

DELIBERAZIONE A.C.

n. 23 del 4/5/2017

ROMA CAPITALE
SEGRETARIATO-DIREZIONE GENERALE

 **ROMA CAPITALE**

 **ROMA CAPITALE** 39

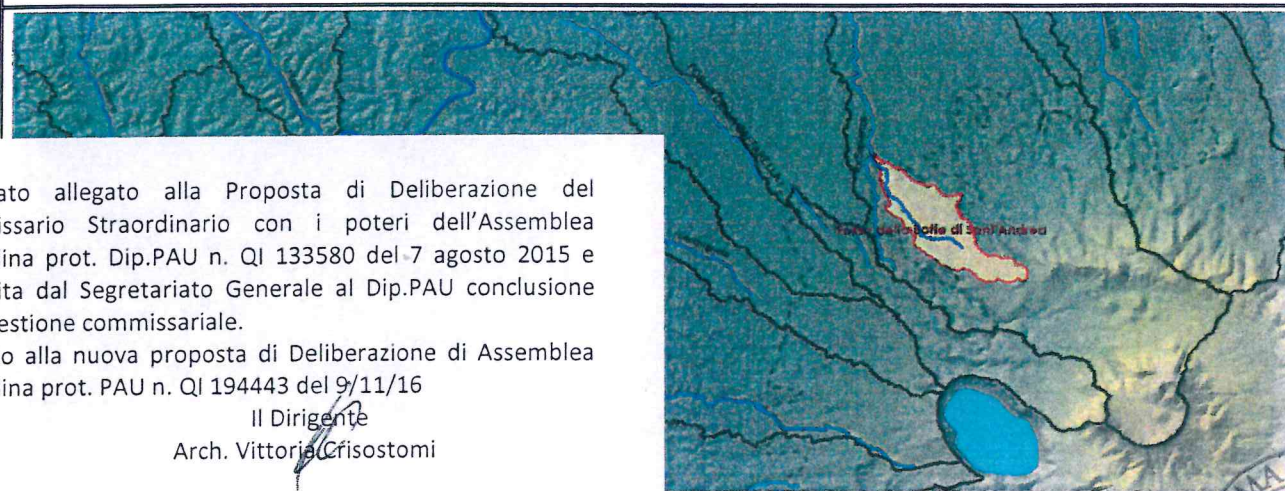
24 SET 2015

24 NOV. 2014

N. RC/ 26580 **Autorità di Bacino del Fiume Tevere**

DIP. PROGRAMMAZIONE E ATTUAZIONE URBANISTICA
Prof. n. QI 181300

**Studio idrologico ed idraulico 2D per l'aggiornamento del piano di assetto idrogeologico del reticolo secondario per l'area di Roma Capitale:
FOSSO BOTTE DI S. ANDREA**

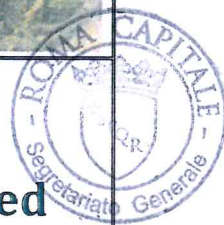


Elaborato allegato alla Proposta di Deliberazione del Commissario Straordinario con i poteri dell'Assemblea Capitolina prot. Dip.PAU n. QI 133580 del 7 agosto 2015 e restituita dal Segretariato Generale al Dip.PAU conclusione della gestione commissariale.

Allegato alla nuova proposta di Deliberazione di Assemblea Capitolina prot. PAU n. QI 194443 del 9/11/16

Il Dirigente
Arch. Vittorio Crisostomi

| | | |
|--------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elaborato n° | 001 | Titolo elaborato RELAZIONE GENERALE Modellazione idrologica ed idraulica 2D del fosso della Botte di Sant'Andrea |
| Tipo: | Relazione | |
| File: | P032ABTPLIREP00101 | |



A cura di:
IDRAN Ingegneria e Tecnologia S.r.l.
Via Gregorio VII, 186 - 00165 Roma
Tel. +39.06.48900671 Fax +39.06.97257990
info@idran.net http://www.idran.net



| | | | | | |
|------|------------|------|---------|------------|-----------|
| 001 | 07/10/2014 | | | | |
| REV. | DATA | NOTE | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

Il Direttore
Ing. Antonello Fatello
IL DIRIGENTE TECNICO
(Ing. Carlo Ferranti)

ALLEGATO ALLA
PROPOSTA DI DELIBERAZIONE
PROT. N. QI 133580
DEL 4-8-15

IL DIRETTORE
Sergio Baldino

30 NOV 2018

Pagina di retrocopertina volutamente lasciata vuota

Edizioni del documento

Edizione 1.0 - (30/09/2014). Prima emissione della Relazione Generale

Indice

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUZIONE..... | 6 |
| 2. CARATTERIZZAZIONE FASI E SOTTOFASI DEL PRECEDENTE STUDIO | 7 |
| 3. APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA ADOTTATE NEL PRECEDENTE STUDIO | 11 |
| 4. IDROLOGIA..... | 2 |
| 4.1. Discretizzazione del bacino in sottobacini: scenari della forzante idrologica | 3 |
| 4.1. Analisi morfometrica del reticolo e bacino idrografico | 3 |
| 4.2. Tempo di corrivazione..... | 6 |
| 4.3. Ietogramma di progetto (metodo vapi) | 7 |
| 4.4. Analisi delle perdite idrologiche (stima dello ietogramma netto con il metodo SCS-CN) | 8 |
| 4.5. Trasformazione afflussi/deflussi (modello geomorfologico WFIUH)..... | 10 |
| 5. Modellazione idraulica bidimensionale e mappatura delle aree inondabili..... | 15 |
| 5.1. Metodologia..... | 15 |
| 5.2. Caratterizzazione della geometria e della risoluzione del dominio | 15 |
| 5.3. Inserimento del canale e delle sezioni fluviali..... | 17 |
| 5.4. Rilevati arginali..... | 17 |
| 5.1. Edifici e ostruzioni varie | 19 |
| 5.2. Ponti e tombini..... | 19 |
| 5.3. Valutazione della scabrezza (coefficiente di Manning)..... | 20 |
| 5.4. Inserimento ed interpolazione dell'idrogramma di piena (INFLOW)..... | 21 |
| 5.5. Mappatura delle aree inondabili..... | 22 |

| | | |
|------|----------------------------------------------|----|
| 5.6. | Risultati..... | 23 |
| 5.7. | Mappatura della pericolosità idraulica | 27 |

Elenco delle figure

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Cartografia su larga scala del Dominio di studio con indicati il bacino idrografico del fosso della Botte di Sant’Andrea e i confini comunali dei comuni Roma-Fiumicino..... | 1 |
| Figura 2 - Planimetria cartografica di rappresentazione della caratterizzazione idrologica del Fosso della Botte di Sant’Andrea..... | 4 |
| Figura 3 - Carta dell’uso del suolo del Fosso della Botte di Sant’Andrea ricampionato utilizzando setteclassi a partire dallo strato dell’uso del suolo della CTRN 5K..... | 9 |
| Figura 4- Idrogrammi di piena WFIUH per il fosso della Botte di Sant’Andrea per Tr 50, 100, 200 e 500 anni per tutti i sottobacini..... | 12 |
| Figura 5 - Risultati della modellazione afflussi-deflussi per il Fosso della Botte di Sant’Andrea con le piogge VAPI del tc fisicamente basato e gli idrogrammi di piena sintetici per i tre scenari di idrologia – Tr 50 anni..... | 13 |
| Figura 6 - Risultati della modellazione afflussi-deflussi per il Fosso della Botte di Sant’Andrea con le piogge VAPI del tc fisicamente basato e gli idrogrammi di piena sintetici per i tre scenari di idrologia – Tr 200 anni..... | 13 |
| Figura 7 - Risultati della modellazione afflussi-deflussi per il Fosso della Botte di Sant’Andrea con le piogge VAPI del tc fisicamente basato e gli idrogrammi di piena sintetici per i tre scenari di idrologia – Tr 200 anni..... | 14 |
| Figura 8 - Risultati della modellazione afflussi-deflussi per il Fosso della Botte di Sant’Andrea con le piogge VAPI del tc fisicamente basato e gli idrogrammi di piena sintetici per i tre scenari di idrologia – Tr 500 anni..... | 14 |
| Figura 9 - Dominio di calcolo considerato nella modellazione idraulica bidimensionale del Fosso della Botte di Sant’Andrea | 16 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 10 - Localizzazione delle sezioni fluviali utilizzate per l'impostazione geometrica del modello idraulico..... | 18 |
| Figura 11 - Mappatura del valore del coefficiente di scabrezza secondo Manning utilizzato nel modello idraulico 2D sulla base delle classi di uso del suolo..... | 21 |
| Figura 12 - Grafico del profilo di piena del canale del fosso della Botte di Sant'Andrea per Tr 50, 100, 200, 500 | 23 |
| Figura 13 - Aree inondabili del Fosso della Botte di Sant'Andrea | 24 |
| Figura 14 - Prototipo della cartografia di mappatura della pericolosità idraulica per la Tr 200 anni | 28 |
| Figura 15 - Prototipo della cartografia di mappatura dei tiranti massimi asincroni per la Tr 200 anni | 29 |
| Figura 16 - Prototipo della cartografia di mappatura delle velocità massime asincrone per la Tr 200 anni..... | 30 |

Elenco delle tabelle

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabella 1 - Analisi morfometrica del bacino del fosso della Botte di Sant'Andrea..... | 5 |
| Tabella 2 - Risultati del metodo VAPI per il Fosso della Botte di Sant'Andrea per la stima degli Ietogrammi lordi di progetto per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni con tc stimato con il metodo fisicamente basato | 8 |
| Tabella 3 - Risultati della procedura di stima dei coefficienti di deflusso con il metodo SCS-CN per il Fosso della Botte di Sant'Andrea sulla base dei tc del metodo fisicamente basato | 9 |
| Tabella 4 - Portate di picco e specifiche dell'idrologia sintetica del metodo WFIUH per il Fosso della Botte di Sant'Andrea | 12 |
| Tabella 5 - Volumi delle onde di piena dell'idrologia sintetica del metodo WFIUH per il Fosso della Botte di Sant'Andrea | 12 |
| Tabella 6- Sommario dei parametri di riferimento della caratterizzazione morfometrica del dominio (area golenale) e canale di interesse per il Fosso della Botte di Sant'Andrea..... | 19 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabella 7 - Valori dei coefficienti di scabrezza utilizzati in funzione dell'uso del suolo | 20 |
| Tabella 8 - Profilo di piena del canale, parte 1..... | 25 |
| Tabella 9 - Profilo di piena del canale, parte 2..... | 26 |

1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro è prodotto nell'ambito dei lavori della Convenzione stipulata in data 27/06/2011 tra **l'Autorità di Bacino del Fiume Tevere (ABT)** e il **Comune di Roma** (Fondi Legge Roma Capitale, Decreto impegno 0015446 del 29.12.2010-Nota Comune di Roma 0000745 del 14.3.2011), avente come finalità la revisione del quadro di Rischio Idraulico per l'area Metropolitana di Roma (Tevere, Aniene e Fossi minori) (**Convenzione**) con particolare riferimento al progetto di **definizione del piano di assetto idraulico del reticolo secondario dei fiumi Tevere ed Aniene nei confini del comune di Roma**, oggetto specifico della **II FASE** della suddetta **Convenzione**. Il Dominio di riferimento originale costituisce le aree vallive di 13 corsi d'acqua principali del reticolo secondario nei limiti dei 13 corridoi ambientali di cui al PS5 dell'ABT.

Il presente lavoro ha come **dominio di studio il fosso della Botte di Sant'Andrea**, affluente in destra idraulica del fosso Tor Sapienza, quest'ultimo facente parte dei 13 fossi del reticolo secondario dei fiumi Tevere e Aniene suddetti.

La presente Relazione descrive le attività, i risultati dello Studio e i prodotti di consegna riguardanti gli Studi di Modellazione Idrologica ed Idraulica 2D per l'identificazione/perimetrazione delle aree del bacino del corso d'acqua del Dominio soggetto a servitù di allagamento (aree inondabili) e della pericolosità idraulica, successiva alle fasi di:

- Composizione Preliminare del quadro informativo (Fase A);
- Caratterizzazione GIS (Fase B);
- Supervisione e Coordinamento Rilievi Batimetrici e Topografici (Fase C),

per le quali si rimanda al precedente studio dei 13 fossi del reticolo secondario dei fiumi Tevere e Aniene.

2. CARATTERIZZAZIONE FASI E SOTTOFASI DEL PRECEDENTE STUDIO

I contenuti, la descrizione e la tempistica di massima delle FASI e SOTTOFASI sono descritti nell'Art. 2 del Contratto stipulato in data 31/01/2013 tra l'Autorità di Bacino del Fiume Tevere e il Gruppo di Lavoro incaricato (**Contratto**) ed in particolare:

...omissis...

A) Composizione-preliminare (Reticolo secondario del Tevere ed Aniene nei confini del comune di Roma)

Descrizione: Composizione preliminare di un quadro di riferimento dati raccogliendo materiale già disponibile presso l'Autorità di bacino o altri Enti con programmazione dell'integrazione possibile dei rilievi. Il quadro di riferimento dell'attività era composto attraverso:

A1) Raccolta dati :

- cartografia "ufficiale" ed "aggiornata" dell'area romana, con disponibilità del dato altimetrico e degli strati informativi disponibili del database della CTRN della Regione Lazio e del PST del Ministero dell'Ambiente (LIDAR, ecc.);
- dati idrologici e studi di riferimento specifici per area romana, con particolare riferimento ai dati e studi di caratterizzazione delle piogge intense e forzanti idrologiche (portate di picco ed idrogrammi) sul dominio di interesse, dove disponibili;
- raccolta dati di tipo territoriale e programmatico, Comune di Roma e Provincia di Roma (*e.g.* piani di zona, scarichi, ecc.);
- raccolta ed analisi di altri possibili dati utili.

B) Caratterizzazione GIS

Descrizione: Implementazione di un sistema GIS sviluppato ad hoc per il progetto per l'acquisizione, elaborazione e visualizzazione dei dati spaziali e numerici disponibili e dei dati elaborati dalle attività di modellazione idrologico-idraulica, finalizzato alla mappatura dei risultati dello studio che comprende:

- Definizione del sistema di georeferenziazione;

- Acquisizione ed omogeneizzazione dei dati disponibili;
- Acquisizione ed omogeneizzazione dei dati elaborati per il progetto;
- Predisposizione dei progetti GIS per la visualizzazione e mappatura dei risultati.

C) Supervisione e coordinamento rilievi batimetrici e topografici

Descrizione: Attività di supervisione e coordinamento delle attività di rilievo batimetrico e topografico della nuova campagna prevista per il completamento del quadro di riferimento che comprende:

- Supervisione e coordinamento delle diverse squadre che comporranno il team di rilievo sul campo mediante appositi piani rilievi;
- Sviluppo di riprese fotografiche per analisi qualitativa dei luoghi;
- Analisi dei dati prodotti per coordinamento attività eventuali di integrazione dati.

