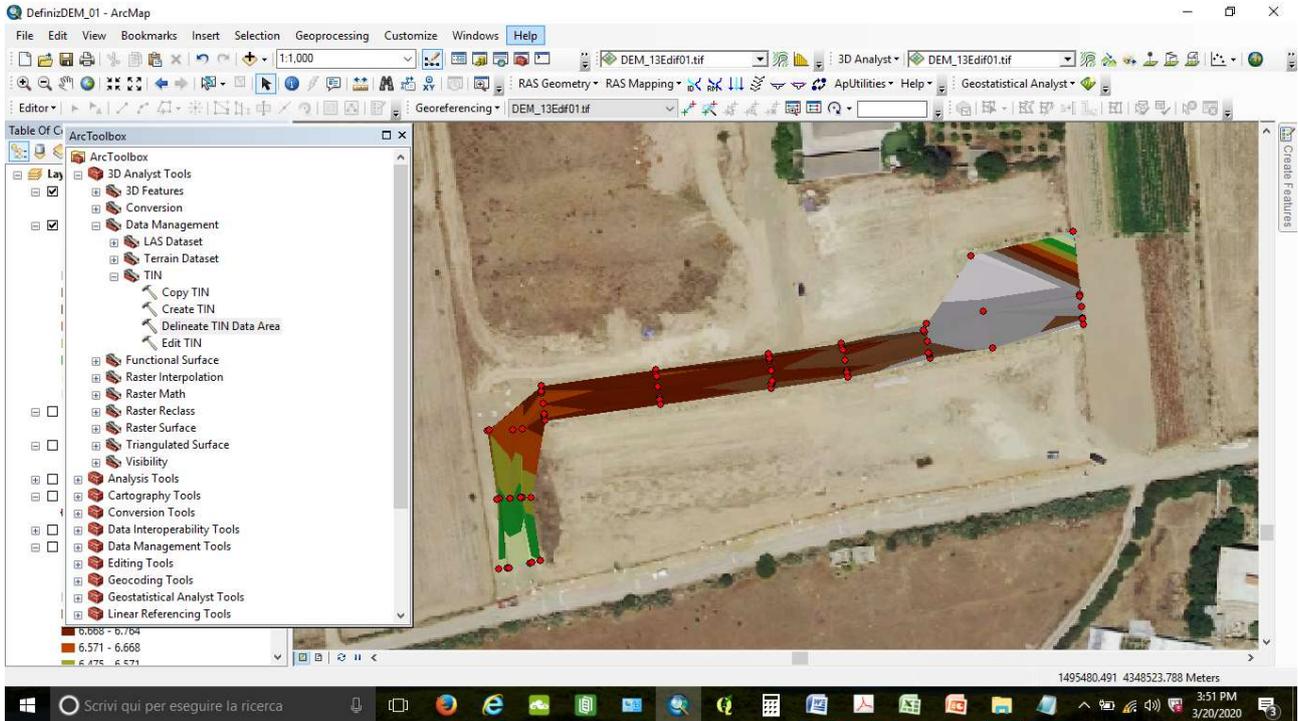


Figura 7. Trasformazione del TIN in seguito all'operazione di ridefinizione dell'area.

Partendo dal TIN modificato è quindi necessario trasformarlo in formato *raster* in maniera da avere una griglia costante di dati spazialmente distribuiti. Nel caso specifico la maglia è stata considerata pari ad 1 metro.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

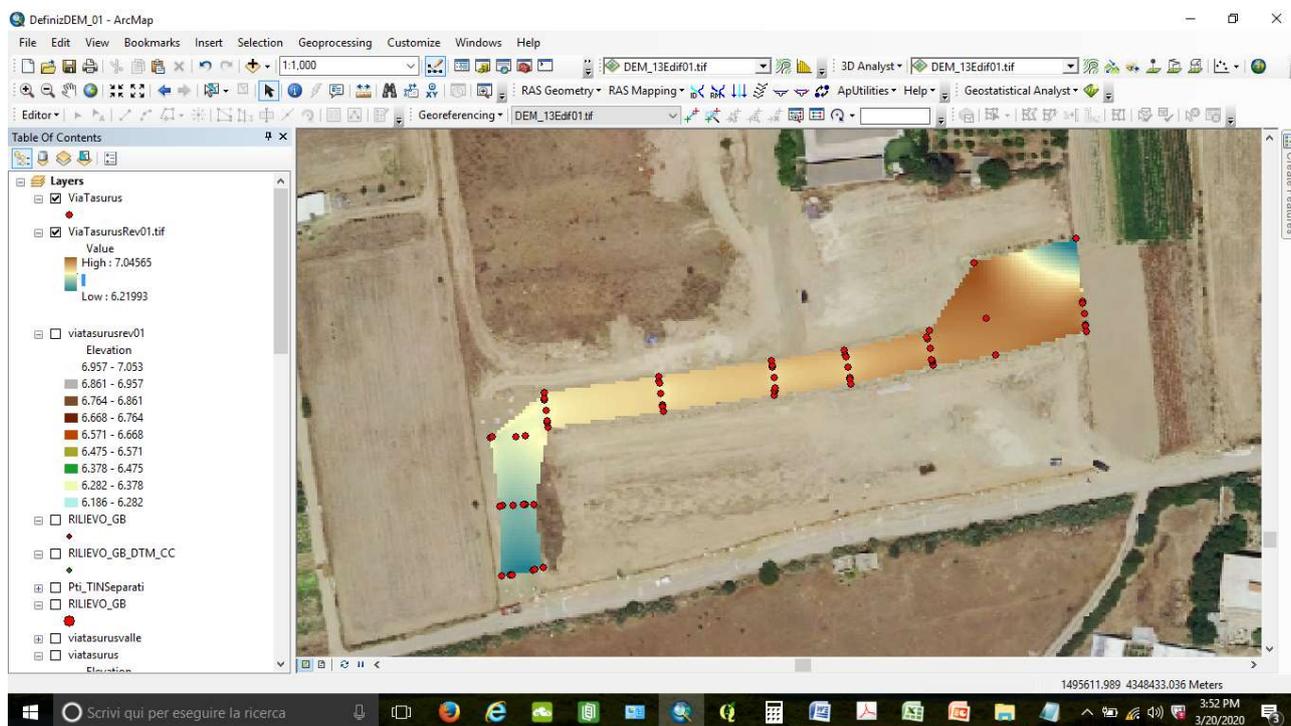


Figura 8. DTM della zona di interesse

Dopo aver creato in maniera indipendente i vari DTM delle aree considerate dai “gruppi omogenei” dei punti di rilievo, è necessario inserirli all’interno del DTM di partenza. Considerando che le informazioni sono state ottenute con tecniche diverse, è necessario effettuare una verifica dei risultati ottenuti nell’inserimento a modifica del DTM.

