



**COMUNE DI VIADANA**  
**PROVINCIA DI MANTOVA**

**Studio Comunale di Gestione del Rischio Idraulico**



**RELAZIONE PRELIMINARE**

Il Responsabile dell'Area  
Tutela e Sviluppo del Territorio, SUAP e SUE

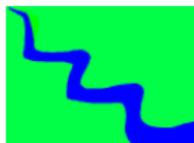
Arch. Rocco Tenca

RUWA srl

Ing. Dario Tricoli



GENNAIO 2022



**RUWA srl acqua territorio energia**

Via Carlo Pisacane 25/F  
88063 Catanzaro  
tel/fax 0961 33381 - cel. 334 7090356  
[www.ruwa.it](http://www.ruwa.it) - [info@ruwa.it](mailto:info@ruwa.it)  
P.I. 02723670796

**COMUNE DI VIADANA**  
**PROVINCIA DI MANTOVA**

**Studio Comunale di Gestione del Rischio Idraulico**

***RELAZIONE PRELIMINARE***

## Indice generale

1 PREMESSA.....	4
2 AGGIORNAMENTO QUADRO CONOSCITIVO.....	6
2.1 RISCHIO IDRAULICO.....	8
2.1.1 DOCUMENTO SEMPLIFICATO.....	8
2.1.2 RETICOLO IDRICO MINORE.....	9
2.1.3 PAI E PGRA.....	10
2.2 DATI TOPOGRAFICI .....	19
2.3 ACQUISIZIONE DATI DA CONSORZIO DI BONIFICA E ENTE GESTORE.....	22
2.4 PREPARAZIONE DEM DETTAGLIO.....	28
2.5 CENSIMENTO ATTRAVERSAMENTI E MANUFATTI.....	31
2.6 SOPRALLUOGHI SULLE CRITICITA' NOTE.....	33
2.7 ESTRAZIONE SEZIONI CANALI.....	36
2.8 MODELLAZIONE IDRAULICA SPEDITIVA.....	38
2.9 REDAZIONE STRATI INFORMATIVI RETICOLO.....	42
2.10 ANALISI STATISTICA PIOGGIE.....	45
2.10.1 CENNI METODOLOGICI GENERALI.....	45
2.10.2 MODALITÀ OPERATIVE UTILIZZATE PER L'APPLICAZIONE AL TERRITORIO DI INTERESSE.....	46
2.11 CARATTERISTICHE DEI SUOLI.....	48
2.12 PUBBLICAZIONE SU WEBGIS.....	57
2.13 FASI SUCCESSIVE.....	62

# 1 PREMESSA

Nell'ambito della redazione dello Studio Comunale di gestione del Rischio Idraulico previsto dalla normativa regionale vigente, in particolare dalla RR n.7/2017, l'Amministrazione Comunale di Borgo Mantovano ha dato incarico alla società RUWA srl per la redazione degli studi idraulici necessari, con Determinazione Determinazione N. 331 del 09/07/2021, di seguito sono riportati i riferimenti ed i principali contenuti dell'incarico.

*Oggetto incarico: Incarico di affidamento del servizio di noleggio software per la redazione dello studio di rischio idraulico del territorio comunale di Viadana. CIG: 87554845F6. Determinazione dirigenziale n. 331 del 09/07/2021.*

*Estratto dall'offerta RUWA n.31 del 30/11/2020 (oggetto: Offerta di consulenza per il supporto alla modellazione del reticolo idrico comunale del comune di Viadana (MN) ai fini della redazione dello studio comunale di gestione del rischio idraulico (L.R. Lombardia 7/2017 e succ. mod. e int.):*

- 1. fornitura temporanea e finalizzata al solo utilizzo per il fine in oggetto del software necessario;*
- 2. supporto nella predisposizione della modellistica da utilizzare;*
- 3. assistenza di un operatore nell'implementazione del modello;*
- 4. corso HEC-RAS 1D e 2D ed HEC-HMS per una persona;*
- 5. implementazione e fornitura di una piattaforma webgis per la visualizzazione grafica e tabellare dei principali risultati derivanti dai modelli idraulici sviluppati.*

*Al termine delle attività condotte saranno consegnati in formato digitale i seguenti elaborati:*

- o relazione generale;*
- o eventuali elaborati grafici illustranti i risultati ottenuti;*
- o piattaforma webgis.*

Nella sostanza l'incarico prevede di sviluppare dapprima tutte quelle indagini propedeutiche necessarie a meglio caratterizzare la risposta idrologica ed idraulica del territorio e quindi a condurre la modellazione idrologica e idraulica finalizzata all'individuazione delle aree allagabili nello stato attuale e quindi alla verifica e taratura del piano di interventi da mettere in atto per la mitigazione del rischio idraulico. Di seguito sono riepilogate le principali attività previste:

1. ricostruzione del quadro conoscitivo con particolare riferimento ai seguenti aspetti:
  - documenti già disponibili sul rischio idraulico (Documento semplificato, Reticolo idrico minore, Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, Piano delle Fasce Fluviali, Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, ecc.);
  - dati topografici di dettaglio (DBT, rilievo lidar, ecc.)

2. stima dei parametri della CPP per individuazione degli scenari di pioggia da utilizzare per la modellazione idrologica;
3. implementazione del modello idrologico dei bacini d'interesse (con il software HEC-HMS) per simulare la trasformazione afflussi-deflussi a livello del comprensorio di bonifica all'interno del quale ricade il comune;
4. implementazione del modello idraulico dello stato attuale e sua taratura sulla base delle notizie di allagamenti avvenuti in passato attraverso le seguenti fasi:
  - modellazione bidimensionale (2D) speditiva con HEC-RAS utilizzando come input unicamente la pioggia al fine di individuare i percorsi dei deflussi e le aree depresse in cui tendono ad accumularsi le acque;
  - ove disponibili dati di dettaglio della rete di collettamento delle acque piovane, modellazione con SWMM della rete principale, il modello idrologico/idraulico implementato in SWMM prenderà in input sia la pioggia che gli output della rete fognaria (scarichi dagli sfioratori di piena presenti lungo la rete) e successiva individuazione degli idrogrammi che fuoriescono dai nodi della rete;
  - modellazione 2D con HEC-RAS, utilizzando come input la pluviometria e, ove disponibili, i risultati del modello SWMM (idrogrammi che fuoriescono dai nodi della rete), finalizzata all'individuazione delle aree allagabili e taratura del modello sulla base delle notizie degli allagamenti avvenuti negli ultimi anni;
  - individuazione delle aree allagabili con i diversi tempi di ritorno (10, 50 e 100 anni);
5. sulla base del modello idraulico implementato, verifica degli interventi previsti e se necessario valutare una loro modifica e/o estensione per risolvere le criticità evidenziate;
6. implementazione del modello idraulico dello stato di progetto ed individuazione dello scenario degli allagamenti con i diversi tempi di ritorno (10, 50 e 100 anni).

## 2 AGGIORNAMENTO QUADRO CONOSCITIVO

La prima fase della redazione dello Studio Comunale di Gestione del Rischio Idraulico ha riguardato l'aggiornamento del quadro conoscitivo in tutti quegli ambiti che hanno una valenza nelle problematiche del rischio idraulico e che consistono in particolare in: Atti di Pianificazione di Bacino, di ATO e Comunale, morfologia del territorio, uso e permeabilità del suolo, stato di consistenza del reticolo idrografico e analisi sulla pluviometria.

Tutti i dati raccolti in questa fase, secondo le modalità meglio illustrate nei paragrafi che seguono, sono stati quindi inseriti in un Sistema Informativo Territoriale (SIT) per facilitare il trattamento delle informazioni raccolte e la loro elaborazione ai fini dell'analisi di rischio idraulico. In questa fase è stata inoltre condotta una modellazione idraulica speditiva, utilizzando le informazioni topografiche disponibili e i dati pluviometrici, al solo fine di individuare le aree più depresse o che comunque per la morfologia del territorio potrebbero essere suscettibili di allagamenti, l'individuazione di tali aree è pertanto da ritenersi puramente indicativa. Le fasi di analisi di rischio idraulico più approfondite che saranno condotte successivamente sulla base dei dati topografici del terreno e relativi al reticolo idraulico di maggior dettaglio che saranno acquisiti potranno consentire di implementare una modellazione idraulica più accurata al fine di ottenere una valutazione più corretta e circostanziata delle criticità idrauliche per pervenire quindi all'individuazione più realistica delle aree allagabili con riferimento ai diversi tempi di ritorno richiesti dalla normativa vigente.

Tutti i dati raccolti in questa prima fase, unitamente ai principali risultati delle prime elaborazioni speditive condotte, sono oggetto di una prima consegna, come previsto nell'ambito dell'incarico ricevuto. Questa prima consegna consiste nella presente relazione sintetica preliminare dove vengono descritte le principali attività condotte in queste fasi iniziali; vengono presentati i prodotti ottenuti e descritte le principali criticità riscontrate ed infine vengono elencate le attività previste nelle successive fasi previste dall'incarico ricevuto per pervenire allo Studio Comunale di Gestione del Rischio Idraulico.