D) Sviluppo modellistica idrologica ed idraulica

Descrizione: Detta fase attiene, in massima parte, all'impostazione ed applicazione della modellistica idrologico-idraulica con la definizione delle caratteristiche delle forzanti idrologiche di progetto ed alla valutazione deterministica dell'effetto al suolo del passaggio dell'onda di piena nel dominio di studio:

- analisi idrologica ed idraulica per definizione dei parametri di input e condizioni al contorno della modellazione afflussi-deflussi ed idraulica 1D e/o 2D;
- definizione modello idrologico ed idraulico di riferimento;
- applicazione del modello idrologico per la caratterizzazione degli idrogrammi di progetto ai tempi di ritorno di progetto di 50, 100, 200 e 500 anni;
- applicazione del modello idraulico 2D per la verifica idraulica degli effetti delle piene di progetto per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni;
- Taratura e calibratura dei modelli;
- Sviluppo e analisi dei risultati con particolare riferimento alle criticità idrauliche dei manufatti, dei tratti arginali e delle strutture interessate dal passaggio della piena di riferimento;

- mappatura delle aree allagabili secondo tempi di ritorno per vari scenari;
- mappatura aree a maggior criticità per vari scenari;
- redazione di relazioni per la descrizione delle tecniche, metodologie applicate ed analisi critica dei risultati.

E) Attività di gestione e progettuale del territorio di riferimento con riguardo all'analisi quali-quantitativa e dell'impatto socio-economico

Descrizione: Analisi delle soluzioni di assetto possibile con riferimento alle problematiche idrauliche e ai programmi di gestione e sviluppo del territorio:

- verifica dei risultati dei modelli in relazione al tessuto urbano di riferimento e composizione di uno scenario progettuale di mitigazione del rischio
- studio qualitativo e quantitativo inerente il piano di gestione delle acque del Tevere e dell'Aniene in ambito urbano;
- caratterizzazione della dinamica della forzante idrologico-idraulica per la stima dell'impatto socio-economico sul territorio comunale;

...omissis...

Per approfondimenti sulle modalità di svolgimento e sovrapposizione delle diverse FASI e SOTTOFASI, si rimanda al Cronoprogramma dei Lavori (**Cronoprogramma**), riportato nella **Relazione Sintetica del precedente studio**, che fa riferimento alla seguente nomenclatura delle stesse:

- FASE A: Composizione preliminare (Quadro conoscitivo)
 - FASE A.1 Acquisizione ed elaborazione dati e studi territoriali, idrologici ed idraulici esistenti
 - FASE A.2 Creazione del database GIS aggiornato ed integrato delle informazioni disponibili
- FASE B: Caratterizzazione GIS

- FASE B.1 Omogeneizzazione dati disponibili ed elaborati per il progetto in ambiente GIS
- FASE B.2 predisposizione progetti GIS per visualizzazione e mappatura risultati
- FASE C: Supervisione e coordinamento rilievi batimetrici e topografici
 - FASE C.1 Supervisione e coordinamento dei rilievi
 - FASE C.2 Realizzazione di sopralluoghi fotografici
 - FASE C.3 Analisi dei dati rilevati
- FASE D: Sviluppo modellistica idrologica ed idraulica
 - FASE D.1 Analisi idrologica e definizione degli idrogrammi di progetto
 - FASE D.2 Modellazione idraulica 2D
 - FASE D.3 Taratura dei modelli
 - FASE D.4 Analisi dei risultati
 - FASE D.5 Mappatura delle aree allagabili
 - FASE D.6 Mappatura delle aree a maggior criticità
 - FASE D.7 Redazione di relazioni
- FASE E: Attività di gestione e progettuale del territorio di riferimento con riguardo all'analisi quali-quantitativa e dell'impatto socio-economico
 - FASE E.1 Verifica dei risultati composizione di uno scenario progettuale di mitigazione del rischio
 - FASE E.2 Studio qualitativo e quantitativo inerente il piano di gestione delle acque del Tevere e Aniene
 - FASE E.3 Caratterizzazione della forzante idrologico-idraulica per la stima dell'impatto socio-economico

3. APPLICAZIONE DELLE LINEE GUIDA ADOTTATE NEL PRECEDENTE STUDIO

Il bacino idrografico del fosso Botte di Sant'Andrea, così come i 13 fossi già oggetto di studio, ricade nella categoria dei **piccoli bacini non strumentati**, ossia bacini con **area drenata apparente inferiore a 100-200 km²** di corsi d'acqua per i quali non sono disponibili serie storiche idonee alla caratterizzazione dell'idrologia di piena di progetto sulla base dell'analisi statistica delle misure di altezza idrometrica/portata durante eventi estremi, ma è necessario utilizzare modelli afflussi-deflussi basati sulle disponibili serie di dati pluviometrici.

In aggiunta, il dominio di interesse, che presenta una **significativa antropizzazione/urbanizzazione delle aree golenali**, ha richiesto un'attenta valutazione delle **nuove tecnologie di realizzazione dei rilievi topografici** per la definizione (digitale) degli elementi naturali ed antropici che interferiscono con i flussi di piena per sfruttare al meglio **le risorse tecnico-economiche disponibili** ed assolvere, al tempo stesso, alle attuali specifiche tecniche di redazione ed aggiornamento dei PAI dell'ABT in termini di rilievi topografici e batimetrici.

Gli organismi nazionali ed internazionali per la gestione del rischio idraulico non forniscono **linee guida di riferimento** per la **caratterizzazione topografica** e per lo **studio idrologico-idraulico bidimensionale (2D)** di piccoli bacini, con particolare riferimento ai criteri di definizione dell'**idrologia (idrogrammi) di piena** ed alla procedura di implementazione della **modellistica** per la mappatura delle aree inondabili e delle aree a pericolosità idraulica. La questione è di estremo ed attuale interesse per la comunità accademica, che ha riconosciuto la problematica dei piccoli bacini. L'associazione internazionale delle scienze idrologiche (International Association of Hydrological Sciences o IAHS) ha appena concluso una decade di studi e ricerche dedicati specificatamente a questo tema¹ individuando i principali problemi ed offrendo soluzioni sperimentali il cui utilizzo, però, va analizzato secondo i differenti e specifici contesti climatici, idrogeomorfologici e socio-economici.

¹ M. SIVAPALAN et al., IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003–2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences, Hydrological Sciences Journal, Vol. 48, Iss. 6, 2003

A tal fine, nel precedente studio relativo ai 13 fossi del reticolo secondario dei fiumi Tevere e Aniene, sono state redatte specifiche Linee Guida (vedi: Relazione Linee Guida del progetto: " *Studio Idrologico Ed Idraulico Bidimensionale Per L'aggiornamento Del Piano Di Assetto Idrogeologico Del Reticolo Secondario Per L'area Di Roma Capitale*".)

La redazione delle Linee Guida ha seguito **quattro fasi principali**:

- 1) **fase preliminare** di redazione dei **piani di rilievo topografico, batimetrico** e di **ogni elemento** interferenti con i flussi di piena sulla base di applicazione di un **modello idrologico ed idraulico 2D semplificato**;
- 2) **seconda fase** di sviluppo del **caso di studio del bacino Pilota Rio Galeria** con **analisi comparativa** dei risultati dell'applicazione della **procedura proposta** rispetto alla **procedura standard ABT e calibrazione dei parametri di calcolo**;
- 3) **terza fase** di **applicazione della modellistica idrologica ed idraulica 2D**, basata sulla **stima fisicamente basata del tc e uso del modello WFIUH**, utilizzando il set di parametri calibrato sul bacino pilota della fase precedente, per la definizione degli **idrogrammi di progetto** ed utilizzo di un **modello idraulico 2D (FLO-2D)** di propagazione delle onde di piena di progetto per **tutti i corsi d'acqua** in studio;
- 4) **quarta ed ultima fase** per la **riconciliazione delle aree inondabili** nelle zone di confluenza tra corsi d'acqua del **reticolo principale (FASE I)** e corsi d'acqua del **reticolo secondario (FASE II)**.

La **Procedura** adottata nello Studio, dettagliatamente descritta nella RELAZIONE "LINEE GUIDA", corrisponde alle **scelte progettuali e metodologiche** dei seguenti *step*:

- **definizione del bacino e reticolo idrografico** (reticolo idrologico ed idraulico digitalizzati rispettivamente da DTM e da ortofoto/CTR) per la **stima dei parametri morfometrici** e la determinazione del **tempo di corrivazione** con il criterio fisicamente basato di stima delle velocità di flusso calibrate sia per il canale, in funzione della pendenza media del segmento

fluviale, che per lo scorrimento superficiale su versante calibrato in funzione sia della pendenza che dell'uso del suolo;

- stima degli **ietogrammi lordi di progetto** con il **metodo VAPI** e calibrazione dei **CN** (associati a predefinite classi di uso del suolo) per l'applicazione del **metodo SCS-CN** per la **stima delle perdite idrologiche** finalizzata alla definizione dello **ietogramma netto di pioggia per ogni tempo di ritorno (Tr)**;
- utilizzo del **modello geomorfologico WFIUH** per la definizione degli **idrogrammi di piena sintetici per ogni Tr**;
- **inserimento, interpolazione e propagazione** delle onde di piena sintetiche con un **modello idraulico 2D**;
- **delineazione delle aree inondabili** e della **pericolosità idraulica** sulla base della **interpretazione/perimetrazione oggettiva non condizionata** (senza filtri sui risultati della modellazione idraulica) come involucro delle aree/celle interessate dai flussi di piena.

è soggetta alle seguenti **prescrizioni di utilizzo**:

- i **criteri e parametri di calcolo sono estendibili al fosso della Botte di Sant'Andrea in studio** una volta definiti i *range* dei parametri (velocità di flusso nel canale e sul versante, CN) in funzione di predefinite informazioni sulla natura del territorio, reperibili da fonti ufficiali (pendenza e di uso del suolo);
- la Procedura **non è automaticamente generalizzabile** fuori dal contesto del dominio di interesse, a meno di non calibrare e validare nuovamente la procedura su almeno un corso d'acqua strumentato all'interno del nuovo dominio di riferimento.

Una corografia su larga scala del Dominio con i principali strati informativi di riferimento è riportata nella Figura 1.

Alcuni dati di riferimento:

- la **lunghezza dell'asta del fosso della Botte di Sant'Andrea**, oggetto della modellistica idraulica 2D, è di circa **5.7 km**;
- l'**area del bacino** idrografico sotteso alla sezione di chiusura coincidente con l'immissione nel fosso del Tor Sapienza è di circa **7 km²**.
- il **dislivello altimetrico** massimo è di **345,2 m**.

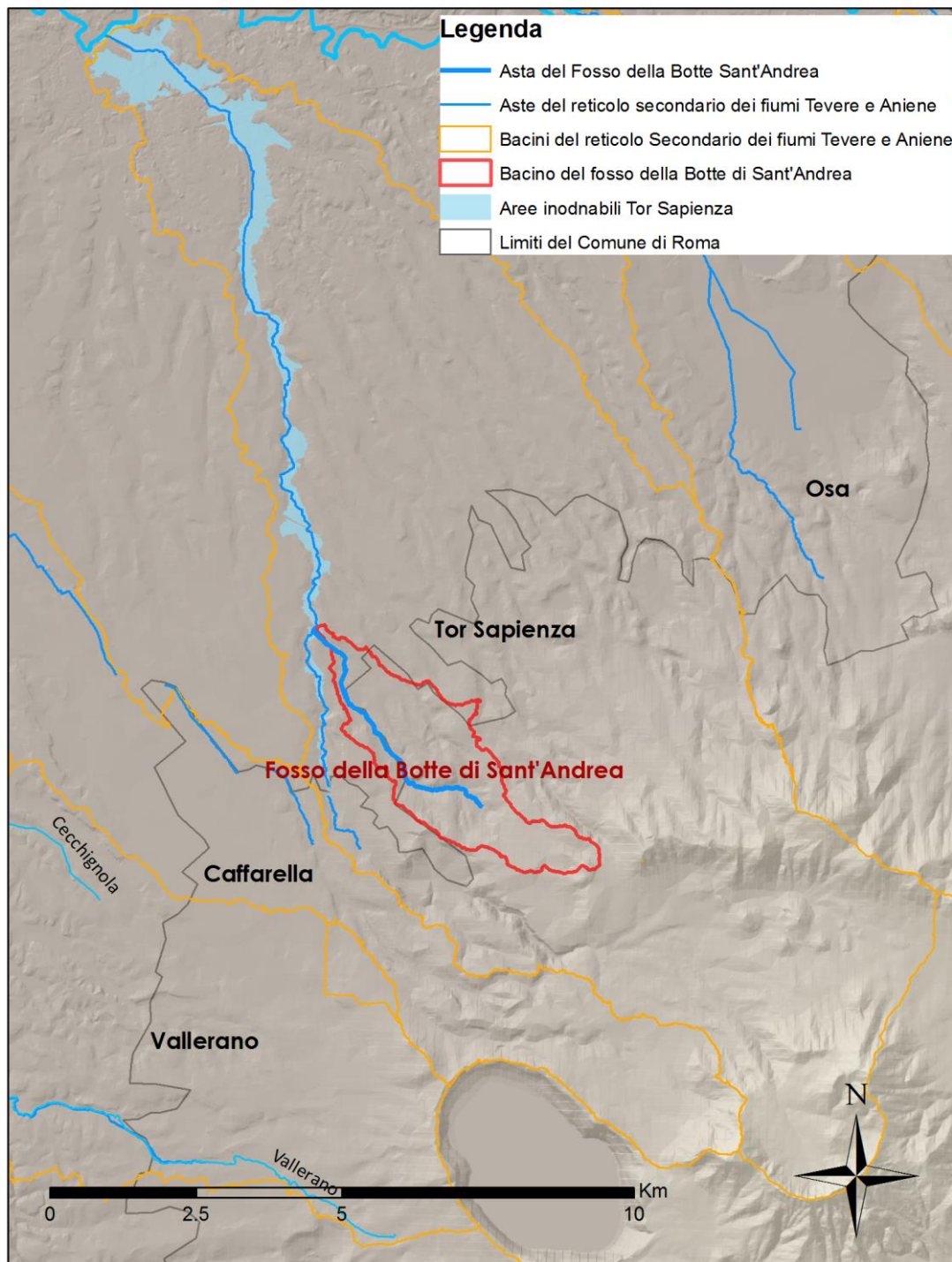


Figura 1 - Cartografia su larga scala del Dominio di studio con indicatori il bacino idrografico del fosso della Botte di Sant'Andrea e i confini comunali dei comuni Roma-Fiumicino

4. IDROLOGIA

La modellazione idrologica definisce gli idrogrammi sintetici a partire dalla serie di precipitazione (ietogramma) per ogni tempo di ritorno (Tr) di progetto (50, 100, 200 e 500 anni) ossia determina la forzante idrologica più critica gravante sul bacino da fornire come dato di ingresso per la modellazione idraulica al fine di caratterizzare la massima pericolosità idraulica per l'area valliva di interesse. La metodologia di sviluppo dell'analisi idrologica è descritta sinteticamente nelle LINEE GUIDA del progetto "*Studio Idrologico Ed Idraulico Bidimensionale Per L'aggiornamento Del Piano Di Assetto Idrogeologico Del Reticolo Secondario Per L'area Di Roma Capitale*", per poter comprendere i criteri procedurali che caratterizzano i risultati ottenuti per il corso d'acqua in esame.