5.2.3 Considerazioni conclusive per realizzare l’aggiornamento del DTM

Nei paragrafi precedenti sono state evidenziate le principali criticità che derivano dalla integrazione nel DTM di rilievi puntuali a terra che spesso sono difficilmente utilizzabili per l’aggiornamento del DTM attualmente disponibile. La soluzione operativa che si auspica per il futuro e che risulta sicuramente percorribile con le tecnologie disponibili ad oggi (e che peraltro determina oneri che si ritengono economicamente sostenibili), è la realizzazione di un rilievo effettuato con l’utilizzo di un drone. Tale rilievo permette la restituzione di un luogo di punti omogeneamente distribuito della zona analizzata. Si tratta sicuramente di un risultato più facilmente utilizzabile rispetto al rilievo tramite



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

GPS di punti singolari. Si può inoltre richiedere la restituzione di un dato che è già sotto forma di DTM e non necessita di particolari rielaborazioni per la sua elaborazione.

Anche con queste procedure è ovviamente necessario avere la corretta geo-localizzazione dei punti che dovrà essere appoggiata ad elementi noti già individuati nel DTM preesistente.

5.2.4 Modello digitale della viabilità e degli edifici

Per completare il modello digitale da utilizzare nella modellazione è necessario inserire due ulteriori informazioni che riguardano la viabilità e gli edifici. Per quanto riguarda le aree stradali e le zone aperte (parcheggi, svincoli etc dataset da elaborare contiene la rappresentazione) il dataset è disponibile e liberamente scaricabile come strato informativo ST01TE01CL01PLG del Database Geotopografico della Regione Sardegna.

Il dataset relativo alla topografia del centro urbano è utilizzato per ricavare le informazioni planivolumetriche degli edifici presenti nel bacino, spesso in forma di primitive geometriche vettoriali relative all'area di impronta. Nel caso del Database Geotopografico della Sardegna, tra gli attributi sono disponibili altri dati numerici di supporto (quota di base dell'edificio, altezza dell'edificio) interpretabili mediante GIS al fine di ottenere una rappresentazione finale 3D dell'edificato. Il dato è reperibile nel GeoPortale istituzionale come Strato ST02TE01CL01PLG del DB Geotopografico della Regione Sardegna con scala di riferimento 1:2000.

E' opportuno in questa fase verificare mediante sopralluogo l'eventuale presenza di abitazioni e di aree stradali non inserite all'interno dei data-set disponibili che derivano da voli eseguiti tra il 2006 e il 2008. La eventuale presenza dei nuovi elementi deve essere opportunamente integrata nel database.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

5.3 Definizione della scabrezza idraulica

Con riferimento alla scabrezza idraulica da attribuire alle celle del campo del moto, deve essere valutato il coefficiente di Manning sulla base dell'uso e della copertura dei suoli in conformità con quanto indicato in Chow (1959), valori che sono fundamentalmente coincidenti con quelli riportati nella documentazione di HecRAS.

Il valore del coefficiente n deve essere assegnato a ciascuna cella in conformità con la classificazione della copertura ed uso del suolo mediante l'analisi di orto-foto e dati sviluppando l'elaborazione dei dati territoriali. A partire dallo shape-file della carta dell'uso del suolo, scaricabile dal sito della Regione Sardegna, e grazie alla tabella dei valori del parametro di scabrezza che l'User Manual del software HEC-RAS v.5.0.7 propone, è stata implementata la tabella data di seguito che permette nella simulazione idraulica bidimensionale di determinare le grandezze caratterizzanti il flusso idrico nell'area di esondazione.

Di seguito si riporta la tabella utilizzata per l'attribuzione della scabrezza alle diverse tipologie d'uso del suolo.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Tabella 2. Valori di Manning associati all'uso del suolo UDS

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 aereoportuali 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



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

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



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Land Cover to Manning's n (2D Flow Areas Only)

Set Manning's n to Override Default Land Cover Values			
Selected Area Edit Options			
Add Constant ...		Multiply Factor ...	Set Values ...
		Replace ...	
Land Cover Layer		Geometry Overrides (Blank for Default Values)	
	Name	Default Mann n	Base Mann n (blank for default)
1	nodata		
2	acquacolture in lagune, laghi e stagni co:	0.1	0.1
3	arboricoltura con essenze forestali di cor	0.12	0.12
4	aree a pascolo naturale	0.035	0.035
5	aree a vegetazione boschiva e arbustiva	0.05	0.05
6	aree aeroportuali ed eliporti	0.013	0.013
7	aree agroforestali	0.05	0.05
8	aree archeologiche	0.013	0.013
9	aree dunali coperte da vegetazione di an	0.1	0.1
10	aree estrattive	0.05	0.05
11	aree marine a produzione ittica naturale	0.1	0.1
12	aree portuali	0.013	0.013
13	aree prevalentemente occupate da coltu	0.05	0.05
14	aree ricreative e sportive	0.035	0.035
15	aree verdi urbane	0.03	0.03
16	bacini artificiali	0.1	0.1
17	boschi di latifoglie	0.12	0.12
18	canali e idrovie	0.1	0.1
19	cantieri	0.03	0.03
20	cespuglieti e arbusteti	0.04	0.04
21	cimiteri	0.013	0.013
22	colture in serra	0.15	0.15
23	colture temporanee associate ad altre cc	0.03	0.03
24	colture temporanee associate al vigneto	0.03	0.03
25	colture temporanee associate all'olivo	0.03	0.03
26	depositi di rottami a cielo aperto, cimiteri	0.035	0.035
27	discariche	0.035	0.035
28	fabbricati rurali	0.02	0.02
29	formazioni di ripa non arboree	0.1	0.1
30	frutteti e frutti minori	0.035	0.035
31	gariga	0.035	0.035
32	grandi impianti di concentrazione e smis	0.03	0.03
33	impianti a servizio delle reti di distribuzior	0.03	0.03
34	insediamenti di grandi impianti di servizi	0.035	0.035
35	insediamenti industriali-artigianali e comr	0.012	0.012
36	lagune, laghi e stagni costieri a produzior	0.1	0.1
37	macchia mediterranea	0.05	0.05
38	oliveti	0.04	0.04
39	paludi interne	0.1	0.1
40	paludi salmastre	0.1	0.1
41	prati artificiali	0.03	0.03
42	reti ferroviarie e spazi annessi	0.03	0.03
43	reti stradali e spazi accessori	0.03	0.03
44	saline	0.1	0.1
45	seminativi in aree non irrigue	0.03	0.03
46	seminativi semplici e colture orticole a pie	0.035	0.035
47	sistemi colturali e particellari complessi	0.035	0.035
48	spiagge di ampiezza superiore a 25 m	0.03	0.03
49	tessuto residenziale compatto e denso	0.013	0.013
50	tessuto residenziale rado	0.013	0.013
51	tessuto residenziale rado e nucleiforme	0.013	0.013
52	vigneti	0.035	0.035
53	vivai	0.15	0.15
54	zone intertidali (zona del litorale che dipe	0.1	0.1