In considerazione del fatto che la maggior parte dei prodotti delle attività condotte in questa fase consistono in informazioni territoriali, più correttamente ed efficacemente rappresentabili tramite strati informativi territoriali, si è ritenuto opportuno implementare un webgis per mettere a disposizione dell'Amministrazione Comunale gli studi prodotti. Questa modalità di messa a disposizione da un lato consente una più efficace fruizione da parte dei tecnici dell'amministrazione comunale delle informazioni raccolte e dei dati prodotti nell'ambito delle attività condotte, ma allo stesso tempo consente di aggiornare in tempo reale gli strati informativi pubblicati, sulla base dei nuovi elementi che scaturiranno nel corso delle successive fasi di attività previste.

Inoltre permetterà con maggior duttilità di adempiere all'Art.14 comma 5bis della L.R. 7/2017 e s.m.i. che recita "5 bis. Lo studio comunale di gestione del rischio idraulico e, per i comuni ricadenti nelle aree a bassa criticità idraulica di cui all'articolo 7, il documento semplificato del rischio idraulico comunale sono aggiornati ogniqualvolta il quadro di riferimento assunto negli stessi documenti subisca una modifica a

seguito di aggiornamenti conoscitivi, eventi naturali o interventi antropici.

Nei paragrafi che seguono vengono descritte quindi le attività condotte e presentati i prodotti ottenuti nei vari ambiti fin qui indagati.

Da notare che, come sarà meglio illustrato nel seguito, le attività condotte in questa fase non hanno riguardato unicamente l'ambito comunale ma la zona di indagine è stata allargata fino a considerare l'intero comprensorio idrografico all'interno del quale il territorio comunale ricade. Considerata la conformazione del territorio, caratterizzata da varie aree di pianura suddivise in comprensori di bonifica molto estesi, il dominio di studio individuato per condurre l'analisi di rischio idraulico è stato necessariamente esteso all'intero comprensorio di bonifica come sarà meglio illustrato nel seguito.

La principale fonte di informazioni utilizzata come base di partenza è stato il Documento Preliminare per il rischio Idraulico in cui vengono date precise indicazioni sulle principali criticità idrauliche verificatesi negli ultimi anni sulla base delle indicazioni raccolte presso gli enti preposti. A tale proposito occorre notare che le informazioni disponibili sulle criticità idrauliche riscontrate unitamente alle indicazioni sulle possibili soluzioni non sono da ritenersi esaustive nella fase di redazione del presente Studio Comunale di Gestione del Rischio Idraulico in quanto la normativa richiede espressamente che questo studio sia condotto con riferimento a ben precisi scenari idrologici caratterizzati da tempi di ritorno di 10, 50 e 100 anni. Gli scenari richiesti, con particolare riferimento a quelli di 50 e 100 anni, in generale, non possono essere considerati comparabili con gli eventi pluviometrici che hanno provocato le criticità idrauliche verificatesi negli ultimi anni segnalate dagli enti preposti.

Per questo motivo c'è da attendersi che le criticità che saranno evidenziate nello studio idraulico che sarà condotto siano più numerose rispetto a quelle segnalate nel Documento Semplificato ed allo stesso tempo le aree allagabili che si otterranno siano ben più estese rispetto a quelle indicate nello stesso Documento Semplificato. A tale proposito occorre considerare anche che l'antropizzazione del territorio avvenuta negli ultimi decenni ha contribuito, in alcuni casi in maniera importante, a peggiorare la risposta idrologica delle aree interessate con l'effetto di accorciare il tempo di risposta dei bacini idrografici e aumentare le portate di piena ed il volume dei deflussi. Per questo motivo, nell'analisi del rischio idraulico che si condurrà nell'ambito della redazione dello Studio Comunale di Gestione del Rischio Idraulico si terrà conto anche delle mutate condizioni del territorio a seguito dell'antropizzazione, di questo aspetto occorrerà tener conto anche nell'interpretazione dei risultati che si otterranno. Un altro aspetto dell'antropizzazione del territorio di cui occorre tenere conto riguarda gli effetti sul reticolo idrografico esistente consiste nel fatto che spesso lo stesso reticolo è stato modificato in maniera importante con modifiche di tracciato e/o di sezione arrivando a volte all'obliterazione di alcuni tratti. La mancanza di una continuità idraulica del reticolo idraulico, unitamente alle ridotte dimensioni dello stesso, è spesso la causa scatenante dei fenomeni di allagamenti che si verificano al livello locale, dove il termine locale serve ad indicare che gli stessi allagamenti non sono prodotti da esondazioni dal reticolo idraulico principale o da quello di bonifica.

## 2.1 RISCHIO IDRAULICO

Le principali fonti di dati utilizzate per recuperare informazioni sulle problematiche connesse al rischio idraulico nel territorio comunale sono:

- documento semplificato e Reticolo idrico Minore redatti per conto dell'Amministrazione Comunale in ottemperanza a quanto richiesto dalla normativa della Regione Lombardia;
- strumenti di pianificazione di bacino, ed in particolare PAI e PGRA.

### 2.1.1 DOCUMENTO SEMPLIFICATO

Nell'ambito della redazione dell'Analisi del Rischio Idraulico sul territorio comunale riveste particolare importanza la consultazione del Documento Semplificato del Rischio Idraulico.

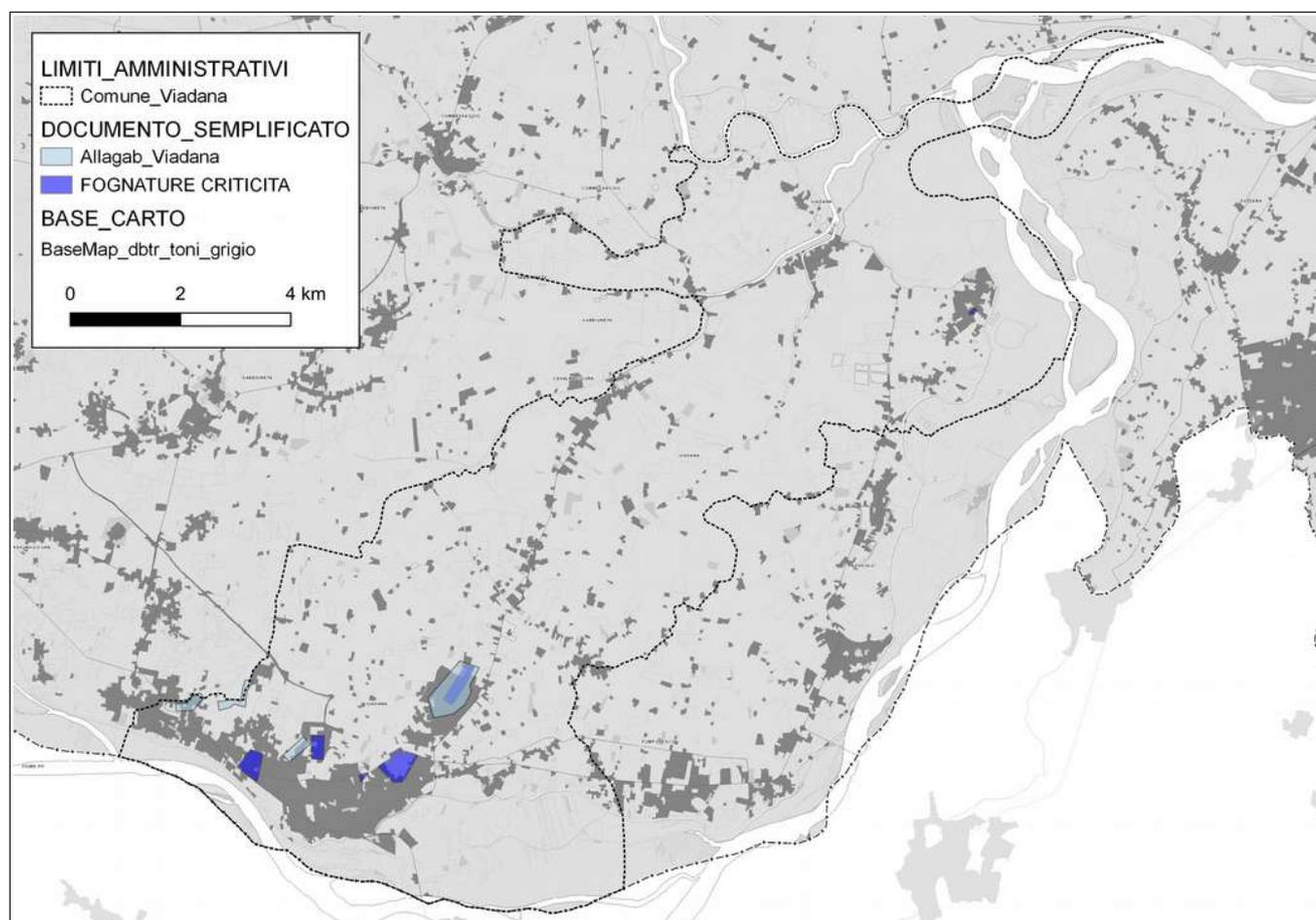


Fig. 1 - Documento semplificato - Aree soggette ad allagamenti

Il Documento Semplificato contiene infatti un inquadramento delle problematiche sul rischio idraulico a livello comunale ed è stato redatto sulla base di tutte le informazioni raccolte in primo luogo presso l'Amministrazione Comunale e poi presso gli enti che a vario titolo si occupano della materia come il consorzio di bonifica, in questo caso il Consorzio di Bonifica Navarolo Agro Cremonese Mantovano, e la società che gestisce il ciclo integrato delle acque, in questo caso AqA srl – Gruppo Tea. Nel documento

semplificato sono riportate altresì una serie di informazioni stralciate da documenti già disponibili che riguardano le problematiche connesse con il Rischio Idraulico quali il Piano di Governo del Territorio (PGT) a livello comunale, il Piano di Bacino e il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) a livello del Distretto del Po, ed il Piano d'Ambito a livello dell'Ambito Territoriale ottimale (ATO) per la gestione del Ciclo Integrato delle Acque. In particolare nel Documento semplificato sono riportate le aree individuate come allagabili dal consorzio di bonifica e dalla società che gestisce il ciclo integrato delle acque, vedi Fig. 1,