Le fasi principali dell'analisi idrologica prevedono:

- **discretizzazione del bacino in uno o più sottobacini** nelle cui sezioni di chiusura sono da stimare i relativi idrogrammi per ogni Tr di progetto. La **discretizzazione** è sviluppata in modo tale che **l'effetto di laminazione** tra una sezione di chiusura idrologica e la successiva sia **contenuto**, ossia che lo scostamento tra i valori della portata massima dell'onda sintetica e la portata massima dell'onda in uscita non ecceda il 10/20% (nota: vedi FLO2D). Nel caso in esame non è stato necessario discretizzare il bacino in sottobacini data l'esigua estensione del bacino stesso;
- **individuazione del reticolo e bacino idrografico** apparente ottenuti mediante processamento automatico del DTM con strumenti e metodi di Terrain Analysis in ambiente GIS per la **stima dei parametri morfometrici** del corso d'acqua (**analisi morfometrica**);
- stima del **tempo di corrivazione** al quale si associa la durata della pioggia critica di progetto per ogni tempo di ritorno (Tr), con metodo fisicamente basato che determina il tempo di risposta del bacino calibrando le velocità di flusso superficiale sul bacino in funzione delle caratteristiche morfometriche (pendenza) e pedologiche (uso del suolo);
- determinazione dello **ietogramma di progetto lordo** sviluppato sulla base del metodo **VAPI** del GNDCl, tenendo in considerazione e i bacini e sottobacini discretizzati nella fase di caratterizzazione geomorfologica e relativi tempi di corrivazione;

- **analisi delle perdite idrologiche** per la stima dello **ietogramma netto** mediante applicazione del metodo del **Soil Conservation Service (SCS)** in funzione del **Curve Number (CN)** ossia campionando le classi di uso del suolo in relazione alla capacità dei terreni di drenare le piogge intense;
- applicazione del **modello afflussi-deflussi WFIUH (modello IUH - Instantaneous Unit Hydrograph o Idrogramma Unitario Istantaneo - su base geomorfologica, anche detta funzione di ampiezza o Width Function WF)** per la **stima dell'idrogramma di progetto** a partire dallo ietogramma netto.

4.1. Discretizzazione del bacino in sottobacini: scenari della forzante idrologica

La caratterizzazione degli scenari della forzante idrologica, effettuata con il **fine ultimo di massimizzare la pericolosità idraulica di ogni singolo tratto del corso d'acqua** in studio, è riconducibile essenzialmente alla **procedura di discretizzazione del bacino totale in uno o più sottobacini**.

Data l'esigua superficie del bacino in studio (circa 7 km²) si è deciso di considerare un unico bacino la cui sezione di chiusura (99) è posizionata alla confluenza con il fosso del Tor Sapienza.

4.1. Analisi morfometrica del reticolo e bacino idrografico

La modalità di sviluppo dell'attività di **caratterizzazione automatica su base morfologica in ambiente GIS**, basata principalmente sull'utilizzo del **DTM (Modello Digitale del Terreno)** secondo l'acronimo anglosassone di comune utilizzo, **finalizzata alla identificazione del reticolo e bacino idrografico e dei parametri morfometrici** ad essi associati utili per la modellazione idrologica.

La **rappresentazione digitale della topografia**, informazione di input principale di tale procedura, è rappresentata dal **DTM della CTRN della Regione Lazio** con risoluzione di **5 m**.

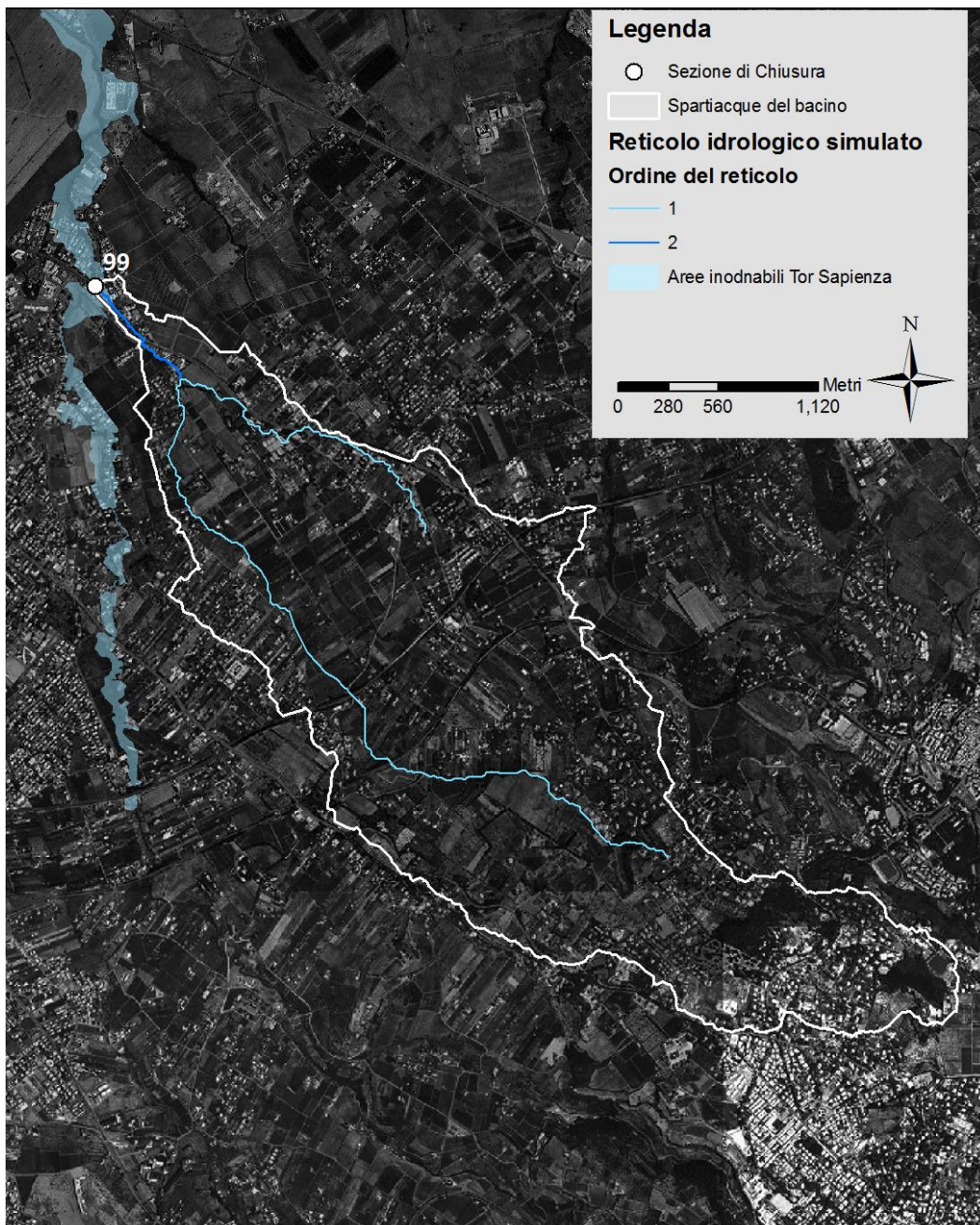


Figura 2 - Planimetria cartografica di rappresentazione della caratterizzazione idrologica del Fosso della Botte di Sant'Andrea.

L'analisi morfometrica si basa sui seguenti passi:

- **identificazione del reticolo e del bacino idrografico** apparente da DTM utilizzando un parametro di ingresso che definisce l'inizio del canale una volta superata una predeterminata **area contribuente soglia**;
- **analisi degli elementi singoli ed eventuali "impurità" di origine antropica** che impattano sulle analisi automatiche per una corretta caratterizzazione morfometrica del bacino;
- **analisi morfometrica** del bacino e reticolo idrografico per l'ottenimento dei **parametri** necessari alla **modellazione idrologica** (superficie, lunghezza dell'asta principale, caratteristiche altimetriche e clivometriche),

Secondo la stessa metodologia utilizzata nella relazione generale del *progetto "Studio Idrologico Ed Idraulico Bidimensionale Per L'aggiornamento Del Piano Di Assetto Idrogeologico Del Reticolo Secondario Per L'area Di Roma Capitale"*, non avendo a disposizione dati di riferimento e informazioni inerenti rilievi specifici, **un valore di riferimento per l'area soglia è 1 km²**.

Il reticolo e il bacino idrografico sono simulati ai fini della definizione del sistema idrologico con particolare riguardo alla stima dei parametri morfometrici necessari alla modellazione idrologica (**analisi morfometrica**) e non per la rappresentazione del corso d'acqua utile alla modellazione idraulica che è solitamente caratterizzato da elementi di natura antropica non desumibili dal DTM quali canalizzazioni, deviazioni, attraversamenti ecc. In coerenza con la simbologia utilizzata per l'identificazione dei sottobacini dei 13 fossi del reticolo secondario, al bacino del Fosso di Sant'andrea sono state assegnate le nomenclature "Sant'Andrea 99", o "ADR99".

| Bacino | Affluente | Area [km ²] | Lunghezza asta [km] | Quote [m s.l.m.] | | | Dislivello [m] | Pendenza dell'asta principale [%] |
|----------------|---------------------|-------------------------|---------------------|------------------|---------|-------|----------------|-----------------------------------|
| | | | | Minima | Massima | Media | | |
| Sant'Andrea 99 | Destra Tor Sapienza | 6.99 | 5.7 | 82.7 | 427.9 | 189.8 | 345.2 | 2.84 |

Tabella 1 - Analisi morfometrica del bacino del fosso della Botte di Sant'Andrea

4.2. Tempo di corrivazione

Il **tempo di corrivazione (tc)**, per definizione, rappresenta il **tempo che impiega l'impulso pluviometrico che investe la cella più distante idrologicamente a raggiungere la sezione di chiusura**, ossia il tempo che intercorre dall'inizio dell'evento (di pioggia) al momento in cui tutto il bacino contribuisce (idrologicamente) alla sezione di chiusura.

Il metodo standard per il calcolo del tc è basato sulla **Formula di Giandotti** per bacini di dimensioni superiori a 75 km²

Eq. 1 Formula di Giandotti

$$t_{cG} = \frac{4\sqrt{A_b} + 1.5 \cdot L_b}{0.8\sqrt{y_m - y_{min}}}$$

sulla **Formula di Kirpich** per bacini di superficie inferiore a 1 km²

Eq. 2 Formula di Kirpich

$$t_{cK} = 0,93 \left(\frac{L_b}{\sqrt{(y_{max} - y_{min}) / L_b}} \right)^{0,77}$$

ovvero su una combinazione lineare (**formula mista Giandotti-Kirpich**) pesata delle due relazioni per bacini compresi tra 1 e 75 km² ossia nella forma:

Eq. 3 Formula mista Giandotti-Kirpich

$$t_c = t_{cG} \cdot \frac{(A_b - 1)}{74} + t_{cK} \cdot \frac{(75 - A_b)}{74}$$

I parametri presenti nelle formule precedenti rappresentano le caratteristiche morfometriche del bacino.

A tale procedura standard, tratta dalle **specifiche tecniche del PAI ABT**, in alternativa, è stato proposto il **metodo sperimentale fisicamente basato** esposto nella relazione generale del *progetto "Studio Idrologico Ed Idraulico Bidimensionale Per L'aggiornamento Del Piano Di Assetto Idrogeologico Del Reticolo Secondario Per L'area Di Roma Capitale"* per la stima del tempo di corrivazione basato sulla **funzione di ampiezza o Width Function (WF)**.

4.3. Ietogramma di progetto (metodo vapi)

Per il calcolo dell'intensità di pioggia è stato utilizzato il **metodo di regionalizzazione delle piogge e delle portate per i corsi d'acqua dei Bacini Regionali del Lazio**, pubblicato su BURL n.2, parte prima, del 20/01/2004. Il metodo è stato sviluppato nell'ambito del **progetto VAPI** (Valutazione Piene in Italia) dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR con l'obiettivo di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali. Sui piccoli bacini non strumentati la procedura VAPI fornisce la parametrizzazione necessaria alla stima della pioggia di progetto ed alla modellazione afflussi-deflussi per valutare le portate di picco in funzione del preassegnato tempo di ritorno. Nel presente lavoro viene considerata solo la procedura di definizione delle piogge di progetto del VAPI.

L'intensità di pioggia di progetto per assegnato tempo di ritorno T_r è stimata utilizzando il metodo delle curve di caso critico o Linee di Possibilità Pluviometrica (LPP) secondo la formulazione di intensità-durata-frequenza o IDF:

$$i_t(T_r, t_c, y_m) = \frac{a(T)}{(b + t_c)^m}$$

Eq. 4

Dove T_r è il tempo di ritorno, t_c è il tempo di corrivazione del bacino (al quale viene associata la durata della pioggia critica), ed i parametri a , b ed m rappresentano le caratteristiche della LPP. I parametri di regionalizzazione del **VAPI** sono tabellati in relazione alle diverse **Zone** e **Sottozone** omogenee. Pertanto per applicare la metodologia è stato necessario individuare la Sottozona in cui ricadeva il bacino di interesse oltre alla quota media del bacino y_m .

Stimata l'intensità di pioggia si è ottenuta l'altezza di pioggia di progetto $h_t(T_r)$ che definisce lo **ietogramma lordo di progetto (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.) di forma rettangolare** di base pari al tempo di corrivazione.

| Bacino | tc(WF) [ore] | Calcolo intensità e altezza di pioggia (TCEV - VAPI) | | | | | | | |
|----------------|-----------------|------------------------------------------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
| | | Tr= 50 | | Tr = 100 | | Tr = 200 | | Tr = 500 | |
| | | h(tc) [mm] | i(tc) [mm/h] | h(tc) [mm] | i(tc) [mm/h] | h(tc) [mm] | i(tc) [mm/h] | h(tc) [mm] | i(tc) [mm/h] |
| Sant'Andrea 99 | 4.76 | 111.93 | 23.50 | 134.30 | 28.2 | 157.1 | 33.0 | 187.3 | 39.3 |

Tabella 2 - Risultati del metodo VAPI per il Fosso della Botte di Sant'Andrea per la stima degli Ietogrammi lordi di progetto per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni con tc stimato con il metodo fisicamente basato

4.4. Analisi delle perdite idrologiche (stima dello Ietogramma netto con il metodo SCS-CN)

La stima delle perdite idrologiche per caratterizzare lo Ietogramma di pioggia netto a partire dal lordo definito secondo la procedura VAPI esposta è stata effettuata utilizzando il metodo del **Soil Conservation Service (SCS-CN)** del 1972 basato sul principio di proporzionalità tra afflussi e deflussi in relazione al parametro del **Curve Number (CN)** che caratterizza la capacità dei suolo di infiltrare ovvero ruscellare le acque di pioggia. Oltre al **CN** il metodo SCS-CN richiede di settare il parametro **I_a**, che rappresenta un volume di pioggia sottratto a priori dal bilancio in esame (fenomeni fisici rappresentati: intercettazione da parte della vegetazione, accumulo nelle depressioni superficiali e vari altri che incidono sulle perdite globali). Tuttavia il metodo SCS-CN suggerisce di utilizzare la seguente espressione **I_a=cS**, con c generalmente variabile tra 0.1 e 0.2. Il valore di **c** utilizzato nello studio è pari a **0.2**.

I valori del CN sono stati assegnati in funzione di **classi di uso del suolo predefinite** ottenute ricampionando la matrice di uso del suolo disponibile in un numero limitato di classi tenendo conto della capacità dei terreni di drenare/trattenere ovvero far ruscellare sul terreno gli scrosci che caratterizzano le piogge intense secondo il metodo proposto nelle Linee Guida del progetto menzionato in precedenza.