Figura 9. Valori di Manning utilizzati nella modellazione 2D



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

5.4 Definizione del Dominio di calcolo e discretizzazione spaziale

Dopo aver definito il contesto plano-altimetrico dell'ambito di esondazione e l'idrogramma di piena da utilizzare nella modellazione idraulica bidimensionale, il passo successivo consiste nella definizione del dominio di calcolo e della sua discretizzazione spaziale. Si tratta di un passaggio di fondamentale importanza in quanto sulla base della discretizzazione dell'ambito territoriale verrà calcolata la propagazione della piena. Una maggiore densità comporta un numero maggiore di celle e conseguentemente un aumento dei tempi computazionali che risultano considerevoli. È pertanto necessario rifinire il reticolo solamente in alcune zone di interesse.

La scelta della dimensione minima delle maglie nasce dal giusto compromesso fra velocità computazionale e accuratezza nella definizione della geometria di calcolo: al fine di assicurare entrambe. In seguito alla realizzazione di alcune simulazioni preliminari, per ciascun modello idraulico è stato realizzato un dominio di calcolo con regioni aventi maglie con differente risoluzione spaziale a seconda degli elementi geometrici presenti.

In particolare, nelle aree di esondazione prive di elementi topografici, naturali o artificiali che possono influenzare in maniera determinante la propagazione del deflusso, la dimensione minima della maglia è mediamente pari a 15 metri, mentre nelle aree in cui è necessario avere una maggiore accuratezza spaziale la dimensione minima della maglia deve essere ridotta anche sino a 2 metri.

Nella Figura 10 viene riportato il dominio di calcolo del caso pilota della valle del Fluminimannu che è stato schematizzato con un'unica area 2D mentre nella Figura 11 viene riportato il dominio di calcolo del caso pilota del Rio Mogoro che è stato suddiviso in tre differenti aree 2D in funzione della complessità del territorio analizzato. Per maggiori dettagli si rimanda ai singoli allegati.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