Nell'ambito del documento preliminare vengono date quindi precise indicazioni sulle principali criticità idrauliche verificatesi negli ultimi anni sulla base delle indicazioni raccolte presso gli enti preposti, in particolar modo consorzio di bonifica ed il gestore del ciclo integrato delle acque. Le informazioni sulle criticità idrauliche sono poi accompagnate anche da indicazioni sui possibili interventi da mettere in atto per la mitigazione delle stesse criticità.

## **2.1.2 RETICOLO IDRICO MINORE**

Un altro elemento che riveste importanza essenziale ai fini della redazione dello Studio Comunale di Gestione del Rischio Idraulico è senz'altro la conoscenza del reticolo idrografico ed in particolare del Reticolo idrico Minore che ogni comune ha redatto sulla base della normativa vigente, in questo caso è stato redatto dall'Ing. Nicola Nabacino per conto dell'Amministrazione Comunale di Viadana. Questo documento, che è stato acquisito come strati informativi territoriali (shapefile), riporta tutto il reticolo idrografico presente nel territorio comunale classificando i vari tronchi in funzione dell'Ente Competente, in particolare sono riportati:

- il reticolo idraulico principale (RIP) che è di competenza dell'AIPO e della Regione Lombardia;
- il reticolo idraulico di bonifica che è di competenza del Consorzio di Bonifica del Consorzio di Bonifica Navarolo Agro Cremonese Mantovano;
- il reticolo idraulico demaniale;
- il reticolo idraulico privato che comunque mantiene una valenza ambientale e/o idraulica;
- la rete di collettamento (fognatura).

Nel reticolo idrico minore sono inoltre inserite tutte quelle aste, ancorché non individuabili allo stato attuale, che però sono presenti nelle cartografie catastali, sia ultime che quelle dell'impianto catastale, che per la Provincia di Mantova risale al XIX secolo. In questo reticolo idraulico è riportato anche quello che è di competenza del Gestore del Ciclo Integrato delle Acque, questo perché storicamente, a seguito dell'antropizzazione del territorio, la maggior parte delle volte la rete di collettamento è mista, raccoglie sia le acque reflue che le acque di pioggia, ed è stata realizzata seguendo il tracciato, quindi in sostituzione, dei vecchi canali che in passato avevano la funzione di bonificare i terreni drenando le acque di pioggia e tenendo basse le piezometriche della falda, proprio per consentire la coltivazione del territorio. Questo reticolo idraulico contiene unicamente informazioni planimetriche, in pratica è costituito unicamente dal tracciato quindi non ci sono quelle informazioni come geometria e dimensioni delle sezioni, pendenza dei canali e dimensioni dei manufatti interferenti con il deflusso la cui conoscenza è

invece di importanza fondamentale per la redazione dell'analisi del rischio idraulico che sarà fatta in questa sede come più ampiamente descritto nel seguito. Il reticolo idraulico individuato è riportato in Fig. 2,

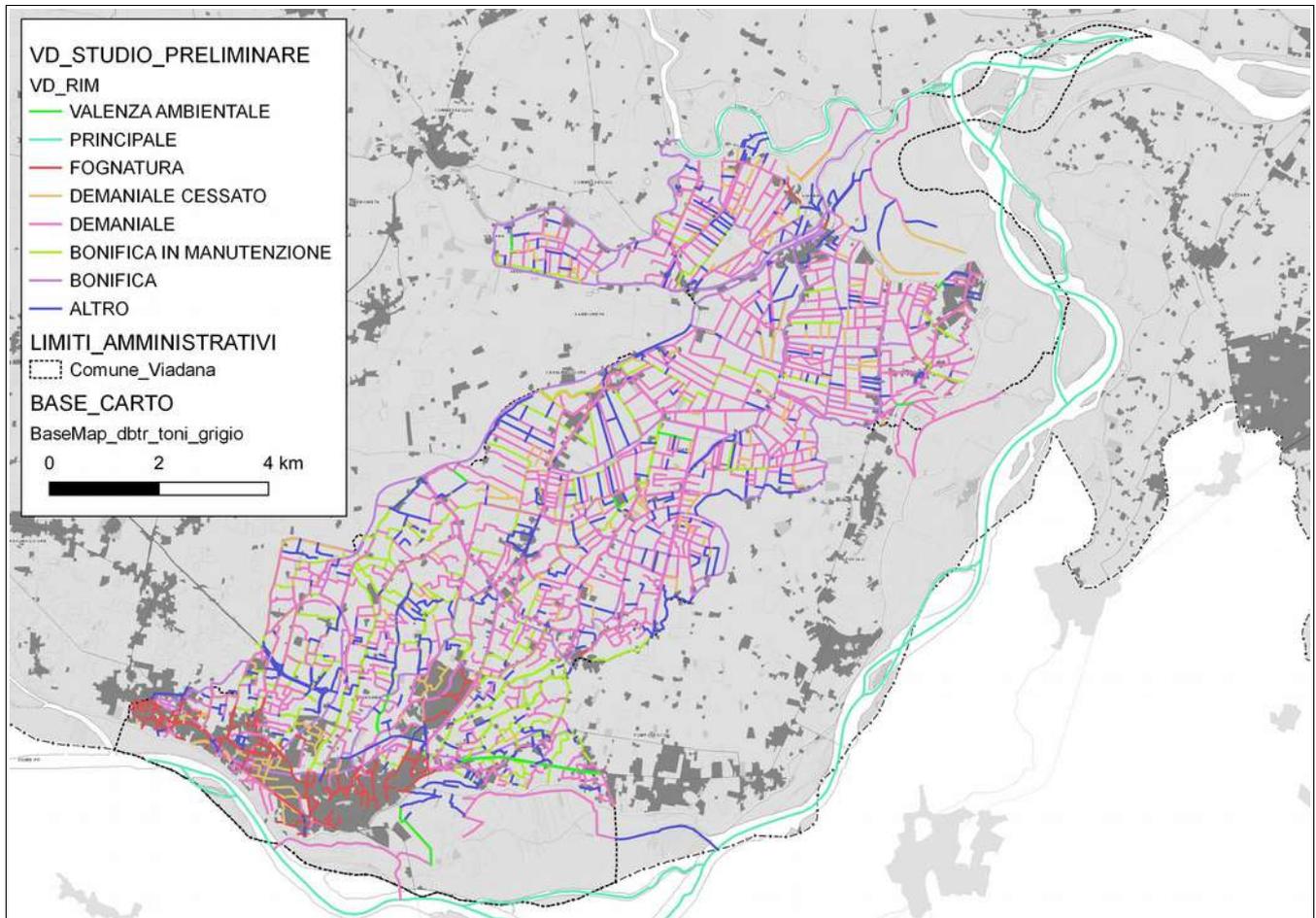


Fig. 2 - Reticolo idrico minore (RIM)

### 2.1.3 PAI E PGRA

Il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico è stato redatto ai sensi della Legge 183/1989 e s.m.i. e contiene un quadro conoscitivo delle problematiche del rischio idraulico, l'individuazione delle criticità idrauliche con la determinazione delle aree allagabili e un piano di interventi, strutturali e non strutturali per la risoluzione di tali criticità.

Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) è lo strumento operativo previsto dalla legge italiana, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali (d.lgs. n. 49 del 2010, in attuazione della Direttiva Europea 2007/60/CE, "Direttiva Alluvioni"). Il PGRA viene predisposto a livello di distretto idrografico e aggiornato ogni 6 anni. Per il Distretto Padano, cioè il territorio interessato dalle alluvioni di tutti i corsi d'acqua che confluiscono nel Po, dalla sorgente fino allo sbocco in mare, è stato predisposto il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del fiume Po (PGRA-Po)

sulla base delle informazioni già contenute nel PAI integrate con altri dati più aggiornati. Il primo PGRA è stato adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po con delibera n. 4 del 17 dicembre 2015 e approvato con delibera n. 2 del 3 marzo 2016; è definitivamente approvato con d.p.c.m. del 27 ottobre 2016. Attualmente è in corso il processo di revisione del PGRA, che terminerà con l'adozione del nuovo PGRA.