Per una trattazione di dettaglio ed analisi dei parametri CN utilizzati nello studio si rimanda alla Relazione delle Linee Guida.

| Bacino | Coefficienti di deflusso di deflusso da WFIUH | | | | CN medio |
|----------------|-----------------------------------------------|--------|--------|--------|----------|
| | Tr=50 | Tr=100 | Tr=200 | Tr=500 | [-] |
| Sant'Andrea 99 | 0.118 | 0.118 | 0.189 | 0.234 | 47.1 |

Tabella 3 - Risultati della procedura di stima dei coefficienti di deflusso con il metodo SCS-CN per il Fosso della Botte di Sant'Andrea sulla base dei tc del metodo fisicamente basato

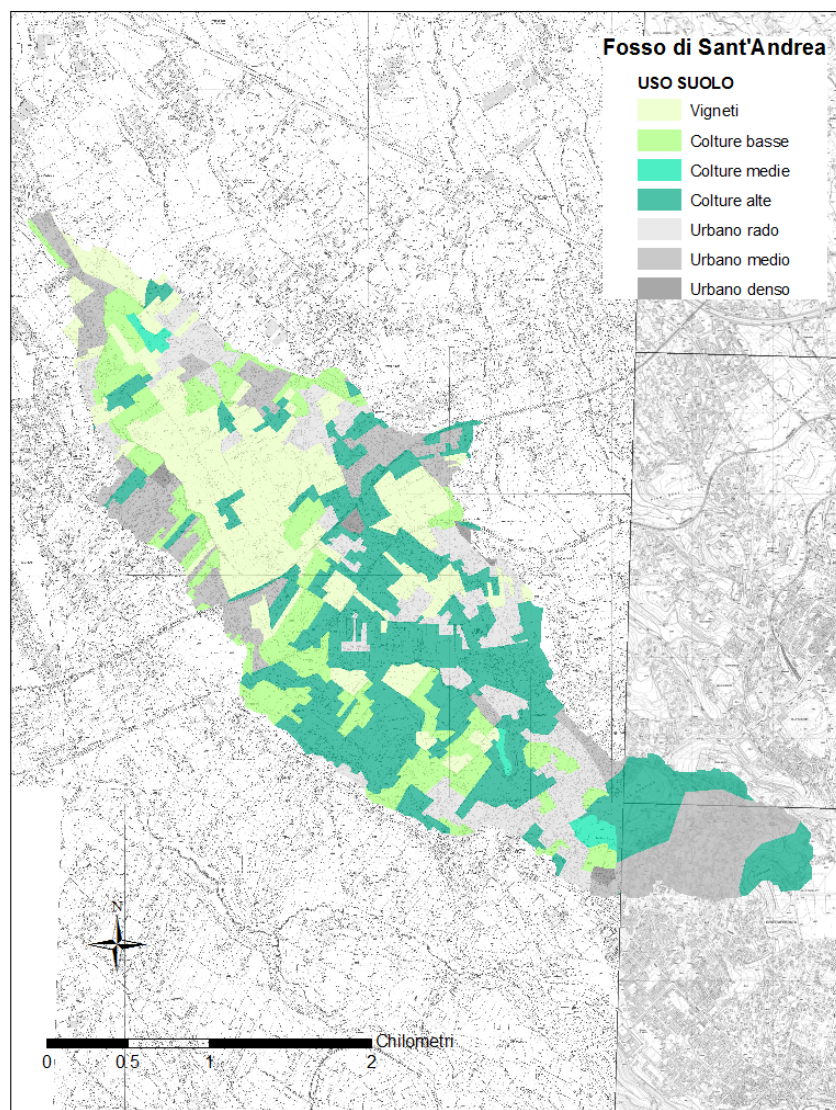


Figura 3 - Carta dell'uso del suolo del Fosso della Botte di Sant'Andrea ricampionato utilizzando setteclassi a partire dallo strato dell'uso del suolo della CTRN 5K

4.5. Trasformazione afflussi/deflussi (modello geomorfologico WFIUH)

Per la stima dell'idrogramma di progetto, una volta stimata l'intensità di pioggia lorda ovvero lo ietogramma netto di progetto, sono stati adottati due metodi:

- Il **Metodo Razionale** della procedura tradizionale PAI per la stima della portata di picco in funzione della intensità di pioggia lorda, del coefficiente di deflusso e con costruzione dell'idrogramma di geometria triangolare con tempo di picco pari al tempo di corrivazione;
- Il **Modello dell'Idrogramma Unitario Istantaneo (IUH) Geomorfologico**, che effettua la trasformazione degli afflussi pluviometrici, risultanti dalla depurazione dello ietogramma lordo di progetto secondo il metodo SCS-CN, in deflussi implementando l'integrale di convoluzione tra lo ietogramma netto e la **funzione di ampiezza WF (Modello WFIUH)**

METODO RAZIONALE

La portata al colmo per assegnato tempo di ritorno è stimata dal **Metodo Razionale** secondo la relazione:

$$\text{Eq. 5} \quad Q_t = \varphi \cdot i(t_c, Tr) \cdot A_b$$

in cui φ rappresenta il coefficiente di deflusso del bacino che incorpora tutte le perdite idrologiche, $i(t_c, tr)$ è l'intensità di pioggia di progetto per tempo di ritorno Tr in funzione del tempo di corrivazione t_c (i.e. durata della pioggia critica) ed A_b è l'area della superficie del bacino.

Il **coefficiente di deflusso** non è stato imposto a priori o stimato usando la formulazione PAI tradizionale in funzione della componente permeabile del bacino (cfr. specifiche tecniche PAI di ABT), ma è stato proposto, anche in questo caso, un criterio più fisicamente basato, che valuta le perdite idrologiche in funzione delle informazioni largamente disponibili dell'uso del suolo alle quali si associano relativi parametri di infiltrabilità. Nello specifico si è adottato il criterio SCS con il Curve Number (CN), già introdotto, i cui valori sono stati calibrati sul Rio Galeria su eventi reali.

Il coefficiente di deflusso φ rappresenta il rapporto tra il volume della pioggia netta stimata con il metodo SCS-CN ed il volume della pioggia lorda. Il *range* di valori di φ è tra 0 ed 1 corrispondenti alle condizioni estreme di assenza di deflusso (pioggia netta nulla o di flusso pari all'afflusso ossia pioggia netta uguale alla pioggia lorda). Considerata la stima del tempo di corrivazione secondo le due formulazioni proposte, il metodo PAI ABT della formulazione Giandotti-Kirpich e la stima fisicamente basata del tempo di risposta del bacino, sono disponibili due risultati per le portate di picco secondo il metodo razionale. Una volta ottenuto il valore della portata di picco, l'idrogramma è costruito ipotizzando che il picco venga raggiunto al tempo di corrivazione e che la curva di recessione abbia uguale durata. In pratica si assume un idrogramma di forma triangolare isoscele con portata di picco corrispondente al tempo di corrivazione.

MODELLO WFIUH

Il WFIUH implementa una versione del metodo IUH in cui la funzione di risposta è stimata in funzione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino. Nel modello sperimentale adottato tale funzione è la funzione di ampiezza o **Width Function (WF)** che è definita come la **distribuzione statistica dei tempi di residenza del bacino ossia del tempo medio di permanenza di una generica goccia di pioggia ruscellante (i.e. non infiltrata) dal momento della caduta al momento di passaggio attraverso la sezione di chiusura**. Tale distribuzione, solitamente associata alla numerosità dei segmenti fluviali dello stesso ordine è ottenuta stimando i tempi medi di percorrenza della distanza idrologica associata ad ogni generica posizione nei limiti del bacino. **Per distanza idrologica si intende la misura del percorso effettuato dalla pioggia ruscellante in superficie per raggiungere l'outlet dal punto di caduta fino al punto di uscita seguendo la direzione preferenziale di flusso**. Per una migliore comprensione del funzionamento del modello, si rimanda alla trattazione inserita nella Relazione delle Linee Guida.

Il modello WFIUH è applicato utilizzando in ingresso il tempo di corrivazione determinato con il metodo fisicamente basato, lo idrogramma netto di progetto stimato con il metodo SCS-CN a partire

dallo ietogramma lordo risultante dal metodo VAPI, per ogni sottobacino in cui è discretizzato il bacino totale.

| Bacino | Portate di picco da WFIUH Q_c [m^3/s] | | | | | | | |
|----------------|---------------------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| | Tr= 50 | | Tr = 100 | | Tr = 200 | | Tr = 500 | |
| | Q_c [m^3/s] | q [$m^3/s/km^2$] | Q_c [m^3/s] | q [$m^3/s/km^2$] | Q_c [m^3/s] | q [$m^3/s/km^2$] | Q_c [m^3/s] | q [$m^3/s/km^2$] |
| Sant'Andrea 99 | 7.34 | 1.05 | 11.49 | 1.64 | 16.50 | 2.36 | 24.04 | 3.44 |

Tabella 4 - Portate di picco e specifiche dell'idrologia sintetica del metodo WFIUH per il Fosso della Botte di Sant'Andrea

| Bacino | Volumi [Mm^3] | | | | | | | |
|----------------|-------------------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | Tr= 50 | | Tr = 100 | | Tr = 200 | | Tr = 500 | |
| | Lordo | Netto | Lordo | Netto | Lordo | Netto | Lordo | Netto |
| Sant'Andrea 99 | 0.78 | 0.09 | 0.94 | 0.14 | 1.10 | 0.21 | 1.31 | 0.31 |

Tabella 5 - Volumi delle onde di piena dell'idrologia sintetica del metodo WFIUH per il Fosso della Botte di Sant'Andrea

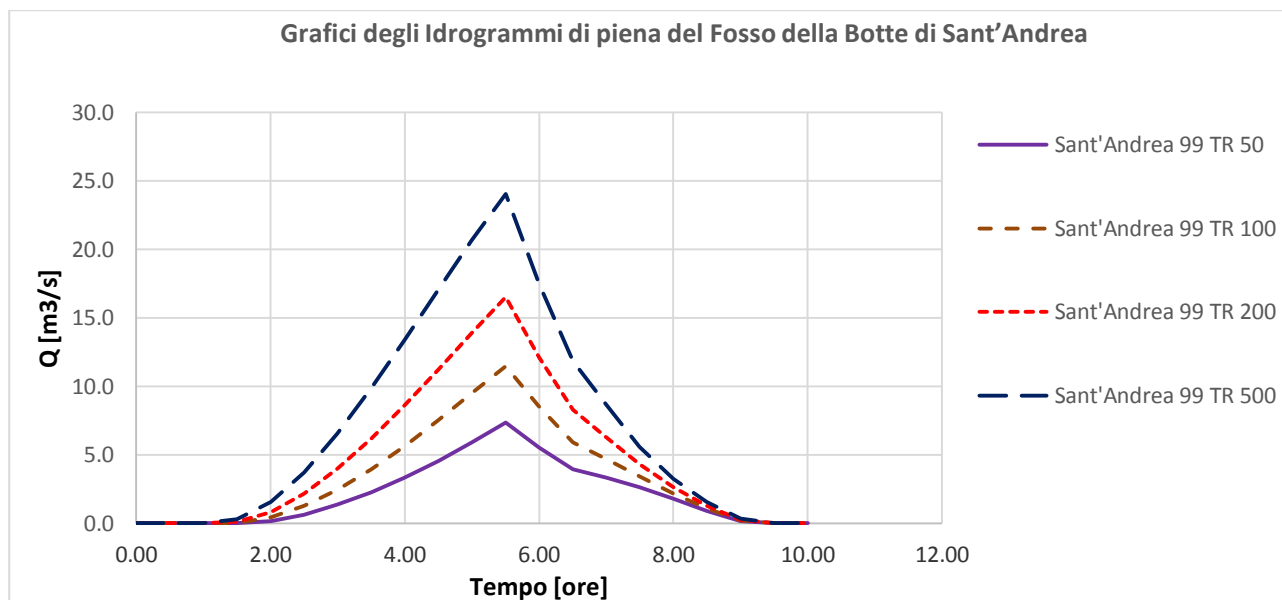


Figura 4- Idrogrammi di piena WFIUH per il fosso della Botte di Sant'Andrea per Tr 50, 100, 200 e 500 anni per tutti i sottobacini

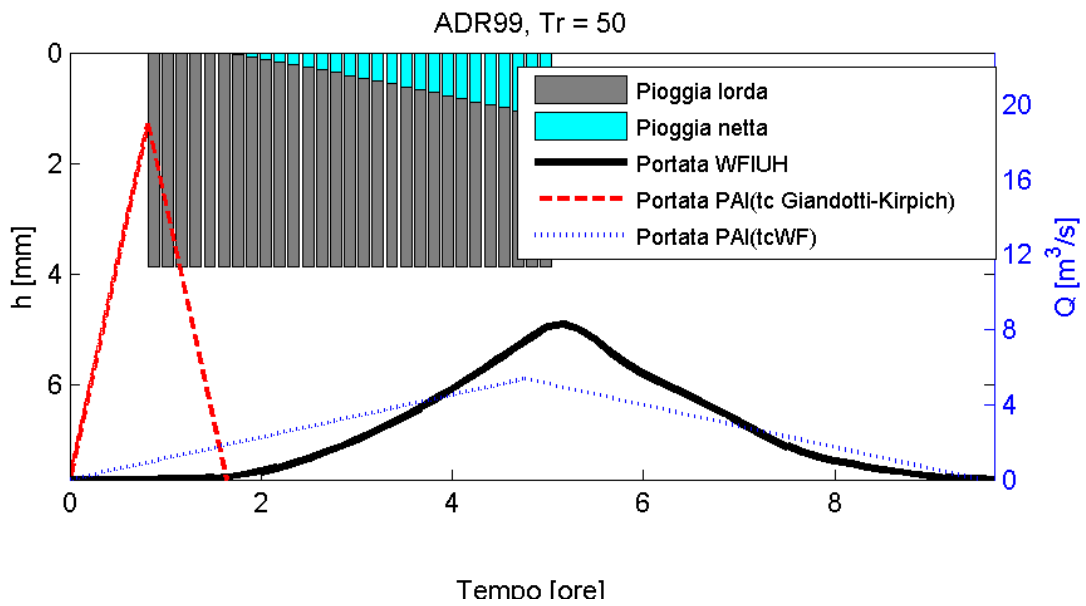


Figura 5 - Risultati della modellazione afflussi-deflussi per il Fosso della Botte di Sant'Andrea con le piogge VAPI del tc fisicamente basato e gli idrogrammi di piena sintetici per i tre scenari di idrologia - Tr 50 anni