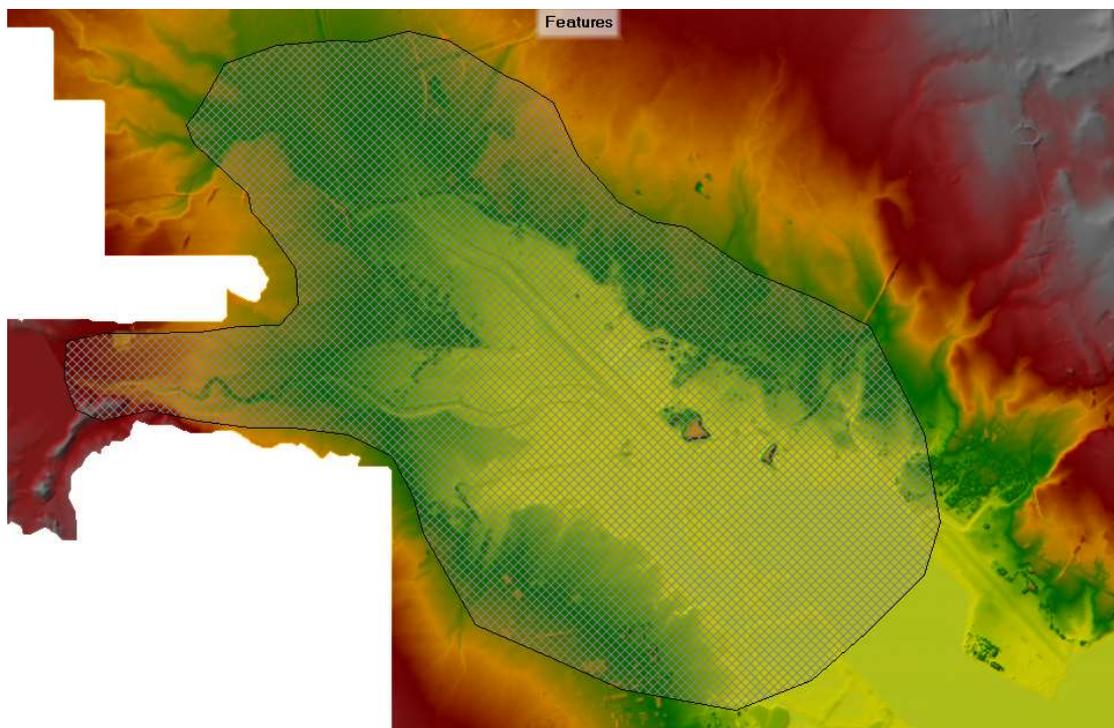


Figura 10. Dominio di calcolo del caso Pilota della valle del Flumimannu

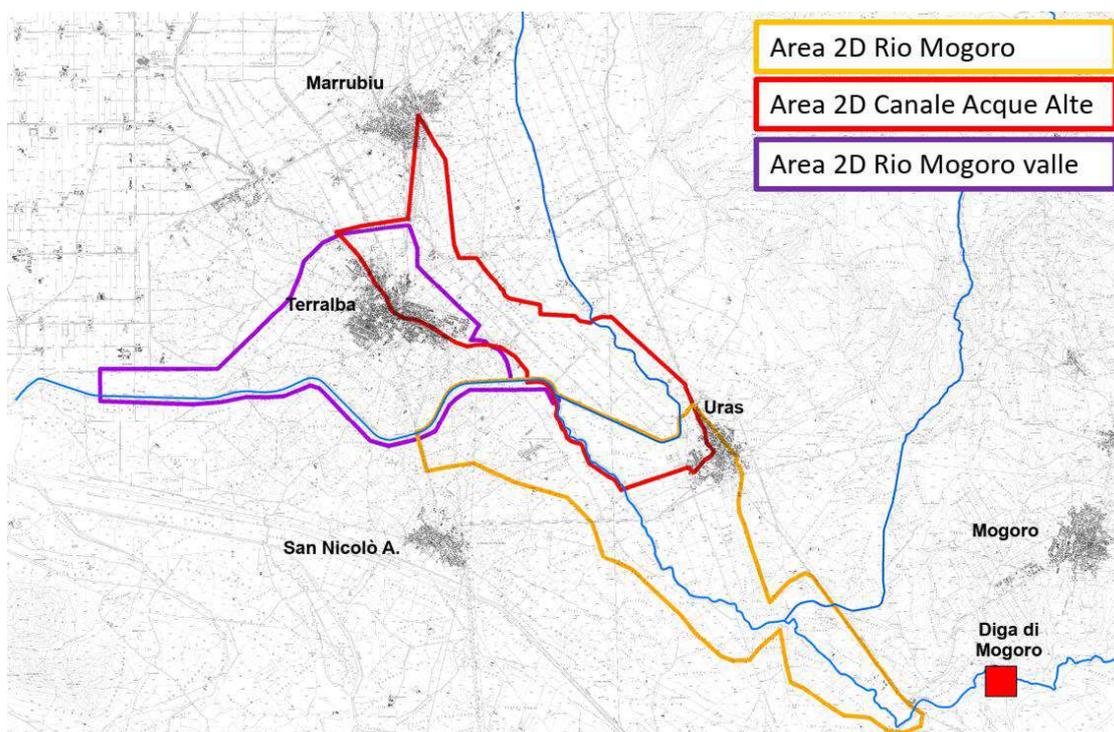


Figura 11 Dominio di calcolo del caso Pilota della valle del Rio Mogoro



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

All'interno del dominio di calcolo è opportuno inserire delle “*Break-Lines*” in corrispondenza delle zone più critiche nelle quali, durante la simulazione preliminare, il modello registrava problemi di convergenza.

Nell'immagine sottostante si riporta un dettaglio del dominio di calcolo in cui si evidenziano diverse *Break-Lines* ubicate sulla Strada Statale 130 in corrispondenza di centro abitato di Decimomannu nel caso pilota della valle del Fluminimannu.

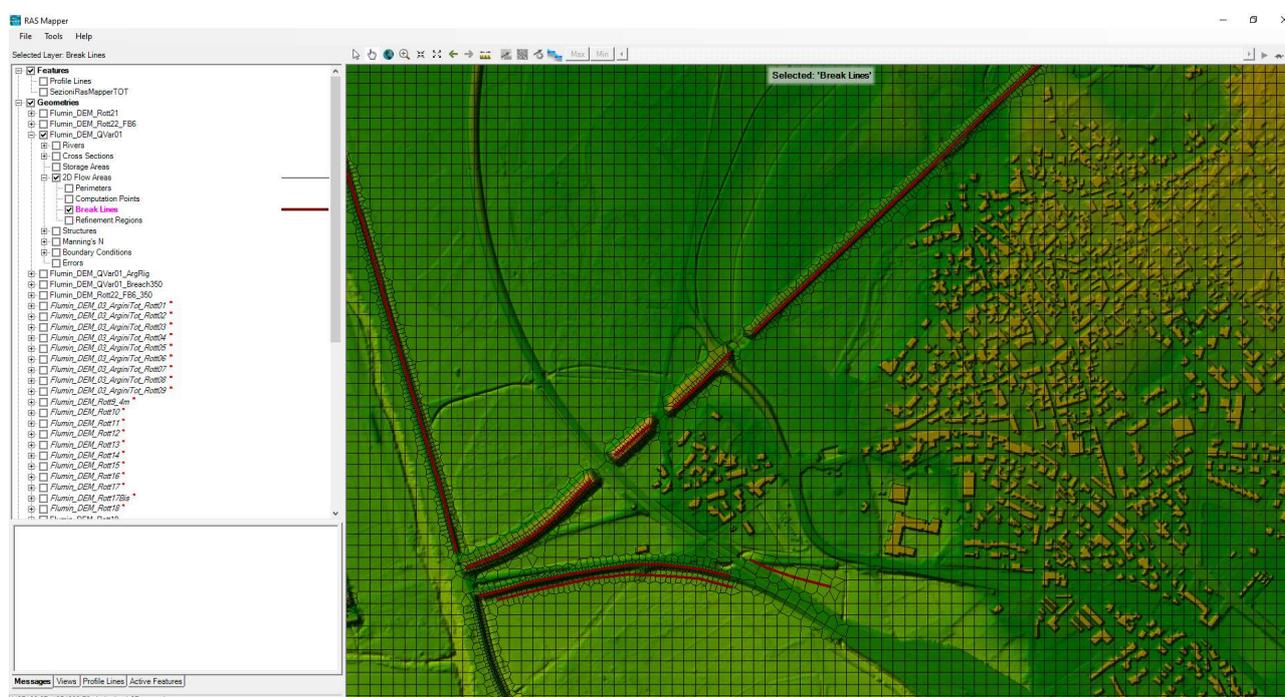


Figura 12. Ubicazione di una *Break-Line* in corrispondenza della SS 130 in territorio di Decimomannu

Lungo tali linee è stata infittita la discretizzazione spaziale delle celle con un dettaglio variabile da 5 a 15 metri.

Nei tratti arginati, nei punti in cui le simulazioni ad argini rigidi hanno messo in evidenza un'insufficienza della sezione idraulica, al fine di rappresentare la propagazione del deflusso in presenza di una rottura arginale, è opportuno inserire le strutture laterali con la possibilità di creazione di una breccia al raggiungimento di un determinato livello idrico o in corrispondenza del passaggio del colmo di piena dell'idrogramma di progetto utilizzato.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