Le mappe di pericolosità e rischio del PGRA rappresentano un aggiornamento e integrazione del quadro conoscitivo del PAI ed in particolare:

- contengono la delimitazione delle aree allagabili su corsi d'acqua del Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP) non interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali nel PAI
- aggiornano la delimitazione delle aree allagabili dei corsi d'acqua già interessati dalle delimitazioni delle fasce fluviali nel PAI e, per i corsi d'acqua Mella, Chiese e Serio la estendono verso monte;
- contengono la delimitazione delle aree allagabili in ambiti Reticolo Secondario di Pianura (RSP) e Aree Costiere e Lacuali (ACL) non considerati nel PAI;
- contengono localmente aggiornamenti delle delimitazioni delle aree allagabili dei corsi d'acqua del reticolo secondario collinare e montano (RSCM) rispetto a quelle presenti nell'Elaborato 2 del PAI, così come aggiornato dai Comuni;
- classificano gli elementi esposti ricadenti entro le aree allagabili in quattro gradi di rischio crescente (da R1, rischio moderato a R4, rischio molto elevato).

Sono state pertanto acquisite tutte le informazioni, presenti nel PGRA, riferite al territorio comunale di Viadana, ed in particolare le cartografie, che riportano le aree a pericolosità riferita a scenari frequenti, poco frequenti e rari relativi al Reticolo Principale (RP) e invece riferita unicamente a scenari frequenti, poco frequenti relativi al Reticolo Secondario di Pianura (RSP).

Per quanto riguarda il reticolo secondario di pianura, la perimetrazione delle aree allagabili è stata effettuata con riferimento agli scenari di media ed elevata probabilità di piena previsti dalla Direttiva 2000/60, il metodo di individuazione delle aree soggette ad alluvioni è stato di tipo prevalentemente storico-inventariale e si è basato sugli effetti di eventi avvenuti generalmente negli ultimi 20-30 anni in quanto ritenuti maggiormente rappresentativi delle condizioni di pericolosità connesse con l'attuale assetto del reticolo di bonifica e del territorio. A questa tipologia di aree si aggiungono limitate zone individuate mediante modelli idrologico-idraulici e aree delimitate sulla base del giudizio esperto degli enti gestori in relazione alla incapacità, più volte riscontrata, del reticolo a far fronte ad eventi di precipitazione caratterizzati da tempi di ritorno superiori (in media) a 50 anni. Nello scenario media probabilità, le aree perimetrate possono coincidere con gran parte dei settori di pianura dei bacini idrografici.

Qualora disponibili, i dati sono stati corredati da informazioni che riguardano il tirante medio dell'acqua raggiunto durante un determinato evento, la velocità e la durata dell'allagamento. Le mappe della pericolosità non tengono conto della possibilità che si verifichino rotture arginali o malfunzionamenti degli impianti di sollevamento e delle opere di gestione delle piene (chiaviche, paratoie) in relazione alla

necessità di condurre analisi molto dettagliate a livello locale sulla morfologia del territorio e sulla sua infrastrutturazione. La perimetrazione delle aree soggette a pericolosità idraulica relative al reticolo secondario di pianura per il comune di Viadana è riportata in Fig. 3,

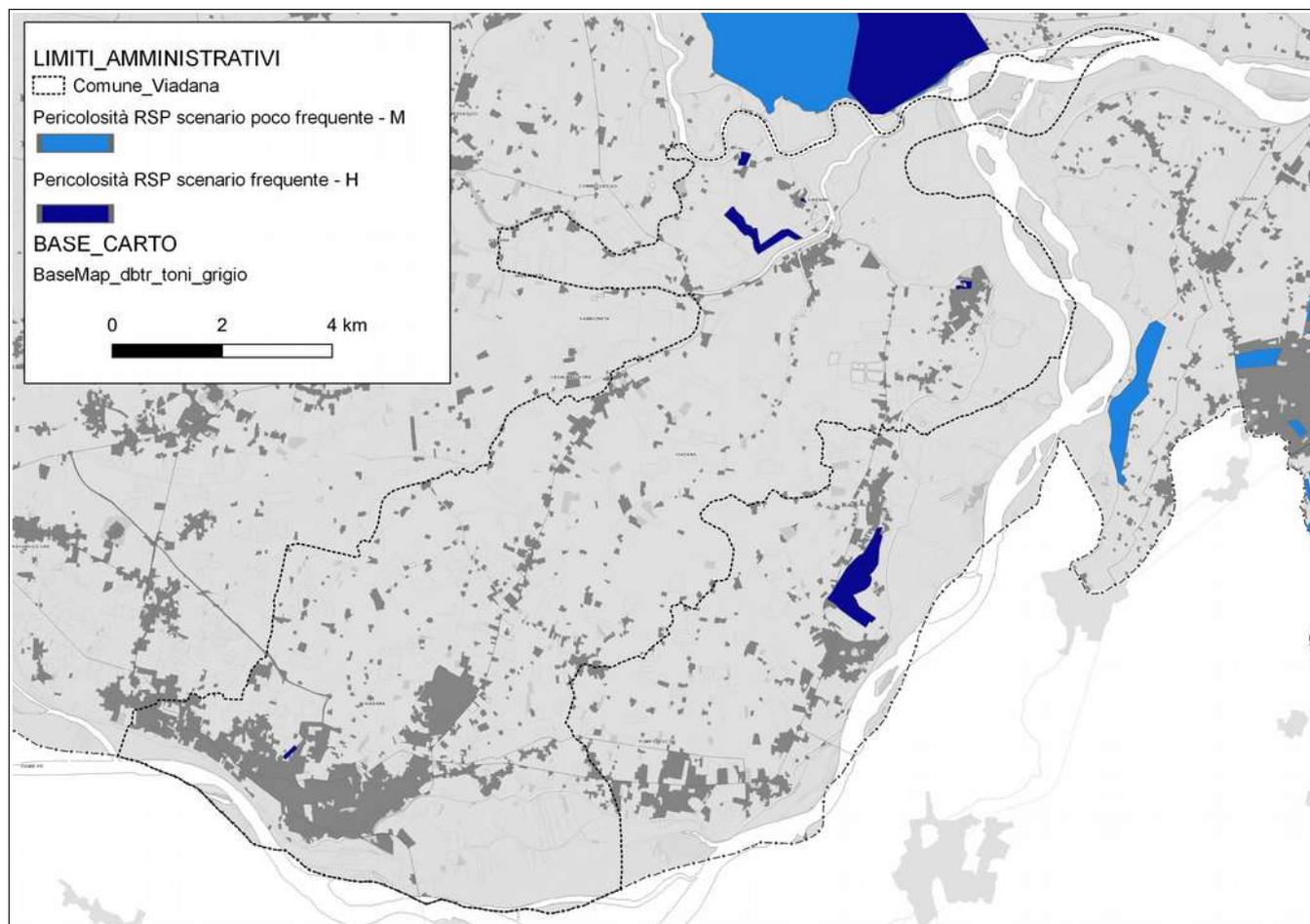


Fig. 3 - PGRA – Aree soggette a pericolosità idraulica RSP

Per quanto riguarda il reticolo principale, la perimetrazione delle aree allagabili è stata effettuata con riferimento agli scenari di bassa, media ed elevata probabilità di piena. Le fonti dati utilizzate derivano da:

- studi propedeutici al PAI (1996 AdBPo);
- fasce Fluviali (1994-2001);
- studi di fattibilità (2004 AdBPo) che hanno aggiornato in parte il precedente quadro conoscitivo;
- ulteriori approfondimenti effettuati da Regioni, Province, AIPO e altri Enti nell’ambito delle attività di adeguamento della pianificazione territoriale ed urbanistica alle disposizioni del PAI e per la progettazione delle opere idrauliche di difesa previste nei programmi di attuazione del PAI;
- in alcuni casi (Adda Sopralacuale, Arda, Stura di Lanzo, Secchia, ecc.) sono state condotte nuove analisi idrauliche per la delimitazione delle aree inondabili.

I valori delle portate di piena sono stati stimati mediante diverse metodologie: modelli idrologici afflussi-deflussi, regolarizzazioni statistiche delle serie storiche disponibili presso le stazioni di misura, metodi di regionalizzazione. Tali valori sono stati definiti nelle sezioni di chiusura dei bacini di monte e di valle del

corso d'acqua ed in alcune sezioni intermedie, laddove presenti confluenze, stazioni di misura, centri abitati significativi.