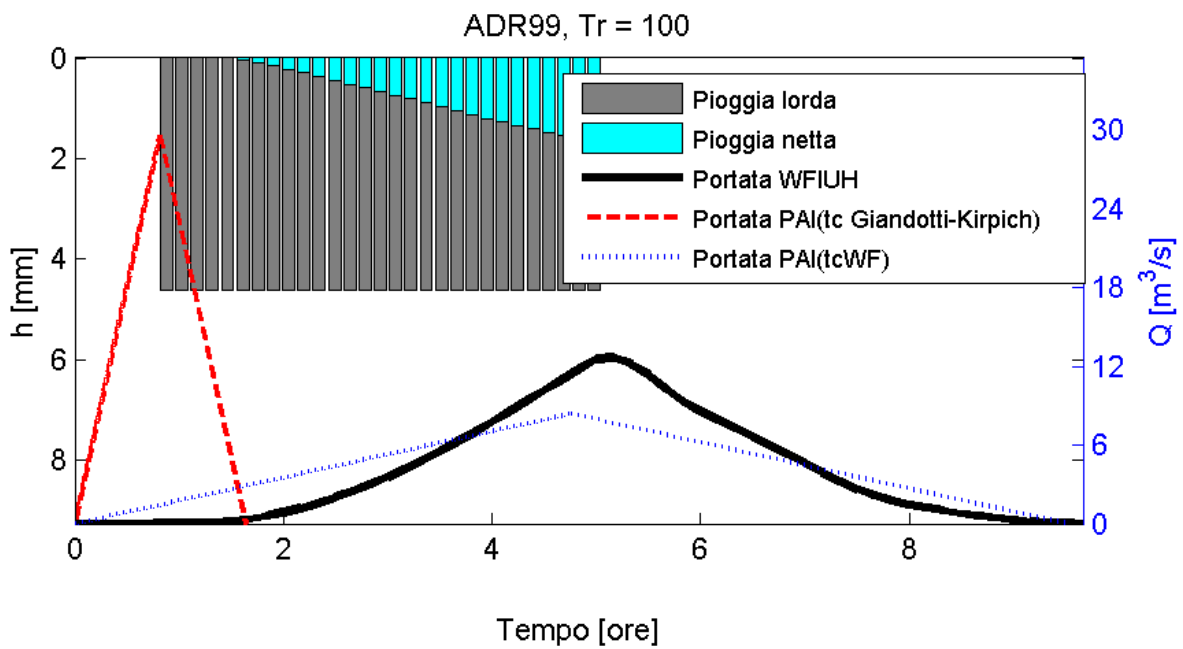


Figura 6 - Risultati della modellazione afflussi-deflussi per il Fosso della Botte di Sant'Andrea con le piogge VAPI del tc fisicamente basato e gli idrogrammi di piena sintetici per i tre scenari di idrologia - Tr 200 anni

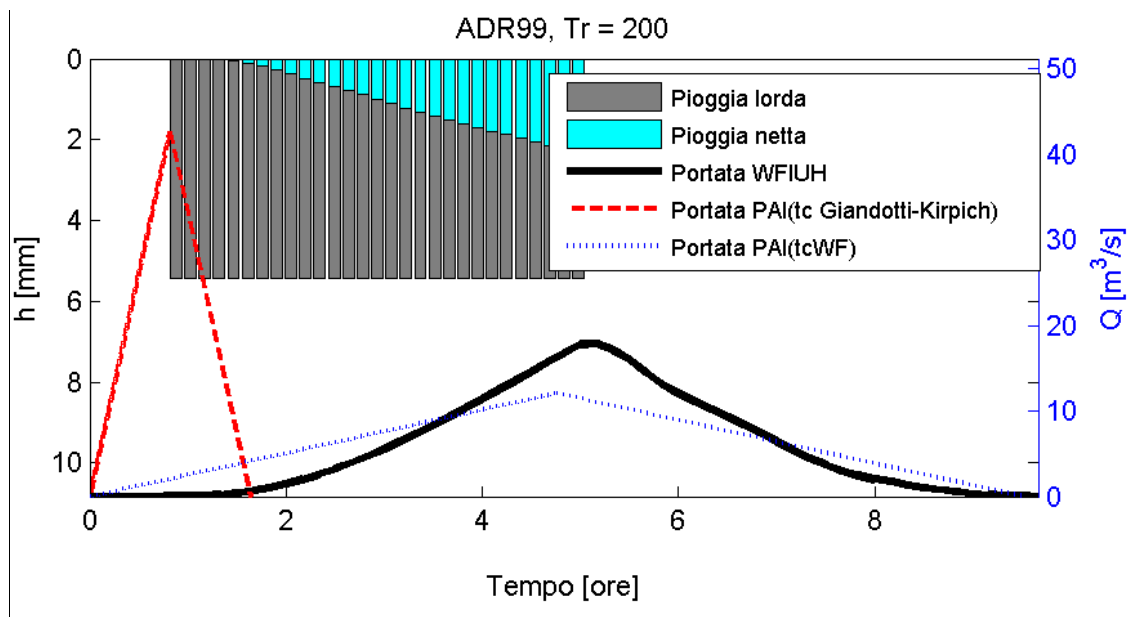


Figura 7 - Risultati della modellazione afflussi-deflussi per il Fosso della Botte di Sant'Andrea con le piogge VAPI del tc fisicamente basato e gli idrogrammi di piena sintetici per i tre scenari di idrologia - Tr 200 anni

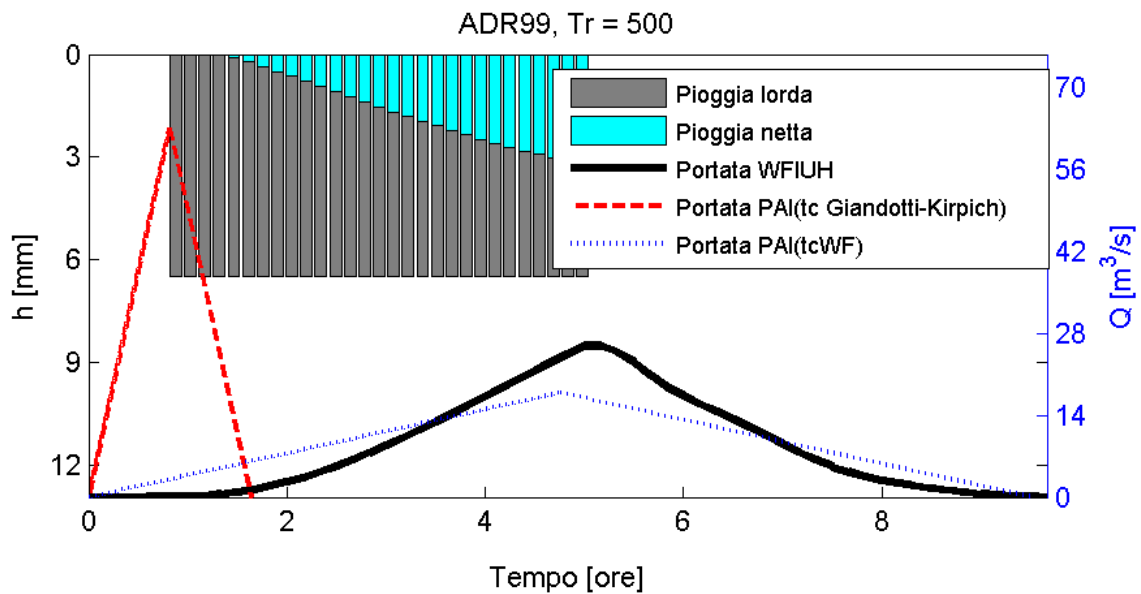


Figura 8 - Risultati della modellazione afflussi-deflussi per il Fosso della Botte di Sant'Andrea con le piogge VAPI del tc fisicamente basato e gli idrogrammi di piena sintetici per i tre scenari di idrologia - Tr 500 anni

5. Modellazione idraulica bidimensionale e mappatura delle aree inondabili

La modellazione idraulica 2D è stata eseguita con il codice di calcolo **FLO-2D versione PRO**, uno dei modelli approvati dalla Federal Emergency Management Association (FEMA) degli Stati Uniti d'America per la mappatura del rischio idraulico (sito flo.2d.com).

5.1. Metodologia

FLO-2D consente di stimare, per ogni cella del dominio di calcolo, i tiranti e le velocità di flusso determinati dalla propagazione di uno o più idrogrammi di piena associati a dei nodi del dominio. FLO-2D simula il flusso nel canale in moto monodimensionale e l'eventuale propagazione fuori-alveo in 2D dei volumi di piena esondanti in corrispondenza di sezione di flusso del canale idraulicamente insufficienti. E' inoltre possibile simulare il rientro delle portate dal piano campagna (*floodplain*) in alveo e l'interscambio dinamico del sistema alveo-*floodplain*.

Per l'implementazione del modello FLO-2D i dati di ingresso necessari sono: la preliminare assegnazione della geometria dell'alveo; la ricostruzione digitale della topografia delle aree potenzialmente allagabili; l'assegnazione delle condizioni di scabrezza degli elementi interferenti con i flussi, congiuntamente all'assegnazione di uno o più idrogrammi di piena in ingresso nel dominio; le condizioni idrauliche al contorno, qualora esistenti, quali scale di deflusso note e le condizioni di sbocco a mare. In aggiunta, possono essere inseriti ulteriori elementi, quali manufatti idraulici, arginature ed identificate quelle particolari zone nelle quali la sezione di flusso è parzializzata od il volume di accumulo e trasporto è ridotto come accade sovente quando la vena liquida impatta edifici o strutture in genere.

5.2. Caratterizzazione della geometria e della risoluzione del dominio

È stato considerato un dominio di calcolo che con un certo margine di sicurezza includesse la parte del bacino in cui era visibile l'asta del fosso in esame.

Il limite vallivo del dominio di calcolo è stato fatto coincidere con l'affluenza al fosso Tor Sapienza.

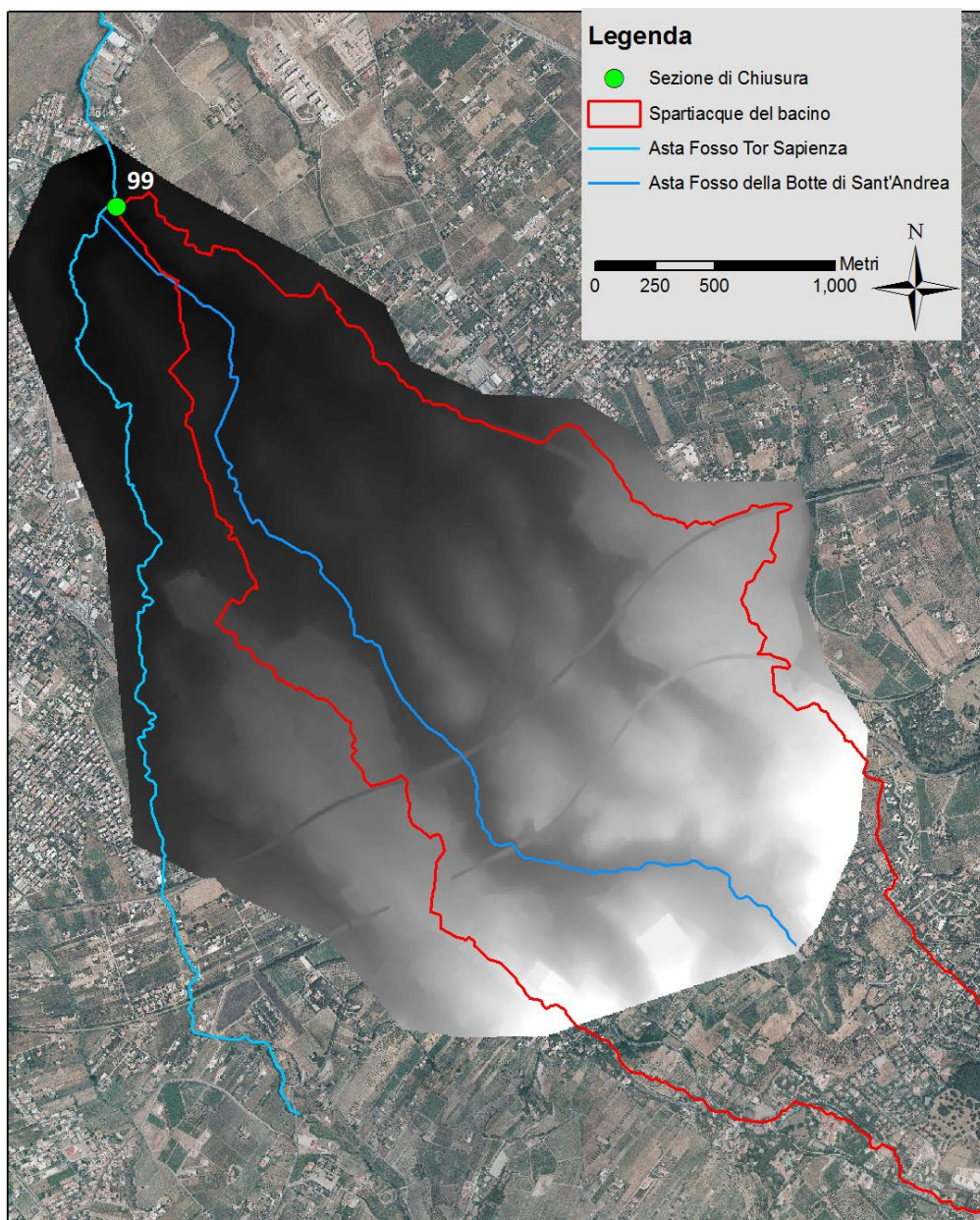


Figura 9 - Dominio di calcolo considerato nella modellazione idraulica bidimensionale del Fosso della Botte di Sant'Andrea

La risoluzione della *grid* è definita dalla distanza tra i baricentri di due celle adiacenti lungo una delle direzioni cardinali. Nel caso in studio è stata scelta una risoluzione di 20 metri, ritenuta un compromesso tra una rappresentazione accurata delle proprietà macroscopiche del territorio in

relazione al passaggio dell'onda di piena e un tempo di calcolo ragionevole nel rispetto delle condizioni di stabilità del modello.

Come modello digitale del terreno (DTM) utilizzato per l'interpolazione del dominio di calcolo, è stato utilizzato quello a passo 5 m della CTRN 5K, fornito dalla Regione Lazio.

5.3. Inserimento del canale e delle sezioni fluviali

L'inserimento del canale nel modello 2D è stato effettuato selezionando il set di celle che meglio approssimasse il reale andamento del corso d'acqua congruentemente con la risoluzione della grid di calcolo. Tale passaggio è stato effettuato in automatico (utilizzando il modulo di geoprocessing del software GIS) intersecando la grid del dominio con la polilinea dell'asse fluviale, ottenuta dalla digitalizzazione dell'ortofoto e della CTRN 5K (reticolo idraulico). In aggiunta sono state selezionate le celle al cui interno la lunghezza massima del canale fosse non significativa (< 5m) e tali celle sono state deselezionate dal set di celle canale e la relativa lunghezza aggiunta ad una delle celle adiacenti a monte o a valle.

Per ogni cella-canale è stata attribuita una sezione fluviale, ossia è stato creato un file di testo che associasse ad ogni cella, contrassegnata dal corrispondente ID, una coppia ordinata di valori progressiva-quota dove la progressiva parte dalla sinistra idraulica fino alla massima estensione della sezione e la quote del nodo iniziale e finale rappresentano rispettivamente le sommità spondali in sinistra e destra idraulica (left and right bank).

La sezione fluviale da associare alle celle canale corrisponde alla sezione definita dai limiti delle sommità spondali del canale inciso. In tal modo è definita la geometria del tubo di flusso utilizzato per la propagazione in moto vario 1D.

La geometria delle sezioni è stata ricavata in parte tramite opportuni rilievi in situ, in parte tramite l'estrazione dal Modello Digitale del Terreno, utilizzando il tool Geo-Ras. Si rimanda alla Relazione dei Rilievi Fotografici e Topografici per approfondimenti in merito.

5.4. Rilevati arginali

L'inserimento nel modello 2D dei rilevati arginali, sia per celle floodplain che canale, sia che rappresenti un argine in frodo o di golena, che il rilevato degli attraversamenti viari o ferroviari, è

stato effettuato associando alla relativa cella la direzione impedita e la quota della sommità arginale. Tale struttura, detta LEVEE nel modello, impedisce il passaggio dei flussi (in una o più delle 8 direzioni possibili) fino a tale quota superata la quale avviene il sormontato ed il flusso procede come stramazzo libero su soglia fissa.