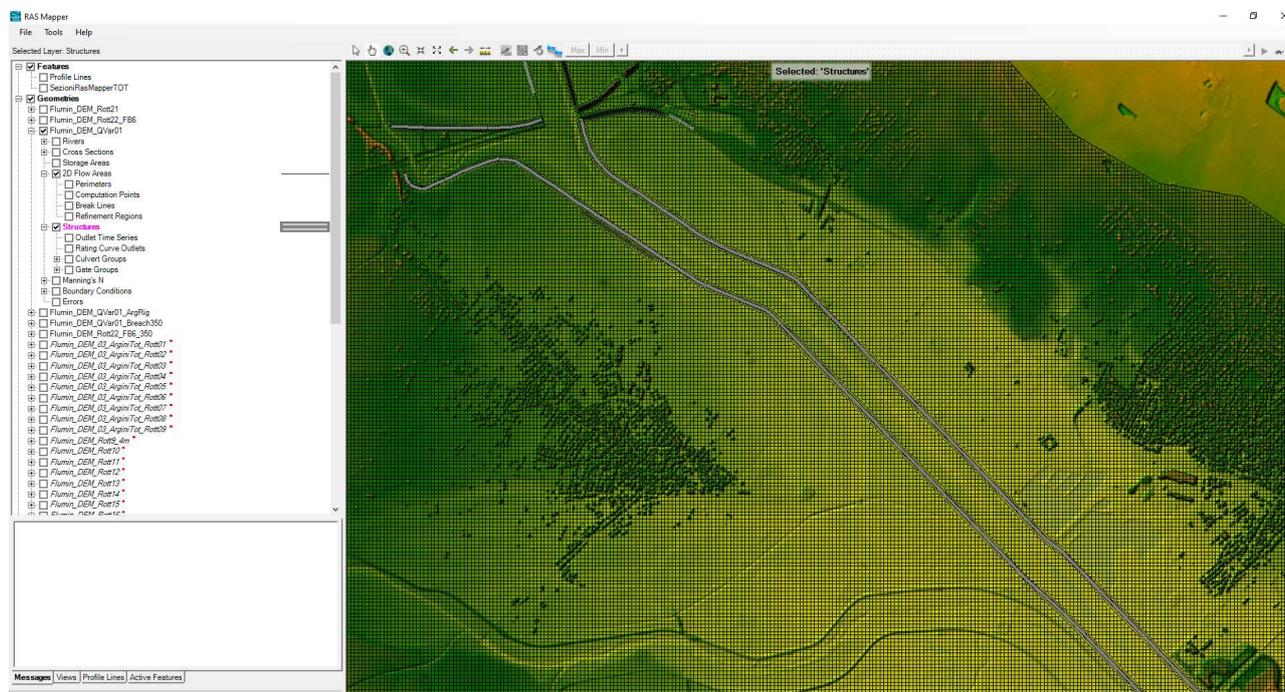


Figura 13. Ubicazione delle Strutture Idrauliche lungo l'intera sommità arginale del Fluminimannu

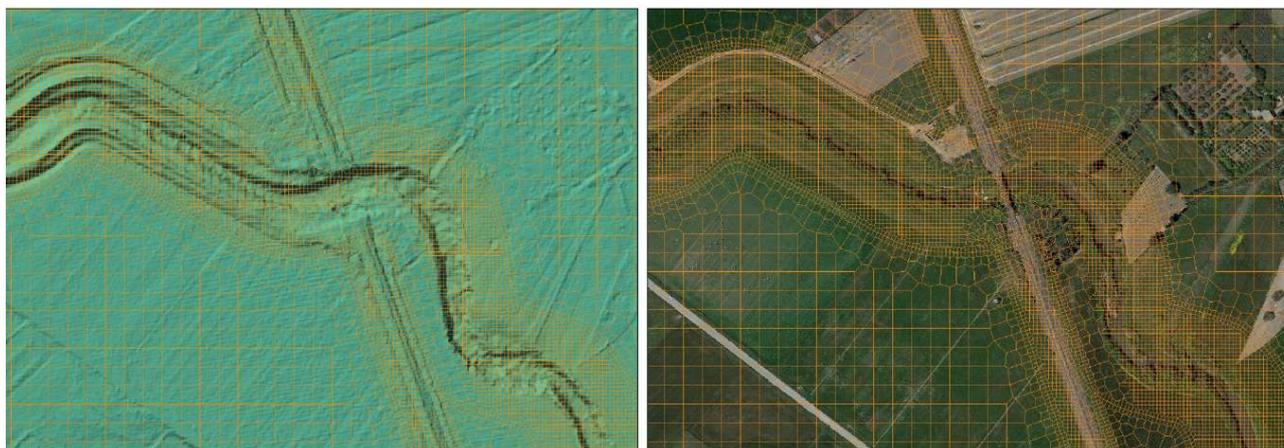


Figura 14. Esempio di regioni del dominio con diversa discretizzazione spaziale, caso di studio pilota del Mogoro

Nella versione di HecRas 5.0.7, ciascuna *Connection* può avere un massimo di 500 punti pertanto, nel caso di elementi molto lunghi, è necessario suddividere l'intero tratto in diverse parti tra loro opportunamente collegate. A titolo esemplificativo, nel caso del Fluminimannu l'intero tracciato è stato suddiviso in 16 *Connections* per il lato Destro arginale ed in 18 *Connections* per il lato Sinistro arginale.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Nelle Figure che seguono è riportato un dettaglio degli elementi descrittivi che devono essere inseriti per ciascuna connessione. In particolare, il deflusso al di sopra della struttura (*OverflowComputation Method*) è stato calcolato con l'equazione dello stramazzo (*Weir Equation*). La larghezza della sommità è stata imposta pari a 5 metri che corrisponde alla larghezza della sommità arginale.