I livelli di piena, per lo scenario di media probabilità, sono stati stimati mediante modelli idraulici monodimensionali di intera asta fluviale, solo localmente sono disponibili modellazioni bidimensionali. Solo negli studi più recenti i livelli di piena sono stati elaborati anche per gli scenari di scarsa ed elevata probabilità. Le modellazioni idrauliche sono implementate sulla scorta di sezioni trasversali del corso d'acqua, rilevate topograficamente generalmente prima del 2000 o nel triennio 2003-2005.

La delimitazione delle aree inondabili a partire dai livelli di piena stimati nelle modellazioni idrauliche è effettuata in modo continuo su tutte le aste fluviali mediante:

- la sola interpolazione su carte tecniche e ortofoto, dei punti estremi di allagamento sulle sezioni trasversali;
- l'utilizzo congiunto della mappa di soggiacenza elaborata tramite l'intersezione GIS fra il DEM liquido (superficie interpolante i livelli di piena alle diverse sezioni) e il DTM realizzato con tecnica laser scanner e con passo pari a circa 1 m.

Si è tenuto conto inoltre degli effetti dei principali eventi alluvionali del recente passato, per i quali sono disponibili le mappe delle aree allagate e la stima dei valori di piena. La delimitazione delle aree allagabili per l'evento di scarsa probabilità, rappresenta l'involuppo di diversi scenari di allagamento riconducibili sia a fenomeni estremi, sia a pericolosità idraulica residuale conseguente a rotture arginali e tiene conto inoltre degli allagamenti storici.

Direttiva Alluvioni		Pericolosità	Tempo di ritorno individuato per ciascun ambito territoriale (anni)				
Scenario	TR (anni)		RP	RSCM (legenda PAI)	RSP	ACL	ACM
Elevata probabilità di alluvioni (H = high)	20-50 (frequente)	P3 elevata	10-20	Ee, Ca RME per conoide ed esondazione	Fino a 50 anni	15 anni	10 anni
Media probabilità di alluvioni (M = medium)	100-200 (poco frequente)	P2 media	100-200	Eb, Cp	50-200 anni	100 anni	100 anni
Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (L = low)	Maggiore di 500 anni, o massimo storico registrato (raro)	P1 bassa	500	Em, Cn		Massimo storico registrato	>> 100 anni

Fig. 4 - Indicazione dei tempi di ritorno degli scenari utilizzati per l'individuazione della pericolosità

Nel caso dei fiumi arginati, il limite delle aree inondabili per lo scenario di piena di media probabilità (che generalmente coincide con lo scenario di piena utilizzato per il dimensionamento degli argini), è sempre posto in corrispondenza del tracciato dei rilevati arginali. La valutazione specifica del grado di efficacia

ed efficienza di tali rilevati arginali (adeguatezza in quota e in sagoma, funzionalità di chiaviche, opere accessorie e altri manufatti, stato manutentivo, ecc.) rientra in primo luogo fra le competenze del soggetto titolare o custode dell'opera, autorità idraulica competente ai sensi del RD 523/1904. Degli esiti di tali valutazioni specifiche e, nel caso di inadeguatezza, delle conseguenti perimetrazioni delle aree inondabili a tergo delle arginature medesime, se ne terrà conto nell'ambito delle attività di aggiornamento delle mappe di pericolosità di cui ai successivi cicli sessennali di revisione del Piano. Nella tabella in fig. 4 sono riportati i tempi di ritorno relativi agli scenari di scarsa, media e elevata probabilità di alluvioni per le diverse tipologie di reticolo.

La perimetrazione delle aree soggette a pericolosità idraulica relative al reticolo principale per il comune di Viadana è riportata in Fig. 5,

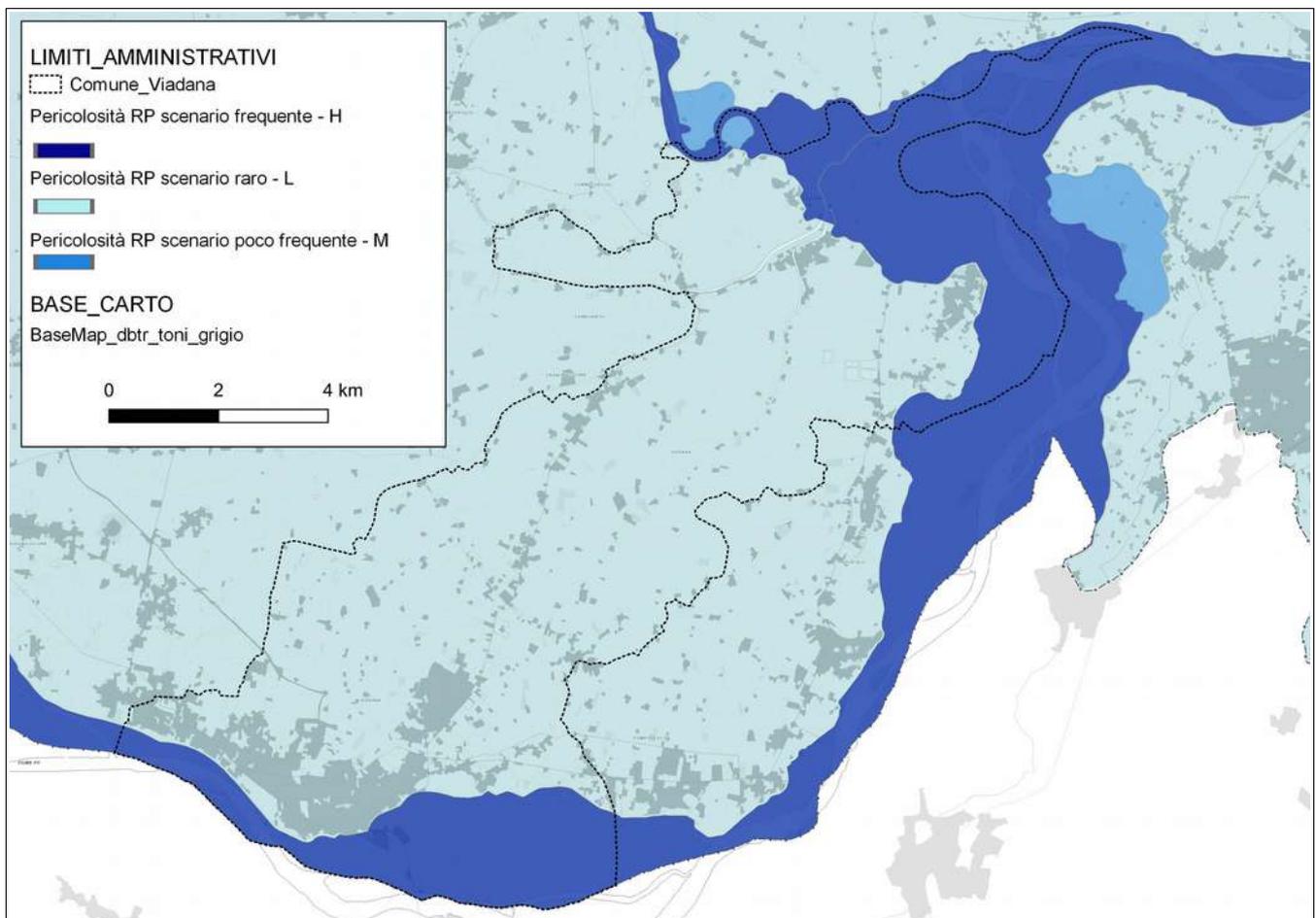


Fig. 5 - PGRA – Aree soggette a pericolosità idraulica RP

Le mappe del rischio sono il risultato finale dell'incrocio fra le mappe delle aree allagabili per i diversi scenari di pericolosità esaminati e gli elementi esposti censiti raggruppati in classi di danno potenziale omogenee. I dati sugli elementi esposti provengono principalmente dalle carte di uso del suolo regionali e il dettaglio delle informazioni raccolte è adeguato ad una rappresentazione cartografica ad una scala compresa tra 1:10.000 e 1:25.000. Le mappe rappresentano una sintesi delle informazioni derivate dalle banche dati regionali, che tuttavia sono risultate significativamente eterogenee fra loro, principalmente per asincronia del momento di rilevamenti dei dati, ma anche per il diverso livello di dettaglio con il quale i dati sono stati rilevati.

Per la determinazione della classe di rischio, si è proceduto dapprima all'assegnazione del danno atteso, in mancanza di specifiche curve del danno correlate alla tipologia, magnitudo e frequenza dell'evento considerato e al comportamento delle strutture e agli usi delle stesse, la vulnerabilità è stata assunta in modo semplificato assegnando, a vantaggio di sicurezza, un valore costante uguale ad 1 a tutti gli elementi esposti considerati.

Anche la stima del danno è stata condotta in modo qualitativo e sulla base di un giudizio esperto, attribuendo un peso crescente da 1 a 4 a seconda dell'importanza della classe d'uso del suolo.

Sono stati assegnati i pesi maggiori alle classi residenziali che comportano una presenza antropica costante e pesi decrescenti alle diverse tipologie di attività produttive, privilegiando le attività maggiormente concentrate (attività industriali), rispetto alle attività estensive (attività agricole).