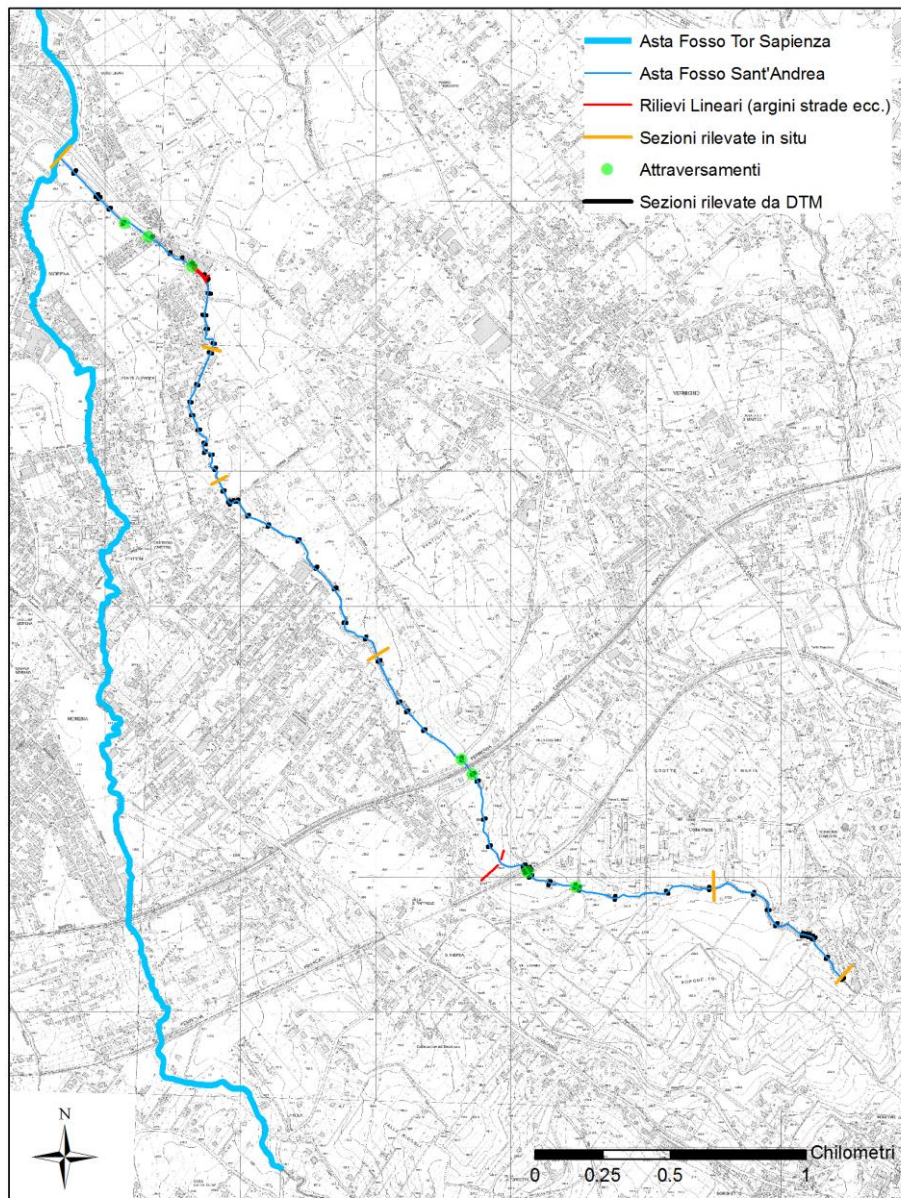


Figura 10 - Localizzazione delle sezioni fluviali utilizzate per l'impostazione geometrica del modello idraulico

5.1. Edifici e ostruzioni varie

La rappresentazione delle ostruzioni ai flussi fuori alveo è stata effettuata mediante la definizione di un fattore di riduzione della sezione potenziale di flusso o *Width Reduction Factor (WRF)* nel modello FLO-2D ed un fattore di parzializzazione dell'area/volume disponibile per la laminazione dei volumi transitanti o *Area Reduction factor (ARF)* nel modello FLO-2D). I WRF e ARF possono essere specificati per una, più o tutte le 8 direzioni possibili e sono espressi in percentuale dal 10% fino al 100% che corrisponde al totale "blocco" della cella.

5.2. Ponti e tombini

La propagazione dell'onda di piena lungo il tratto considerato incontra 7 manufatti di attraversamento. La simulazione delle strutture idrauliche è stata effettuata mediante individuazione nel dominio di calcolo delle celle di entrata e di uscita della struttura alle quali è stata associata la rispettiva geometria e definita un'apposita scala di deflusso che governa i risultati del passaggio dei flussi tra le due celle. La scala di deflusso, è stata ricavata con il software Hec-Ras.

Le sezioni sono state interpolate in ambiente Hec-RAS.

La rappresentazione delle ostruzioni ai flussi fuori alveo è stata effettuata mediante la definizione di un fattore di riduzione della sezione potenziale di flusso o *Width Reduction Factor (WRF)* nel modello FLO-2D ed un fattore di parzializzazione dell'area/volume disponibile per la laminazione dei volumi transitanti o *Area Reduction factor (ARF)* nel modello FLO-2D). I WRF e ARF possono essere specificati per una, più o tutte le 8 direzioni possibili e sono espressi in percentuale dal 10% fino al 100% che corrisponde al totale "blocco" della cella.

| Zona | Lunghezza [km] | Numero celle | Numero manufatti |
|--------|----------------|--------------|------------------|
| Canale | 5 | 215 | 7 |

| Zona | Area dominio km ² | Numero celle | Risoluzione m |
|--------|------------------------------|--------------|---------------|
| Golena | 12.12 | 30310 | 20 |

Tabella 6- Sommario dei parametri di riferimento della caratterizzazione morfometrica del dominio (area golenale) e canale di interesse per il Fosso della Botte di Sant'Andrea

5.3.Valutazione della scabrezza (coefficiente di Manning)

La caratterizzazione delle condizioni di scabrezza è stata effettuata assegnando ad ogni cella del dominio ed ad ogni sezione fluviale delle celle canale il relativo coefficiente di Manning. I valori di Manning utilizzati, con i corrispondenti valori di Gauckler – Strickler (K) sono inseriti nella tabella seguente in funzione dell'uso del suolo:

| Uso del suolo | Manning n | K |
|---------------|--------------|----|
| Canale | 0.04 | 25 |
| Coltura Alta | 0.20 | 6 |
| Coltura Media | 0.10 | 17 |
| Coltura Bassa | 0.08 | 20 |
| Zona Urbana | 0.02 | 50 |

Tabella 7 - Valori dei coefficienti di scabrezza utilizzati in funzione dell'uso del suolo

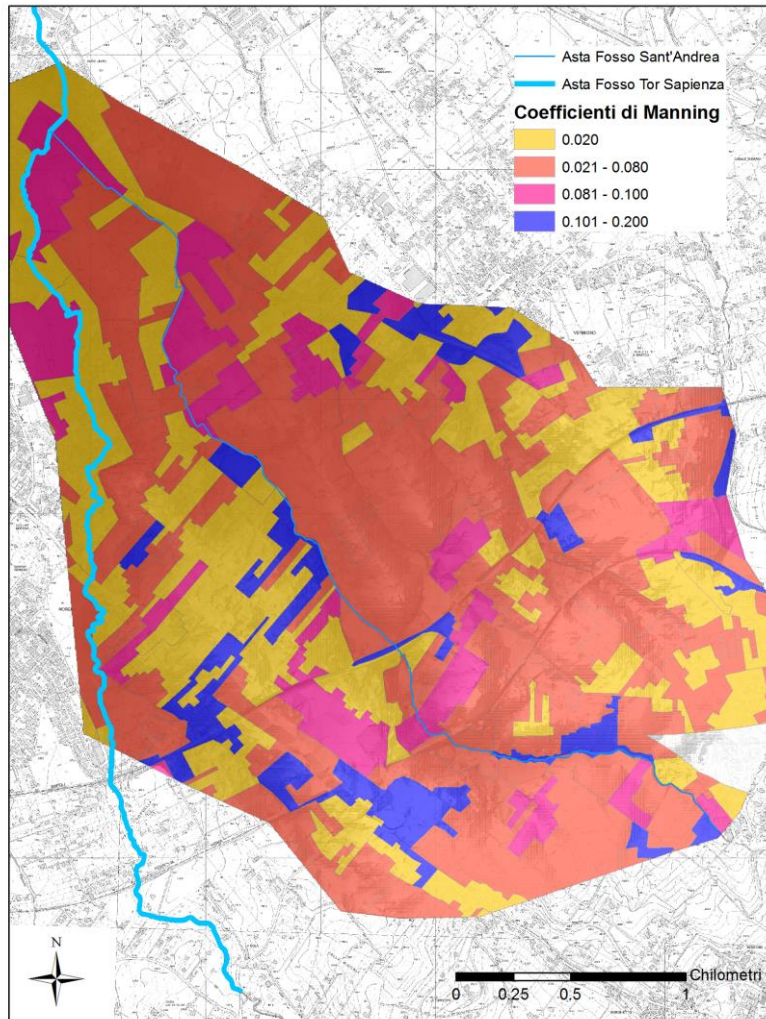


Figura 11 - Mappatura del valore del coefficiente di scabrezza secondo Manning utilizzato nel modello idraulico 2D sulla base delle classi di uso del suolo

5.4. Inserimento ed interpolazione dell'idrogramma di piena (INFLOW)

L'inserimento dell'idrogramma nel dominio di calcolo è avvenuta congruentemente con l'impostazione della modellazione idrologica. Nel caso di studio, non è stato necessario suddividere il bacino in sottobacini poiché il bacino del fosso della Botte di sant'Andrea presenta una superficie di soltanto 7 km² con una lunghezza dell'asta complessiva di 5.2 km.

Per questo motivo si è ritenuto sufficiente inserire in input 5 km più a monte della sezione di chiusura l'idrogramma complessivo ottenuto dal modello WFIUH, pochè si è ritenuto che l'effetto di laminazione del modello di propagazione idraulica 2D fosse sufficientemente contenuto.

La condizione al contorno di valle per il bacino in studio è caratterizzata dalla modalità di recapito delle acque nell'organismo idrologico ricettore, il fosso Tor Sapienza.

5.5.Mappatura delle aree inondabili

La mappatura delle aree inondabili è conseguita mediante interpretazione dei risultati della modellazione idraulica 2D con riferimento all'individuazione ed analisi dei valori delle grandezze idrauliche (tiranti e velocità massimi asincroni) computate per le celle interessate dal flusso di piena.

Due sono le categorie principali di modalità di interpretazione dei risultati della modellazione idraulica 2D per la determinazione delle aree inondabili:

- **perimetrazione oggettiva senza alcun filtro** con tracciamento delle aree inondabili come inviluppo delle celle bagnate dai flussi di piena senza alcun filtro;
- **perimetrazione condizionata con filtro dei risultati** con tracciamento delle aree inondabili come inviluppo di tutte le celle bagnate dai flussi di piena che soddisfano un criterio caratterizzato da **predefiniti valori minimi di tirante e di velocità**.

In questo lavoro, così come nel progetto *“Studio Idrologico Ed Idraulico Bidimensionale Per L'aggiornamento Del Piano Di Assetto Idrogeologico Del Reticolo Secondario Per L'area Di Roma Capitale”*, è adottato il criterio di perimetrazione oggettiva che risulta meno vincolato a decisioni del modellista, prive di riscontro dato che solitamente i filtri andrebbero calibrati utilizzando informazioni raccolte in occasione di eventi di piena sul dominio di interesse, oppure andrebbero proposti sulla base di elaborazione di rilievi storici oggetto dell'impatto dei flussi di piena.

In assenza di dati ed informazioni di calibrazione e validazione dei risultati della modellazione idraulica 2D si propone la procedura di tracciamento delle aree inondabili di tipo oggettivo, senza alcun filtro sulla combinazione di valori di tirante e velocità, ottenuta come inviluppo delle celle bagnate dai flussi di piena.

Si precisa che nel caso in esame **non è stato necessario determinare le aree inondabili indirette** dovute ad un eventuale rigurgito del fosso Tor Sapienza in quanto quest'ultimo, alla confluenza con il fosso della Botte di Sant'Andrea, è caratterizzato da un alveo con quote inferiori a quelle relative al fosso in esame.

A fini di restituzione grafica, le aree allagabili del fosso della Botte di Sant'Andrea sono state tracciate fino alla confluenza con il fosso Tor Sapienza. Le aree allagabili di quest'ultimo sovrapposte a quelle del fosso della Botte di Sant'Andrea sono state tracciate con linee tratteggiate. Si rimanda all'Allegato 4.1 per la mappatura completa delle aree allagabili.

5.6. Risultati

I risultati dell'applicazione del modello idraulico 2D sono caratterizzati principalmente dai valori associati, in funzione del tempo e dello spazio di calcolo (ossia cella a cella del dominio), delle variabili idrauliche (portate, tiranti e velocità del flusso idrico) per il "canale" e per le "golene" interessate dal fenomeno di inondazione da esondazione.