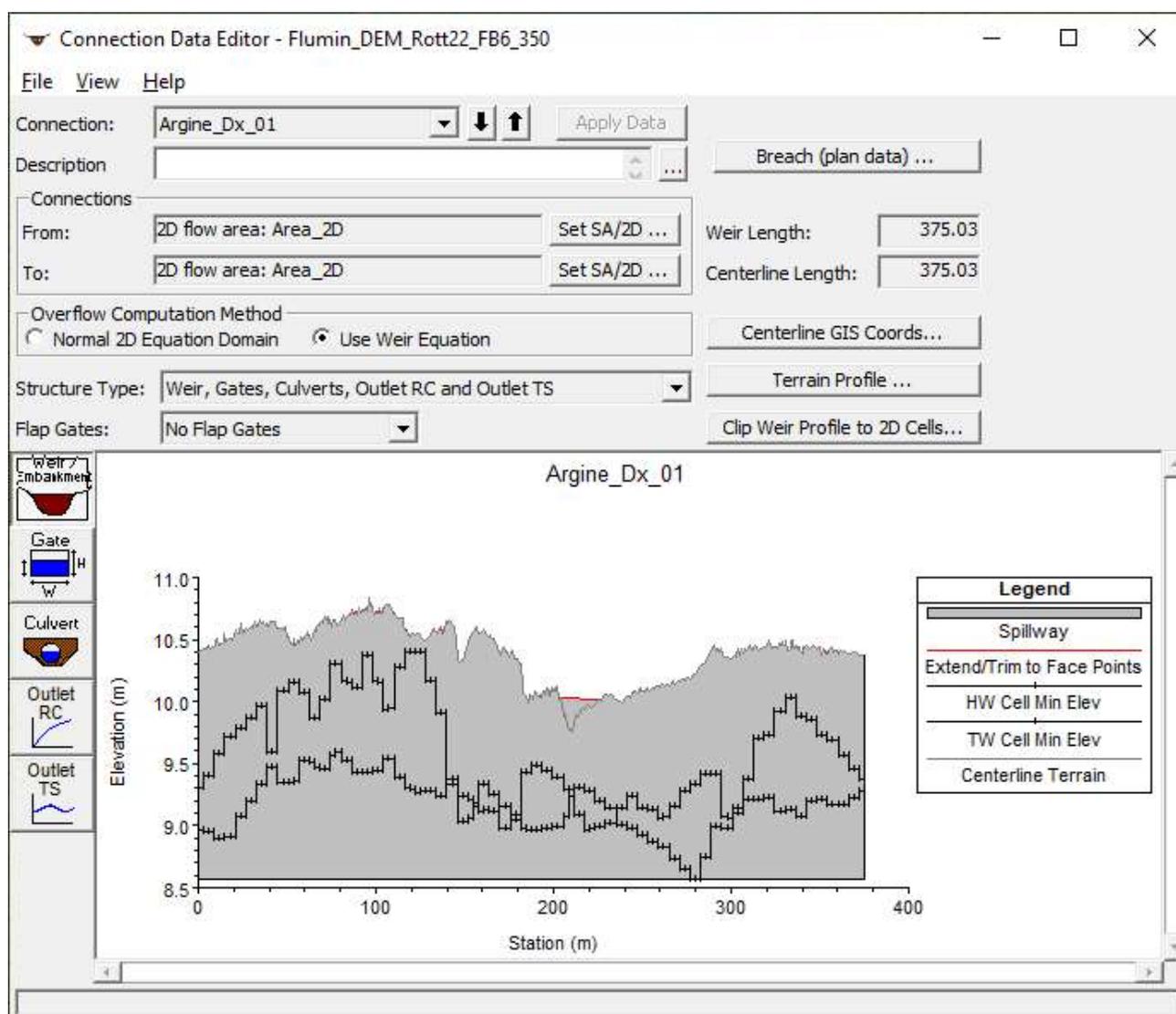


Figura 15. Esempio maschera per input dati HecRAS per l'utilizzo di una Connessione SA/2D Area Conn all'interno di una area a deflusso 2D



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

	Station	Elevation
1	0	10.405
2	2.235	10.412
3	3.328	10.431
4	4.618	10.425
5	5.43	10.452
6	6.481	10.424
7	9.383	10.455
8	9.634	10.477
9	10.685	10.507
10	10.971	10.503
11	11.736	10.455
12	12.56	10.47
13	13.838	10.462
14	14.148	10.476
15	14.889	10.55
16	15.737	10.485
17	17.325	10.502
18	18.913	10.491
19	20.502	10.532
20	21.296	10.57
21	22.09	10.549
22	23.297	10.546

Figura 16. Esempio dati inseriti per una Connessione SA/2D Area Conn all'interno di una area a deflusso 2D

5.5 Determinazione dell'intervallo computazionale

Nella simulazione idraulica in moto vario, un parametro di calcolo significativo da attribuire con attenzione è l'intervallo computazionale ΔT , che deve essere scelto con accuratezza in modo da non influenzare negativamente l'esito delle analisi. Sebbene il modello 2D permetta una rappresentazione dettagliata della topografia del dominio attraverso un infittimento del reticolo, la necessità di adottare *time-step* nell'ordine dei secondi per evitare instabilità numerica costituisce certamente un limite alla applicazione pratica per i tempi computazionali eccessivi. Questo potrebbe limitare l'estensione e risoluzione spaziale del dominio oppure il numero di scenari operativi o pianificatori che posso essere studiati (Lamb et al., 2009). Un'interessante discussione sul rapporto tra risoluzione della modellazione, accuratezza della soluzione richiesta e efficienza computazionale è data da Dottori et al. (2013).



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Generalmente l'intervallo computazionale ΔT viene valutato basandosi sul criterio di Courant, esprimibile nella maniera seguente per le equazioni FM:

$$C = \frac{V\Delta t}{\Delta x} \leq 1$$

dove V e ΔX sono rispettivamente la velocità massima dell'acqua e la dimensione media delle celle.

A partire dalla release 5.06 del software è possibile assegnare un range di valori all'interno dei quali consentire al software di variare autonomamente il *time step* di simulazione



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

5.6 Condizioni al contorno

La simulazione idraulica necessita della definizione dell'immissione degli input idrologici da fornire come condizione al contorno del modello numerico. In base alla conformazione del terreno ed all'analisi idrologica del bacino di interesse, sono individuati nel dominio di calcolo i punti di immissione degli idrogrammi di progetto precedentemente definiti, come ampiamente descritto nel capitolo 4. Nelle ultime versioni del software HecRas è possibile inserire diversi idrogrammi all'interno della stessa area 2D considerata come dominio di calcolo. Lungo i confini dei modelli idraulici realizzati è stata inserita una condizione al contorno che consente la propagazione del deflusso.

Nel caso di studio pilota del Fluminimannu, sono state inserite tre differenti condizioni al contorno all'interno del dominio di calcolo: due idrogrammi di progetto in corrispondenza di due differenti sezioni di controllo ed una condizione al contorno di valle che rappresenta il valore del livello idrico di restituzione, imposto pari a 0.80 m s.l.m.m. coerentemente con PSFF e PGRA.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

6 Articolazione delle fasi di simulazione idraulica - Inserimento delle brecce

Come precedentemente descritto, il software utilizzato per le analisi idrauliche è RAS (River Analysis System) sviluppato da HEC. Nelle simulazioni con presenza di argini (come nei due casi pilota considerati) è opportuno che le simulazioni idrauliche siano articolate in due fasi distinte:

- **Una prima fase, detta ad argini rigidi e trascinabili**, corrispondente ad una simulazione preliminare finalizzata **all'individuazione delle criticità arginali** presenti lungo i corsi d'acqua simulati.
- **Una seconda fase** in cui le simulazioni idrauliche vengono effettuate a seguito **dell'inserimento di una o più brecce arginali nei punti critici** individuati nella prima fase di simulazione. Nel caso in cui siano presenti più criticità sullo stesso tratto arginale, è opportuno considerare un'unica breccia a partire dalle criticità più a monte, estendendola, al fine di verificare gli effetti vallivi ed operare in termini cautelativi.