Si riportano qui di seguito, vedi Fig. 6, le attribuzioni della classe di danno ai diversi elementi poligonali censiti.

CLASSE D4		CLASSE D3		CLASSE D2		CLASSE D1	
1111	Tessuto residenziale denso	133	Cantieri	211	Seminativi	134	Aree degradate non utilizzate e non vegetate
1112	Tessuto residenziale continuo mediamente denso	12124	Cimiteri	1411	Parchi e giardini	231	Prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive
1121	Tessuto residenziale discontinuo	132	Discariche	221	Vigneti	311	Boschi di latifoglie
1122	Tessuto residenziale rado e nucleiforme	131	Cave	222	Frutteti e frutti minori	312	Boschi conifere
1123	Tessuto residenziale sparso	2113	Colture orticole	223	Oliveti	313	Boschi misti
11231	Cascine	2114	Colture fiore-vivaistiche	3114	Castagneti da frutto	314	Rimboschimenti recenti
1424	Aree archeologiche	2115	Orti familiari	213	Risaie	331	Spagge, dune ed alvei ghiaiosi
12122	Impianti di servizi pubblici e privati			2313	Marcite	321	Praterie naturali d'alta quota
12111	Insedimenti industriali, artigianali, commerciali			1412	Aree verdi incolte	322 - 324	Cespuglieti
12112	Insedimenti produttivi agricoli			2241	Pioppeti	332	Accumuli detritici e affioramenti litoidi privi di vegetazione
12121	Insedimenti ospedalieri			2242	Altre legnose agrarie	333	Vegetazione rada
12123	Impianti tecnologici					411	Vegetazione delle aree umide interne e delle torbiere
1222	Reti ferroviarie e spazi accessori					3113	Formazioni ripariali
123	Aree portuali					3222	Vegetazione dei greti
12125	Aree militari oblitee					3223	Vegetazione degli argini sopraelevati
124	Aeroporti ed eliporti					511	Alvei fluviali e corsi d'acqua artificiali
1421	Impianti sportivi					5121	Bacini idrici naturali
1423	Parchi divertimento					5123	Bacini idrici da attività estrattive interessanti la falda
1422	Campeggi e strutture turistiche e ricettive					5122	Bacini idrici artificiali
						335	Ghiacciai e nevi perenni

Reti stradali	
D4	Reti primarie: autostrade, strade statali/regionali, strade provinciali
D3	Reti secondarie: strade comunali

Fig. 6 - Indicazione delle classi di danno assegnate in funzione delle classi di uso del suolo

La determinazione del rischio è ottenuta dalla combinazione dei parametri vulnerabilità, danno e pericolosità, condotta attraverso una matrice con 4 righe e 3 colonne, ovvero 4 righe e 2 colonne.

Nelle righe sono riportati i parametri danno-vulnerabilità e nelle colonne i livelli di pericolosità associabili agli eventi ad elevata, media e bassa probabilità di accadimento.

L'implementazione di tale matrice ha consentito l'attribuzione di ogni elemento esposto ad una delle classi di rischio previste nei dispositivi nazionali.

Per distinguere l'impatto assai diverso in termini di pericolo per la vita umana e danno per le attività antropiche, in relazione alla diversa intensità e modalità di evoluzione dei processi di inondazione negli ambiti territoriali considerati, si è sono utilizzare tre diverse matrici, vedi Fig. 7.

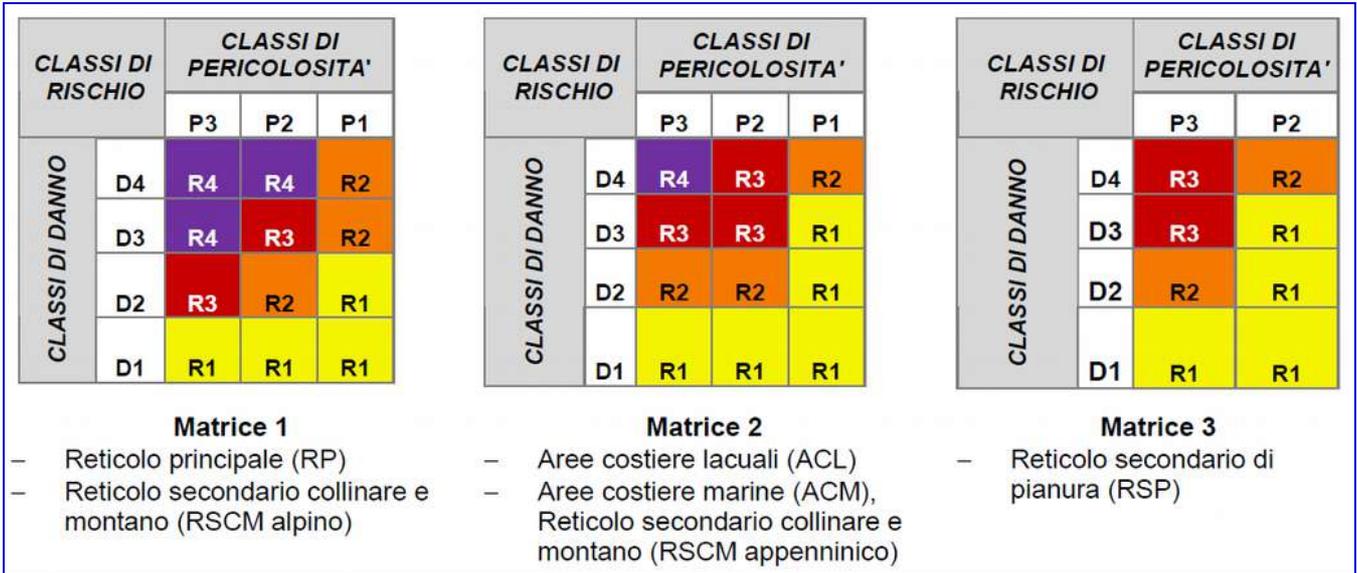


Fig. 7 - Matrici utilizzate per la determinazione del rischio in funzione di pericolosità e danno

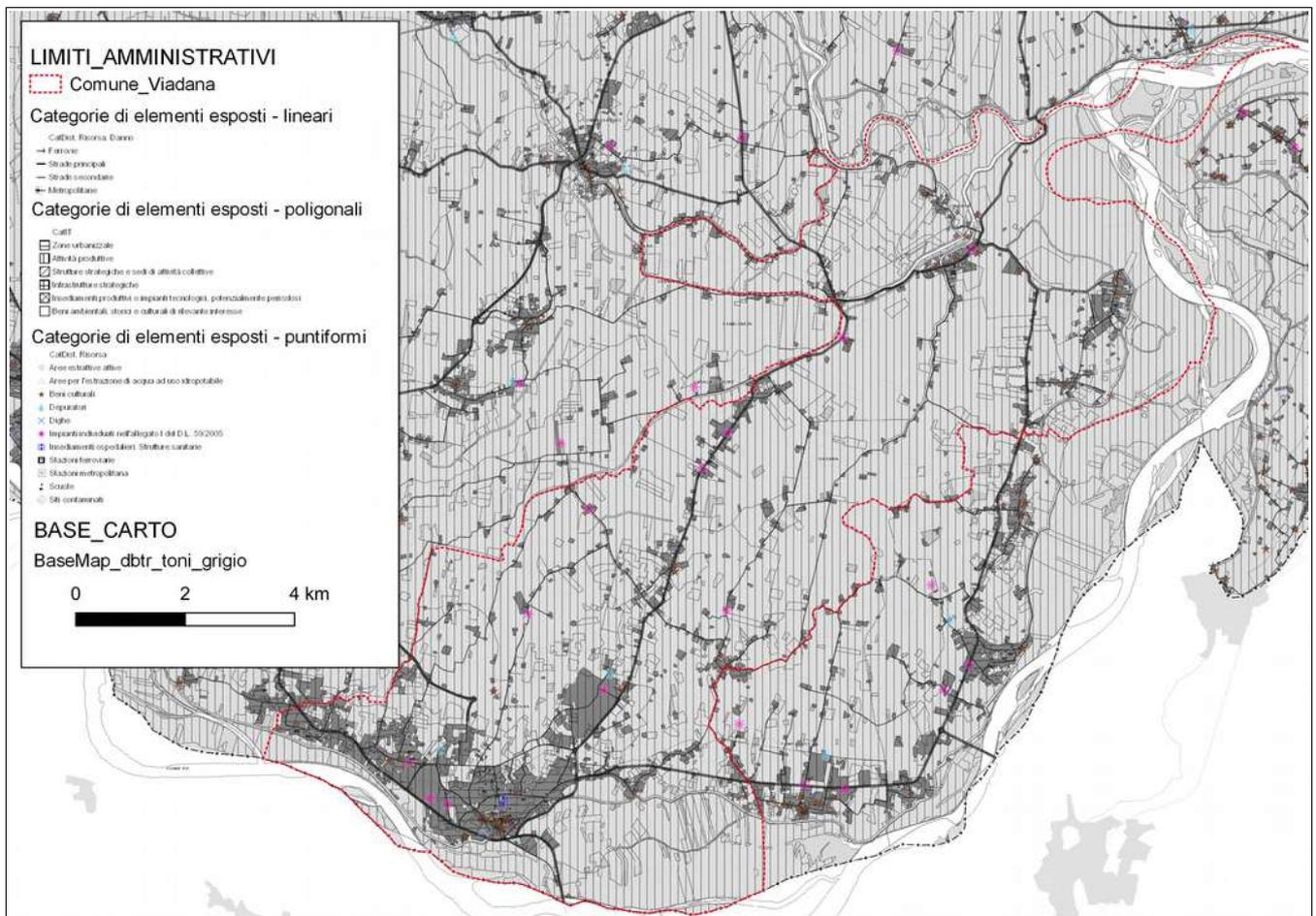


Fig. 8 - PGRA – Elementi esposti (puntuali, lineari e areali)