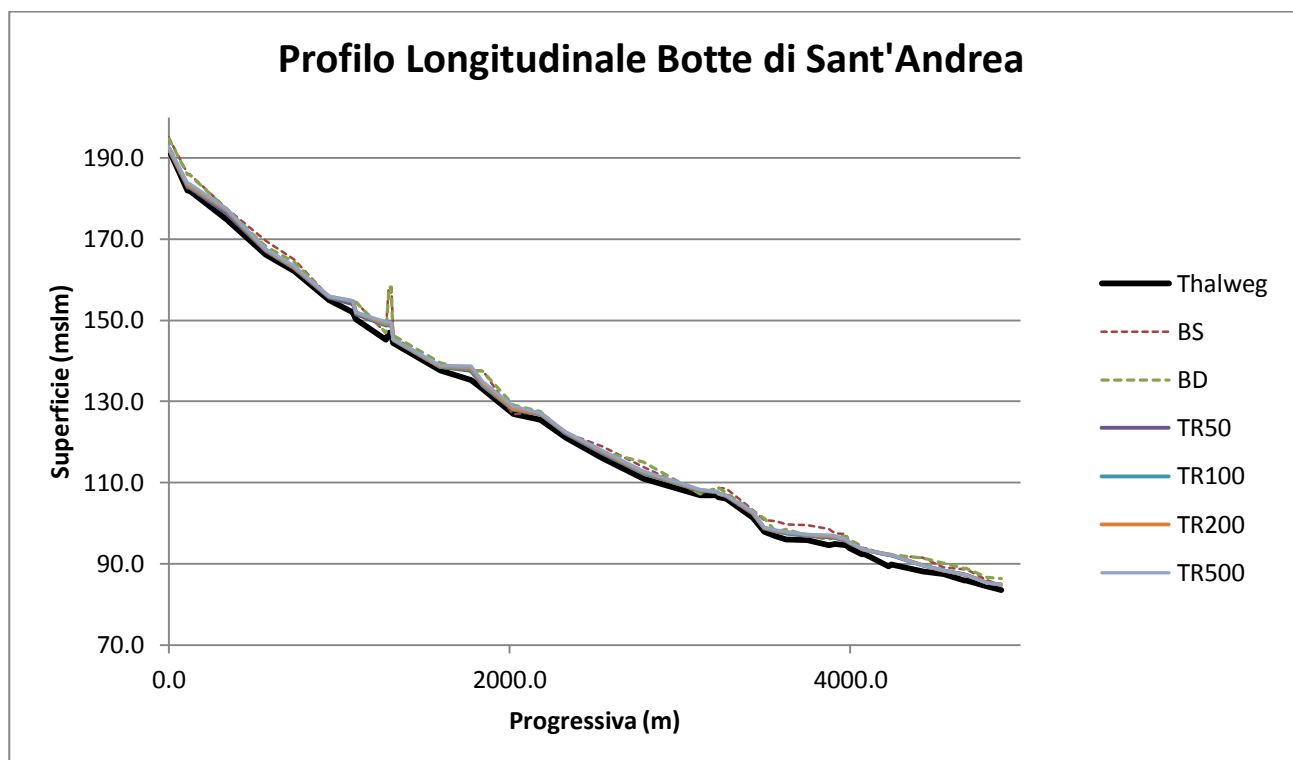


Figura 12 - Grafico del profilo di piena del canale del fosso della Botte di Sant'Andrea per Tr 50, 100, 200, 500

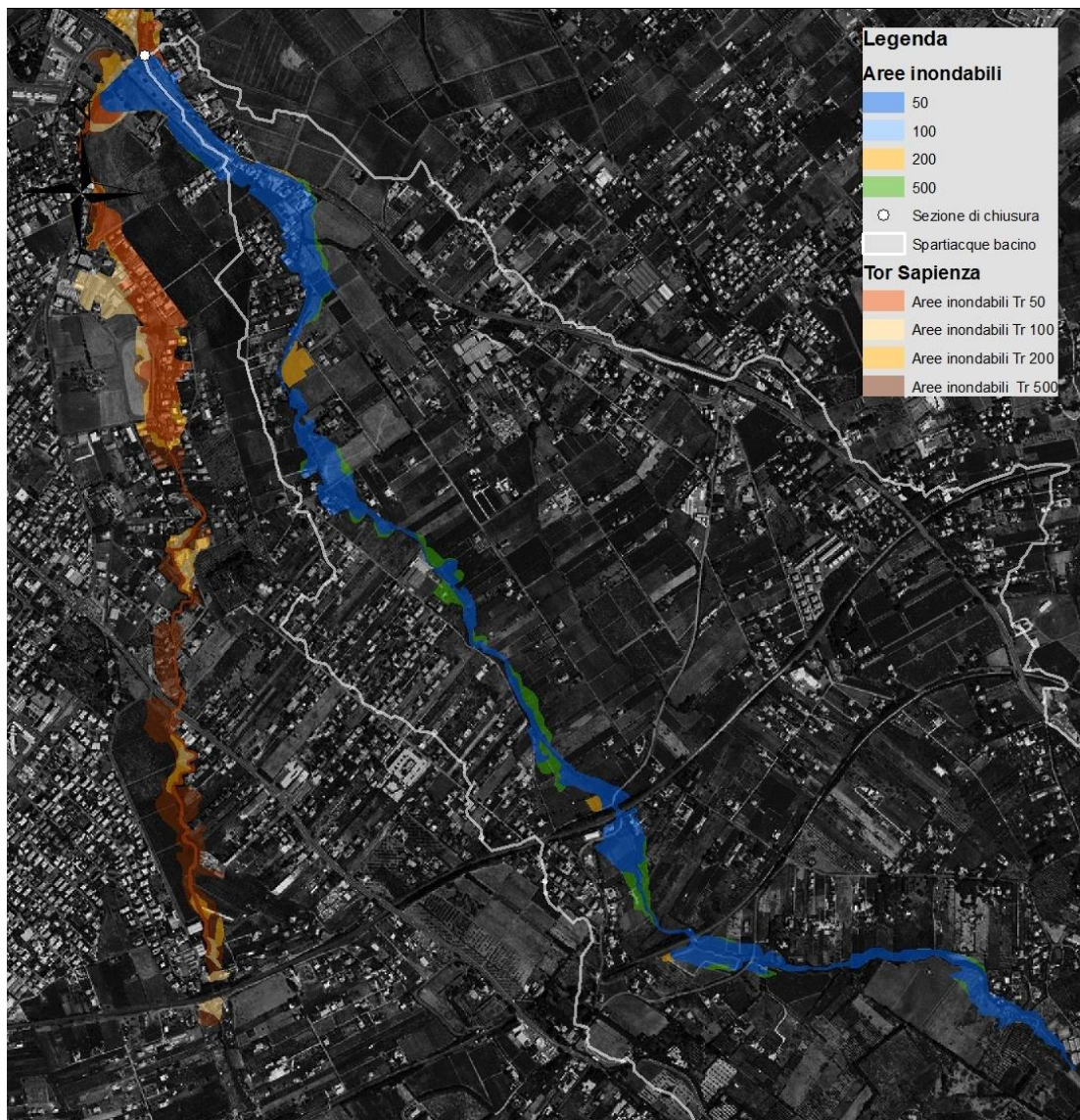


Figura 13 - Aree inondabili del Fosso della Botte di Sant'Andrea

Tabella 8 - Profilo di piena del canale, parte 1

| CHAN | Progr. | Thalweg | BS | BD | TR50 | | | TR100 | | | TR200 | | | TR500 | | |
|------|--------|---------|---------|---------|--------------|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|-------------|------------|--------------|-------------|------------|
| ID | (m) | (m slm) | (m slm) | (m slm) | H (m slm) | Q (m3/s) | V (m/s) | H (m slm) | Q (m3/s) | V (m/s) | H (m slm) | Q (m3/s) | V (m/s) | H (m slm) | Q (m3/s) | V (m/s) |
| 5 | 111.6 | 182.0 | 186.0 | 186.0 | 182.7 | 6.7 | 1.0 | 183.0 | 6.9 | 1.0 | 183.3 | 13.3 | 1.0 | 183.8 | 12.3 | 1.0 |
| 15 | 123.2 | 181.9 | 185.9 | 185.9 | 182.6 | 6.6 | 2.0 | 182.9 | 10.3 | 2.3 | 183.2 | 14.8 | 2.3 | 183.7 | 14.9 | 2.4 |
| 16 | 339.2 | 174.8 | 177.6 | 177.3 | 176.4 | 6.6 | 2.0 | 176.9 | 10.3 | 2.3 | 177.3 | 14.8 | 2.3 | 177.5 | 14.9 | 2.4 |
| 26 | 570.1 | 166.2 | 169.5 | 168.2 | 167.0 | 7.1 | 2.4 | 167.2 | 11.1 | 2.3 | 167.4 | 16.0 | 2.3 | 167.6 | 22.7 | 2.3 |
| 34 | 737.3 | 162.1 | 165.1 | 164.3 | 162.8 | 7.1 | 3.4 | 162.9 | 11.3 | 3.8 | 163.1 | 16.3 | 4.1 | 163.3 | 23.6 | 4.1 |
| 44 | 942.1 | 154.9 | 155.8 | 155.7 | 155.5 | 7.1 | 2.6 | 155.7 | 11.3 | 2.9 | 155.8 | 16.2 | 3.3 | 156.0 | 23.0 | 3.7 |
| 50 | 1080.3 | 151.9 | 154.4 | 154.4 | 153.9 | 7.1 | 3.3 | 154.5 | 11.1 | 3.7 | 154.7 | 12.6 | 4.1 | 154.8 | 13.5 | 4.5 |
| 51 | 1099.3 | 150.3 | 154.4 | 154.4 | 151.4 | 7.1 | 3.3 | 151.8 | 11.1 | 3.7 | 151.9 | 12.6 | 4.1 | 152.0 | 13.5 | 4.5 |
| 59 | 1273.4 | 145.3 | 146.8 | 146.9 | 148.8 | 8.1 | 0.4 | 148.9 | 10.7 | 0.5 | 149.2 | 15.4 | 0.7 | 149.6 | 23.2 | 0.8 |
| 60 | 1292.7 | 146.9 | 158.2 | 158.2 | 148.8 | 9.1 | 1.6 | 148.9 | 10.7 | 1.7 | 149.2 | 15.3 | 1.7 | 149.5 | 23.0 | 1.7 |
| 61 | 1306.4 | 146.9 | 158.2 | 158.2 | 148.8 | 11.3 | 3.0 | 148.9 | 10.7 | 2.6 | 149.2 | 15.3 | 2.9 | 149.5 | 23.0 | 3.3 |
| 62 | 1318.1 | 144.4 | 145.9 | 146.3 | 145.2 | 11.3 | 3.0 | 145.1 | 10.7 | 2.6 | 145.2 | 15.3 | 2.9 | 145.4 | 23.0 | 3.3 |
| 74 | 1594.0 | 137.7 | 138.4 | 139.5 | 138.4 | 8.5 | 2.3 | 138.6 | 10.4 | 2.1 | 138.7 | 14.3 | 2.0 | 139.0 | 19.9 | 2.1 |
| 82 | 1774.1 | 135.2 | 137.7 | 137.7 | 137.5 | 6.8 | 1.5 | 137.8 | 7.7 | 1.9 | 138.4 | 10.7 | 1.8 | 138.8 | 14.3 | 1.9 |
| 84 | 1844.3 | 133.0 | 137.5 | 137.4 | 133.8 | 6.4 | 2.9 | 133.9 | 7.5 | 3.0 | 134.4 | 14.2 | 3.9 | 134.9 | 22.4 | 4.5 |
| 91 | 2022.0 | 126.9 | 126.9 | 129.1 | 128.0 | 6.8 | 3.0 | 128.1 | 7.7 | 2.8 | 128.3 | 10.0 | 2.6 | 128.8 | 13.7 | 2.6 |
| 97 | 2181.4 | 125.5 | 127.5 | 127.6 | 126.8 | 6.8 | 2.8 | 126.8 | 7.7 | 2.9 | 127.1 | 10.0 | 3.1 | 127.2 | 11.9 | 3.2 |
| 104 | 2329.6 | 121.0 | 122.2 | 122.1 | 122.0 | 6.8 | 2.6 | 122.2 | 7.6 | 2.7 | 122.3 | 9.5 | 2.7 | 122.5 | 11.2 | 2.7 |
| 113 | 2543.3 | 116.0 | 119.0 | 117.5 | 117.3 | 6.8 | 2.5 | 117.3 | 7.7 | 2.5 | 117.6 | 9.8 | 2.6 | 117.9 | 12.4 | 2.6 |
| 124 | 2784.4 | 111.0 | 113.9 | 115.0 | 112.3 | 6.8 | 2.4 | 112.4 | 7.7 | 2.3 | 112.6 | 9.8 | 2.4 | 112.9 | 13.3 | 2.6 |
| 138 | 3119.9 | 106.9 | 107.2 | 107.2 | 108.0 | 4.8 | 1.8 | 108.1 | 5.3 | 1.7 | 108.2 | 6.5 | 1.7 | 108.2 | 8.2 | 2.0 |
| 142 | 3218.5 | 106.9 | 108.8 | 108.8 | 107.6 | 2.9 | 2.1 | 107.7 | 3.1 | 2.1 | 107.7 | 3.5 | 2.2 | 107.8 | 3.9 | 2.2 |

Tabella 9 - Profilo di piena del canale, parte 2

| CHAN | Progr. | Thalweg | BS | BD | TR50 | | | TR100 | | | TR200 | | | TR500 | | |
|------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|
| | | | | | H | Q | V | H | Q | V | H | Q | V | H | Q | V |
| ID | (m) | (m slm) | (m slm) | (m slm) | (m slm) | (m3/s) | (m/s) | (m slm) | (m3/s) | (m/s) | (m slm) | (m3/s) | (m/s) | (m slm) | (m3/s) | (m/s) |
| 143 | 3226.6 | 106.4 | 108.7 | 108.8 | 107.2 | 2.9 | 1.8 | 107.3 | 3.1 | 1.9 | 107.3 | 3.5 | 1.9 | 107.4 | 3.9 | 2.0 |
| 144 | 3271.8 | 106.0 | 108.5 | 107.6 | 106.7 | 2.9 | 1.5 | 106.7 | 3.1 | 1.5 | 106.8 | 3.5 | 1.6 | 106.8 | 3.9 | 1.6 |
| 151 | 3427.6 | 101.3 | 103.3 | 102.9 | 102.4 | 6.4 | 3.1 | 102.5 | 7.4 | 3.1 | 102.7 | 9.2 | 3.2 | 102.9 | 12.1 | 3.3 |
| 154 | 3495.3 | 97.9 | 100.7 | 101.2 | 98.7 | 6.6 | 2.8 | 98.8 | 7.7 | 3.0 | 98.9 | 9.8 | 3.2 | 99.0 | 13.1 | 3.4 |
| 158 | 3564.7 | 96.8 | 100.4 | 97.8 | 97.9 | 6.6 | 1.7 | 98.0 | 7.7 | 1.7 | 98.1 | 9.8 | 1.7 | 98.3 | 13.1 | 1.9 |
| 160 | 3624.0 | 95.9 | 99.7 | 98.6 | 97.4 | 6.6 | 1.5 | 97.5 | 7.7 | 1.4 | 97.7 | 9.8 | 1.5 | 97.9 | 13.1 | 1.8 |
| 166 | 3746.2 | 95.8 | 99.6 | 96.9 | 96.9 | 6.6 | 1.2 | 97.0 | 7.7 | 1.2 | 97.1 | 9.6 | 1.2 | 97.3 | 12.5 | 1.4 |
| 172 | 3873.3 | 94.5 | 98.6 | 96.1 | 96.6 | 6.2 | 1.1 | 96.7 | 7.3 | 1.0 | 96.9 | 8.5 | 1.0 | 97.0 | 10.5 | 1.0 |
| 174 | 3909.8 | 94.9 | 97.4 | 96.7 | 96.4 | 6.3 | 1.5 | 96.5 | 7.3 | 1.6 | 96.7 | 8.5 | 1.6 | 96.9 | 10.1 | 1.6 |
| 177 | 3975.0 | 94.6 | 97.3 | 96.7 | 95.6 | 6.3 | 2.4 | 95.7 | 7.3 | 2.4 | 95.8 | 8.5 | 2.4 | 96.0 | 10.2 | 2.6 |
| 178 | 3992.6 | 93.9 | 95.2 | 96.1 | 95.0 | 6.3 | 2.2 | 95.3 | 7.3 | 2.2 | 95.3 | 8.2 | 2.2 | 95.4 | 9.2 | 2.3 |
| 182 | 4068.7 | 92.3 | 93.5 | 94.5 | 93.7 | 4.4 | 1.6 | 93.7 | 4.5 | 1.7 | 93.7 | 4.6 | 1.7 | 93.7 | 4.7 | 1.7 |
| 183 | 4087.4 | 92.3 | 93.8 | 93.5 | 93.4 | 4.4 | 2.1 | 93.4 | 4.6 | 2.1 | 93.4 | 4.6 | 2.1 | 93.4 | 4.7 | 2.2 |
| 188 | 4226.2 | 89.3 | 92.0 | 92.0 | 92.2 | 3.7 | 1.1 | 92.2 | 3.9 | 1.1 | 92.2 | 6.1 | 1.0 | 92.2 | 4.4 | 1.0 |
| 189 | 4238.9 | 89.8 | 92.1 | 92.1 | 92.2 | 3.7 | 1.7 | 92.2 | 3.8 | 1.8 | 92.2 | 11.3 | 2.0 | 92.2 | 4.3 | 2.1 |
| 196 | 4426.9 | 88.0 | 91.4 | 91.4 | 89.6 | 3.4 | 1.3 | 89.6 | 3.4 | 1.2 | 89.6 | 3.4 | 1.3 | 89.6 | 3.4 | 1.3 |
| 200 | 4546.9 | 87.4 | 89.1 | 90.1 | 88.4 | 3.7 | 1.2 | 88.4 | 3.6 | 1.1 | 88.4 | 3.5 | 1.1 | 88.4 | 3.5 | 1.1 |
| 207 | 4666.9 | 85.9 | 88.7 | 88.8 | 87.3 | 3.4 | 2.3 | 87.3 | 3.4 | 2.5 | 87.4 | 3.4 | 2.6 | 87.4 | 3.4 | 2.7 |
| 208 | 4680.3 | 85.9 | 88.7 | 88.8 | 87.2 | 3.4 | 1.2 | 87.2 | 3.4 | 1.2 | 87.2 | 3.4 | 1.2 | 87.2 | 3.4 | 1.2 |
| 212 | 4800.7 | 84.4 | 86.0 | 86.7 | 85.3 | 3.4 | 1.5 | 85.3 | 3.4 | 1.5 | 85.3 | 3.4 | 1.5 | 85.3 | 3.4 | 1.5 |
| 215 | 4885.0 | 83.4 | 84.7 | 86.4 | 84.9 | 1.5 | 0.8 | 84.9 | 1.5 | 0.8 | 84.9 | 1.5 | 0.7 | 84.9 | 1.5 | 0.7 |