I risultati finali devono essere relativi all'involuppo complessivo dei risultati più critici ottenuti in ciascuna simulazione effettuata. In termini cautelativi, dovrà pertanto essere considerato **l'involuppo dei massimi derivanti dalla sovrapposizione dei risultati ottenuti nelle distinte simulazioni considerando separatamente le possibili rotture arginali**. Si tratta, ovviamente, di un approccio cautelativo che considera, tra le condizioni che possono verificarsi nel caso di collasso in diverse zone del corpo arginale, le situazioni più critiche nell'ambito del territorio interessato dall'esondazione

Come riportato nei singoli allegati dei due casi di studio pilota, le criticità arginali sono state valutate esclusivamente in **termini geometrici**, ossia sulla base del confronto fra livello idrico raggiunto dal deflusso e la quota della sommità arginale. Non sono, pertanto, inserite valutazioni di tipo geotecnico sulla stabilità dell'argine o eventuali criticità che possano derivare da infiltrazioni nel corpo arginale. Sono attualmente in corso di sperimentazione sul bacino pilota del fiume Fluminimannu indagini per l'individuazione di una metodologia che permette la caratterizzazione delle criticità arginali sopra accennate. Sulla base di future analisi e caratterizzazioni sperimentali di tipo geotecnico sarà, eventualmente, possibile l'inserimento di ulteriori vincoli nella simulazione idraulica.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Dopo aver individuato l'ubicazione dell'inizio della breccia utilizzata è necessario determinare i parametri fondamentali che consentono di descrivere il processo di formazione ed evoluzione della rottura arginale:

- *FBW: Final Bottom Width* - Lunghezza finale della breccia;
- *FBE: Final Bottom Elevation* - quota finale della breccia: questo valore è calcolato in funzione della geometria dell'argine in corrispondenza della sezione iniziale di rottura. Tale valore infatti è definita come $1/3$ dell'altezza totale h , calcolata come differenza tra la quota massima e la quota della base dell'argine
- la pendenza della sponda destra della breccia;
- la pendenza della sponda sinistra della breccia;
- il coefficiente di sbarramento della breccia;
- Il tempo di formazione della breccia: questo tempo è stato stimato tramite successive simulazioni verificando che il tempo nel quale avviene la completa rottura della breccia sia di poco successivo rispetto al passaggio del picco dell'idrogramma di progetto;
- la modalità di rottura: nel presente studio è stata considerata come condizione iniziale di rottura il sovrizzo dell'argine oltre una determinata quota;
- Il punto di innesco della rottura: il raggiungimento nella sezione di innesco della quota definita sulla base all'analisi dei risultati della simulazione ad argini rigidi e tracimabili.

Nella seguente Figura è riportato uno schema delle grandezze principali nella rappresentazione di una sezione trasversale con presenza di rilevato arginale.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

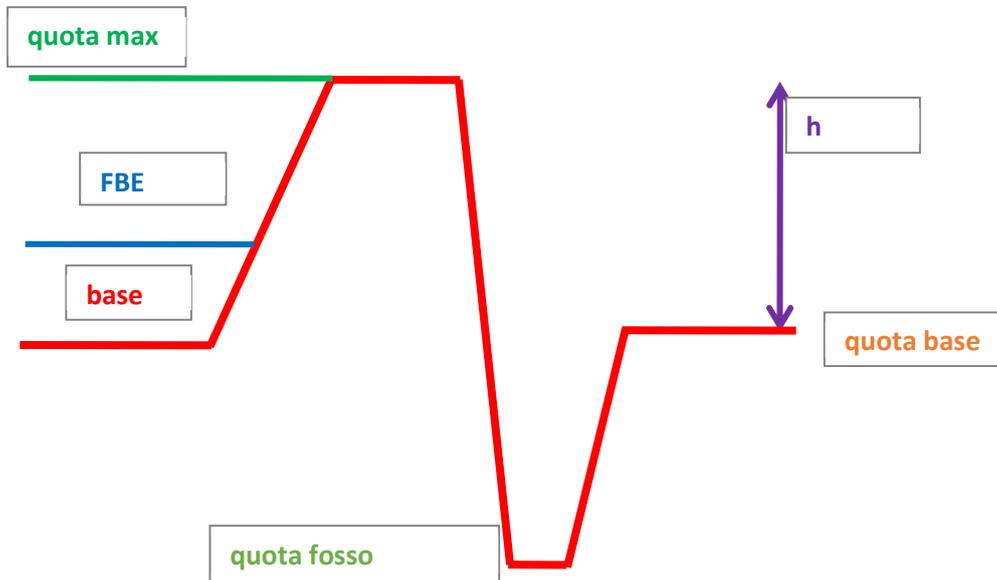


Figura 17. Schematizzazione delle principali grandezze rappresentative per definire una breccia