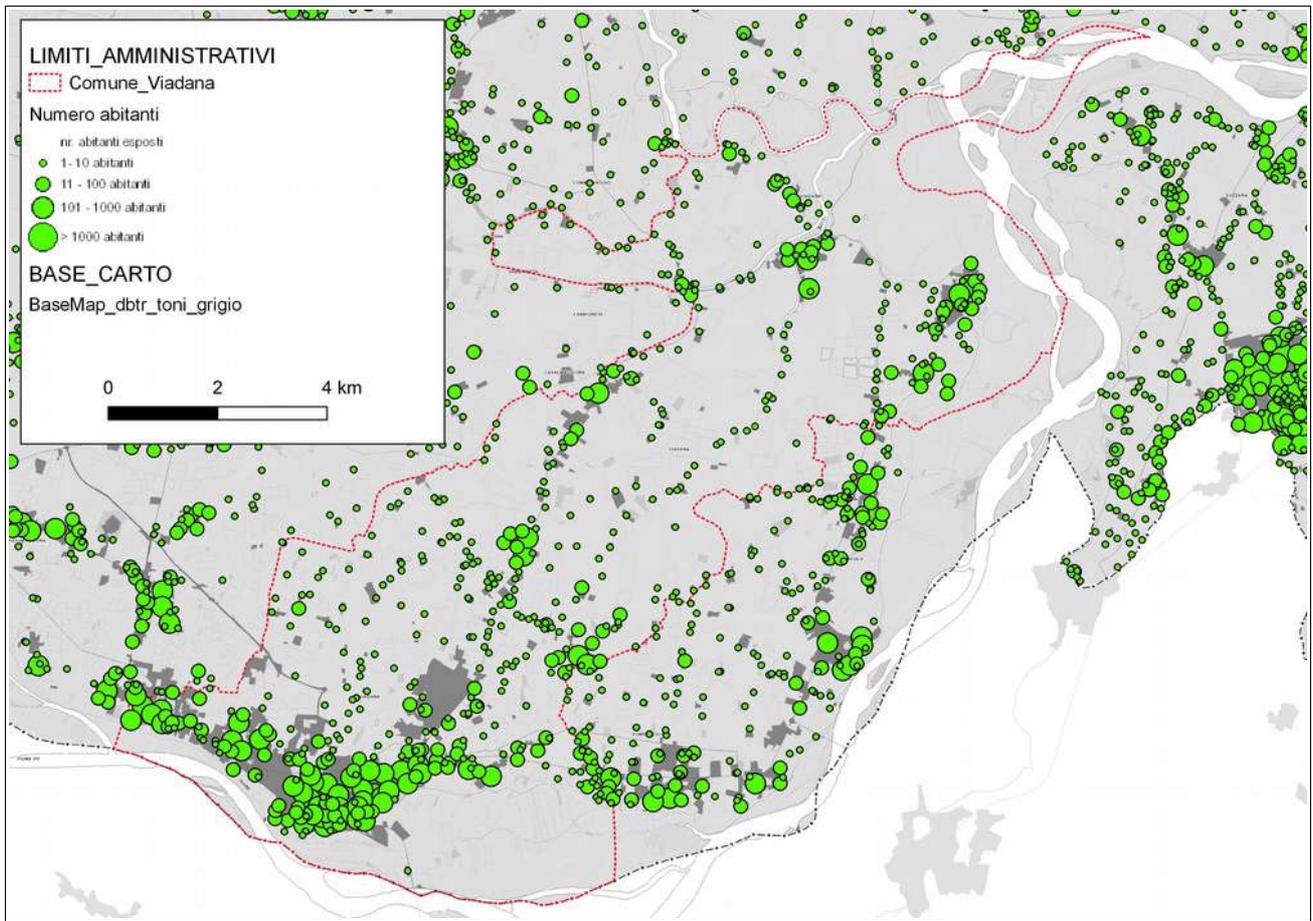


Fig. 9 - PGRA – Numero degli abitanti presenti nelle aree a rischio

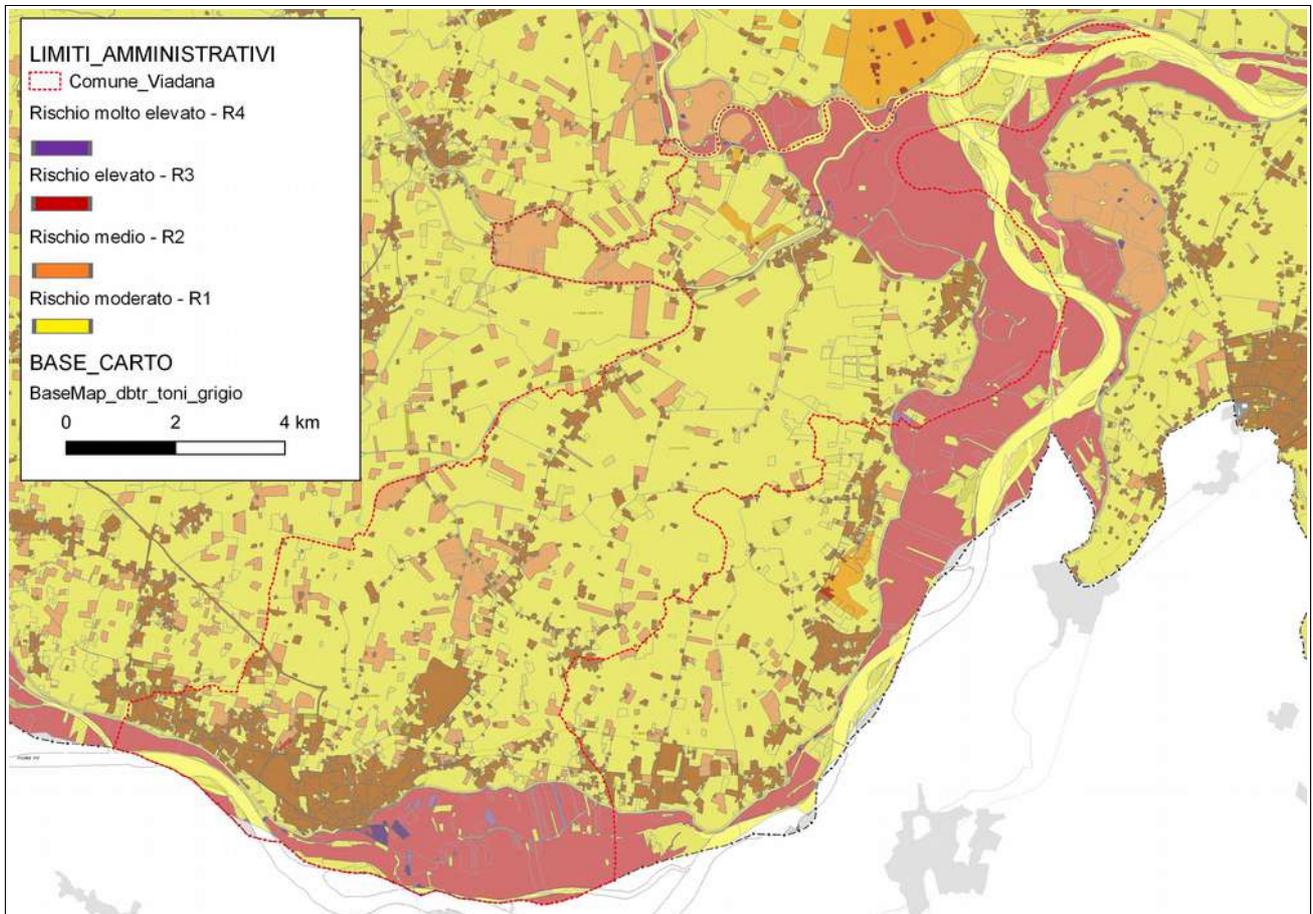


Fig. 10 - PGRA – Aree soggette a rischio idraulico R1, R2, R3 e R4

Nella cartografie del rischio del PGRA sono riportati:

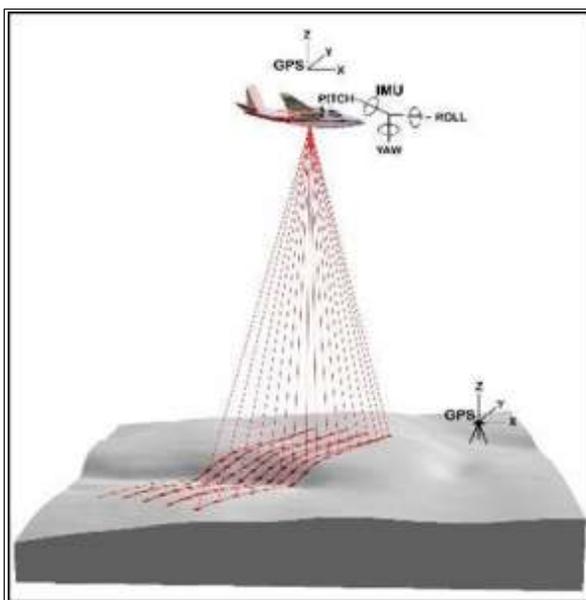
- elementi esposti (puntuali, lineari e areali) divisi nelle diverse categorie, vedi Fig. 8;
- numero degli abitanti presenti nelle aree a rischio, vedi Fig. 9;
- aree soggette a rischio idraulico molto elevato (R4), elevato (R3), medio (R2) e moderato (R1), vedi Fig. 10.