5.7.Mappatura della pericolosità idraulica

La simulazione dei flussi di piena con modellazione idraulica 2D e la mappatura correlata delle aree inondabili per Tr=50, 100, 200 e 500 anni consentono la valutazione della pericolosità idraulica associando a ciascuna cella del dominio i valori delle seguenti variabili:

- **tirante massimo *asincrono***
- **livello idrico massimo *asincrono***
- **velocità di flusso massima *asincrona***
- **portata massima *asincrona***

dove per ***asincrono*** si intende che le variabili sono associate a differenti istanti temporali, ossia sono i **massimi valori stimati dal modello lungo tutto l'arco temporale di simulazione.**

Per quanto riguarda la mappatura della **pericolosità idraulica** è ricampionato lo strato informativo delle aree inondabili secondo le tre classi di pericolosità dell'ABT: **P1 per l'area inondata per Tr 500 anni, P2 per la Tr 100-200 anni e P3 per la Tr 50 anni.**

I prodotti cartografici sono basati su strati informativi, acquisiti dai file di uscita del modello FLO-2D (formato ASCII o SHP), che vengono processati ed omogeneizzati per essere resi congruenti con il sistema informativo GIS sviluppato per il Progetto.

Gli elaborati prodotti sono:

- **Mappa della pericolosità idraulica** per le **tre classi** predefinite **P1** (corrispondente alle aree inondabili per la **Tr 500 anni**), **P2 (Tr 100-200 anni)** e **P3 (50 anni)** secondo crescenti livelli di frequenza del fenomeno di esondazione con rappresentazione delle **curve dei livelli idrici della Tr 200 anni** (isolinee espresse in m s.l.m. passo 1 m) di cui all'allegato 5.1.
- **Mappa dei tiranti massimi asincroni** di cui all'allegato 5.2;
- **Mappa delle velocità massime asincrone** di cui all'allegato 5.3.

Nelle figure di seguito sono riportati dei prototipi delle cartografie di mappatura degli allegati suddetti.

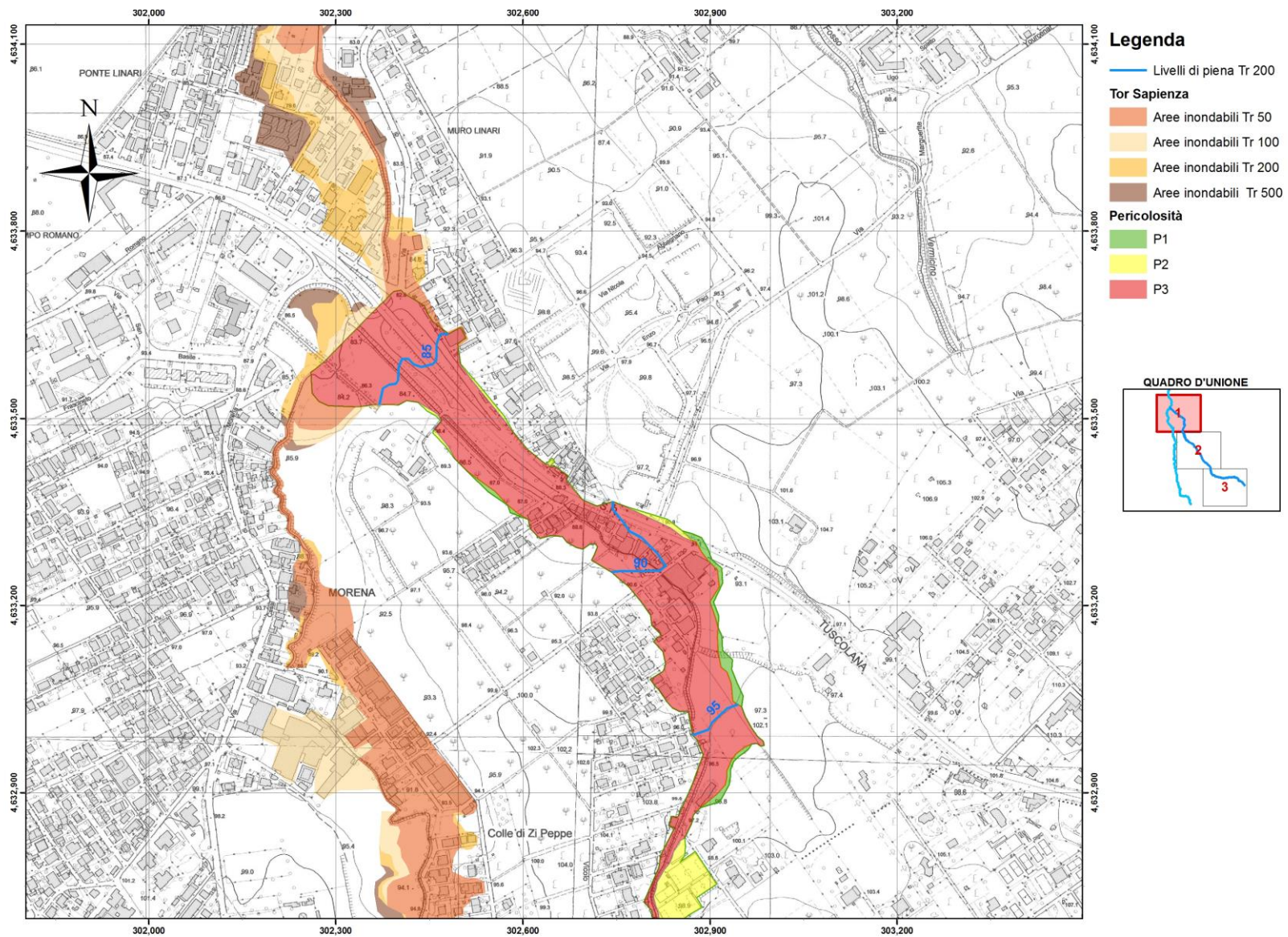


Figura 14 - Prototipo della cartografia di mappatura della pericolosità idraulica per la Tr 200 anni

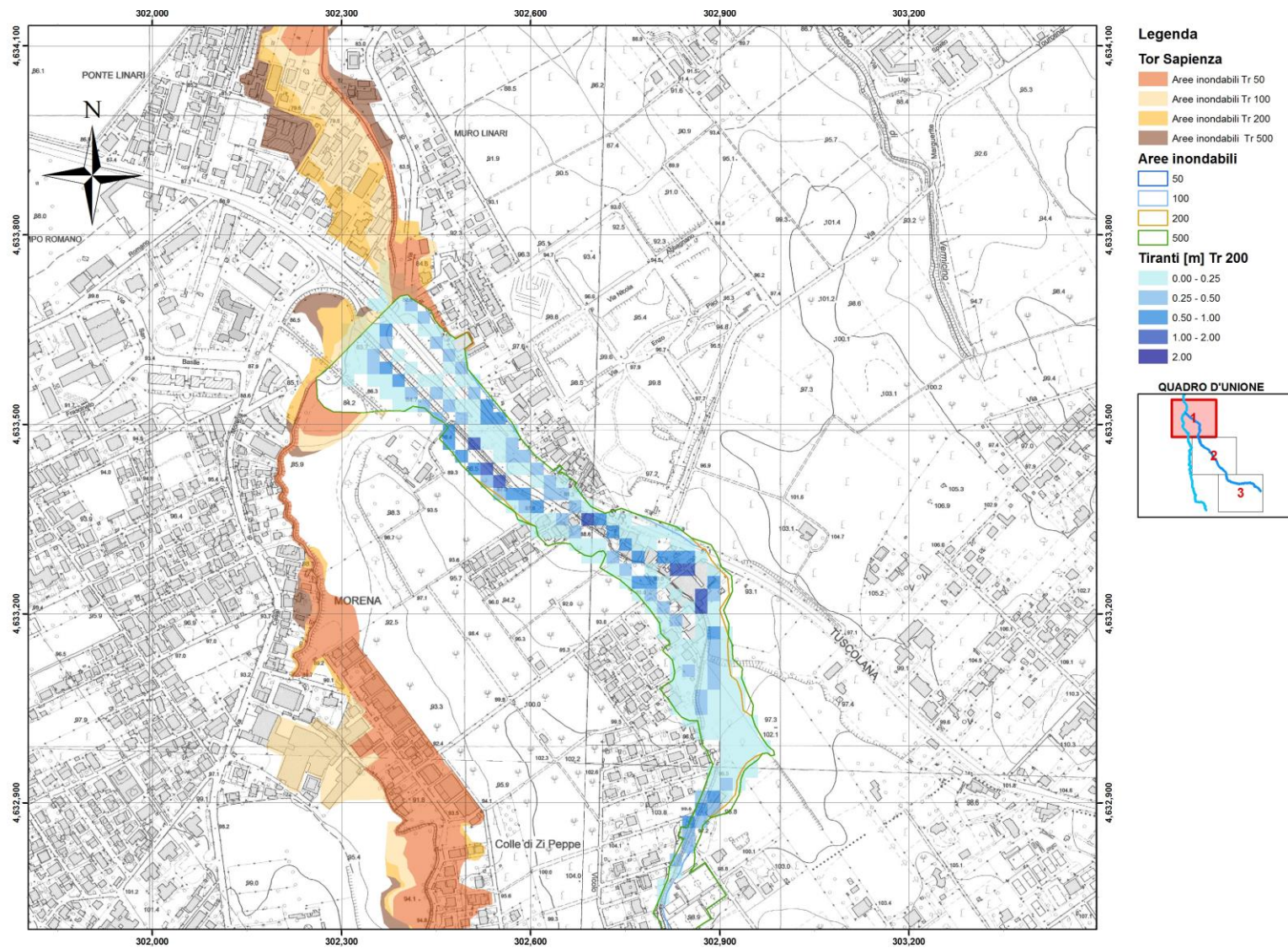


Figura 15 - Prototipo della cartografia di mappatura dei tiranti massimi asincroni per la Tr 200 anni

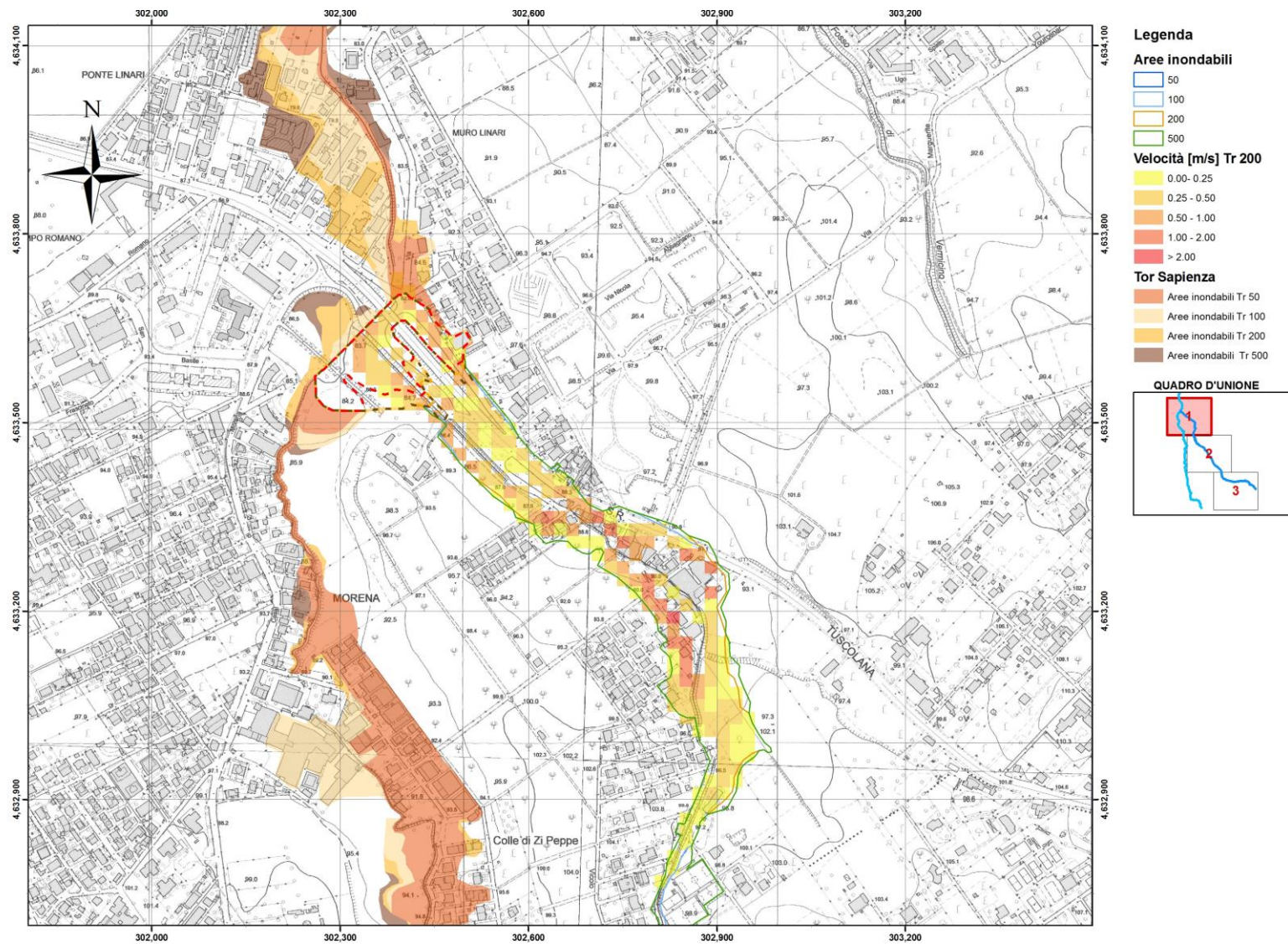


Figura 16 - Prototipo della cartografia di mappatura delle velocità massime asincrone per la Tr 200 anni