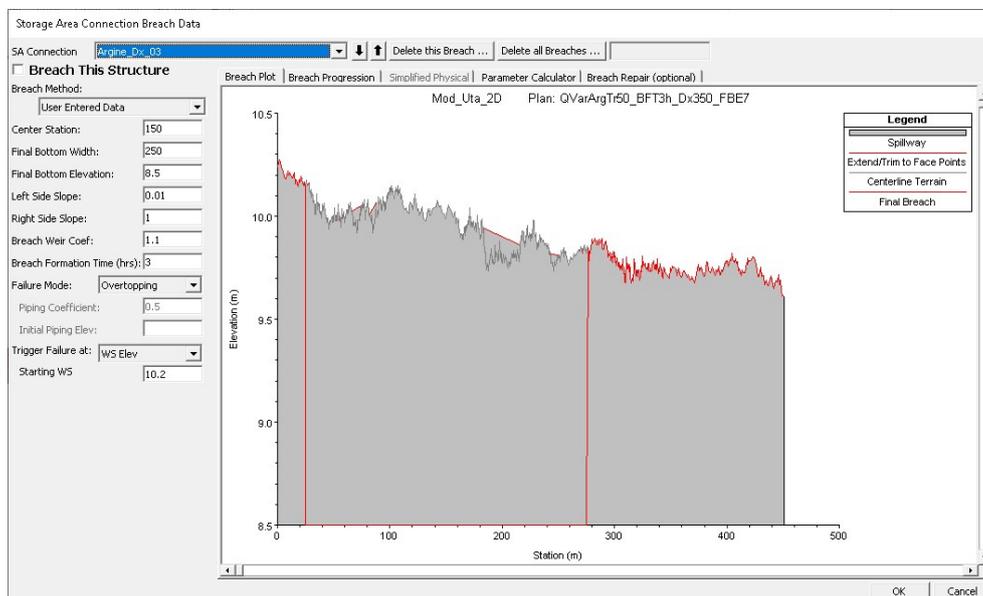


Figura 18. Rottura Arginale - Estratto del Software HeCRAS



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

7 Analisi dei Risultati

Le simulazioni idrauliche 2D permettono di definire con maggiore accuratezza le criticità idrauliche che hanno portato, negli studi precedenti, alla individuazione delle aree di esondazione. La simulazione bidimensionale consente, infatti, di evidenziare le vie principali di esondazione del corso d'acqua, valutandone in dettaglio livelli idrici e i valori di velocità e stimare conseguentemente l'indice di vulnerabilità V_p . Ulteriormente, i risultati ottenuti consentono di comparare le criticità evidenziate dalla modellazione con le criticità storicamente documentate negli accadimenti di eventi idrologici critici. Coerentemente con PSFF e PGRA le simulazioni devono essere sviluppate perlomeno per i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni. Il modello bidimensionale fornisce 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 consiste nel calcolare **l'involuppo dei massimi (in termini di tiranti e di velocità) derivanti dalla sovrapposizione dei risultati ottenuti dalle distinte simulazioni considerando separatamente le diverse rotture arginali ipotizzate**. Si tratta, ovviamente, di un approccio cautelativo che considera, tra le condizioni che possono verificarsi nel caso di collasso in diverse zone del corpo arginale, le situazioni più critiche nell'ambito del territorio interessato dall'esondazione.

L'ulteriore passaggio consiste nell'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.”



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

È pertanto necessario analizzare i valori dell'indice V_p , calcolato sulla base delle indicazioni riportate nel capoverso precedente, per poter fornire una valutazione della pericolosità nel territorio in occasione di accadimento di eventi di piena.

La finalità di tali valutazioni è stata chiarita con la deliberazione n.1 del Comitato Istituzionale del 16.06.2020 con la quale è stato introdotto il *comma 5 septies dell'articolo 8* delle Norme di Attuazione del PAI che cita:

“Anche per i bacini che riguardano ambiti urbani e peri-urbani 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.”

Come già detto nel paragrafo precedente, per la stima dell'indice di vulnerabilità V_p deve essere considerato, per ciascun elemento del reticolo, l'involuppo dei valori massimi dei battenti idrici h e delle velocità v derivanti dalla sovrapposizione dei risultati ottenuti nelle distinte simulazioni realizzate per gli eventi di collasso arginale.

Il software HecRas fornisce i risultati in formato raster con risoluzione di 1 metro; utilizzando un programma GIS è infine necessario, valutare gli ambiti omogenei di variazione del valore dell'Indice di Vulnerabilità V_p nel dominio considerato all'interno delle aree già soggette a vincolo.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Conclusioni

Le mappe dell'indice di vulnerabilità V_p definite sulla base delle indicazioni fornite nei paragrafi precedenti, come riportato nell'art. 8 comma 5 quater, richiamato dal comma 5 septies, delle NTA consentono ai Comuni di attuare le previsioni normative seguenti: *“I Comuni, a seguito degli studi di cui al comma 5 bis, per le aree urbane (H_i^*) nelle quali V_p assume un valore inferiore o uguale a 0,75, applicano le norme d'uso stabilite dai piani urbanistici comunali generali ed attuativi, previa loro **variante urbanistica di adeguamento** per tener conto delle risultanze di tali studi. L'adeguamento dei piani urbanistici comunali generali ed attuativi è effettuato nel rispetto dei principi generali del PAI, con particolare riferimento agli articoli 16, 47 e 49 delle NA, con l'obiettivo di evitare la creazione di nuove situazioni di criticità, ridurre la vulnerabilità degli edifici esistenti, limitare l'impermeabilizzazione dei suoli e migliorare in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità dei sistemi di drenaggio urbano. Gli interventi, le opere e le attività sono realizzati previa loro specifica valutazione da parte dei Comuni, in sede di procedura di formazione dei titoli abilitativi, in relazione alle situazioni di criticità nelle aree (H_i^*) individuate”*

Con la prescritta variante urbanistica, pertanto i Comuni potranno inserire le prescrizioni all'interno dei loro strumenti generali e attuativi e che riguardano in particolare i seguenti aspetti:

- evitare la creazione di nuove situazioni di criticità;
- ridurre la vulnerabilità degli edifici esistenti;
- limitare l'impermeabilizzazione dei suoli e migliorare in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità dei sistemi di drenaggio urbano;
- divieto di realizzazione di nuovi volumi interrati e seminterrati;
- realizzazione di interventi di adeguamento e di misure di protezione locale ed individuale;
- dismissione obbligatoria e irreversibile dei locali interrati esistenti.



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDENZA
Direzione Generale Agenzia Regionale del
Distretto Idrografico della Sardegna



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI
CAGLIARI**
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE E ARCHITETTURA
SEZIONE DI INGEGNERIA IDRAULICA

Oltre gli aspetti sopra elencati, già enunciati dalle Norme del PAI, si consiglia che i Comuni, pur nel rispetto della loro autonomia, possano valutare altri elementi da introdurre nella propria strumentazione urbanistica quali prescrizioni per incentivare l'accumulo dei volumi idrici derivanti dall'impermeabilizzazione del territorio mediante la realizzazione di vasche di accumulo/cisterne per l'accumulo ed il riutilizzo delle acque piovane raccolte.

Si vuole evidenziare che tutte le grandezze idrauliche riportate negli Allegati cartografici, ed in particolare le mappe del V_p , sono state valutate con esclusivo riferimento alle criticità che derivano dalla modellazione 2D dei corsi d'acqua esaminati in questo studio.

Pertanto, non si esclude, e dovrà essere oggetto di verifica, la possibilità che tali ambiti del territorio possano essere oggetto di vincolo anche per ulteriori criticità derivanti dalla rete idrografica qui non considerata.