## 2.2 DATI TOPOGRAFICI

Per poter predisporre uno studio idraulico del territorio comunale è necessario disporre di una conoscenza dettagliata della topografia del territorio. Per questo motivo sono state raccolte dapprima tutte le informazioni cartografiche disponibili con riferimento al territorio indagato che consistono in cartografie in scala 1:25.000 dell'Istituto Geografico Militare (IGM), vedi Fig. 11, e della Cartografia Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:5.000, vedi Fig. 12, unitamente al Data Base Territoriale (DBT) che contiene tutti gli strati informativi relativi alla CTR. Successivamente sono stati acquisiti dietro formale richiesta, presso la Regione Lombardia, tutti i modelli digitali del terreno rilevati con tecnica lidar per la zona di competenza.

Nell'ambito del presente studio è stato fatto ricorso al modello digitale del terreno con risoluzione 1 m reperito presso il Ministero della Transizione Ecologica (M.I.T.E.) e acquisito con tecnica Lidar.

Il LIDAR è un sensore Laser, che rileva la distanza relativa tra il target e il sensore, in abbinamento con una piattaforma IMU (GPS+INS) che permette la georeferenziazione 3D dei suddetti punti.



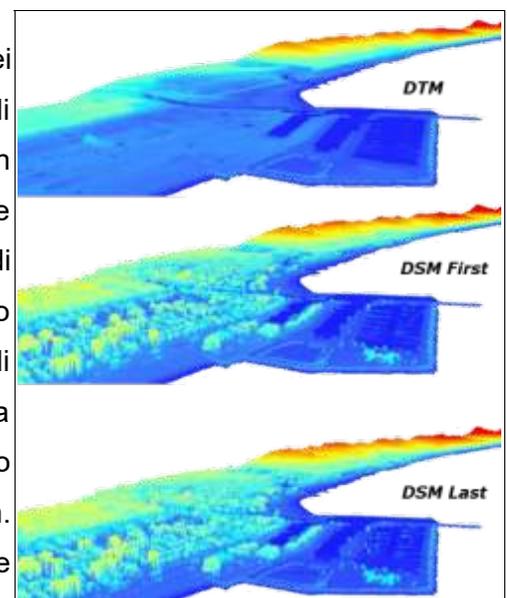
Scansionando la superficie, viene creata una nuvola di punti che discriminano i punti relativi al terreno (DTM) e quelli relativi agli "oggetti" presenti sul terreno (DSM).

Misurando la coltre vegetativa, penetrando fino al suolo, si ottengono informazioni sul terreno e sulle quote, con un'accuratezza centimetrica.

I prodotti ottenuti dai rilievi LIDAR forniscono le informazioni fondamentali per rappresentare puntualmente la morfologia delle aree di pericolosità idrogeologica.

Costituiscono quindi un supporto basilare per le attività di modellazione idraulica, per la perimetrazione delle aree di potenziale

esondazione dei principali corsi d'acqua, e per la modellazione idrologica e di individuazione delle aree maggiormente esposte a pericolo in caso di eventi alluvionali. Inoltre, i modelli possono essere utilizzati anche in campo forestale, viario e nella progettazione di massima di opere pubbliche, ecc.. La densità dei punti del rilievo è superiore a 1,5 punti per mq, se ne deduce che l'applicazione di detti rilievi per la difesa del suolo è molteplice. Il DTM presenta un'accuratezza altimetrica corrispondente a +/- 1s (scarto quadratico medio), corrispondendo ad un errore inferiore  $\pm 15$  cm. Mentre l'accuratezza planimetrica è di (2s) cioè l'errore deve



essere contenuto entro  $\pm 30$  cm.

Nell'ambito del presente studio è stato acquisito il modello digitale del terreno (DTM) per aree oggetto di interesse e di seguito sono rappresentati i DTM dei diversi tratti studiati.

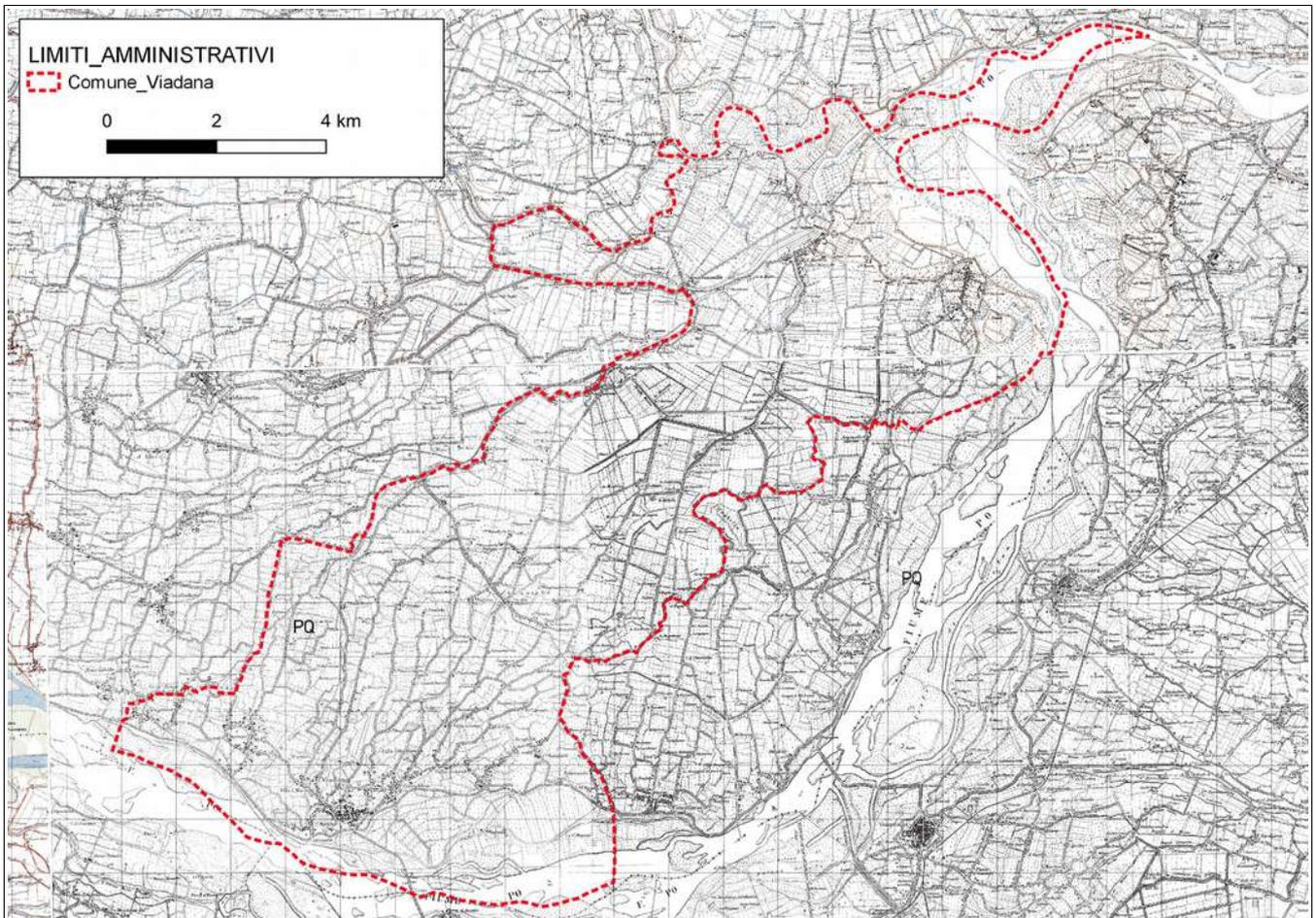


Fig. 11 - Cartografia IGM

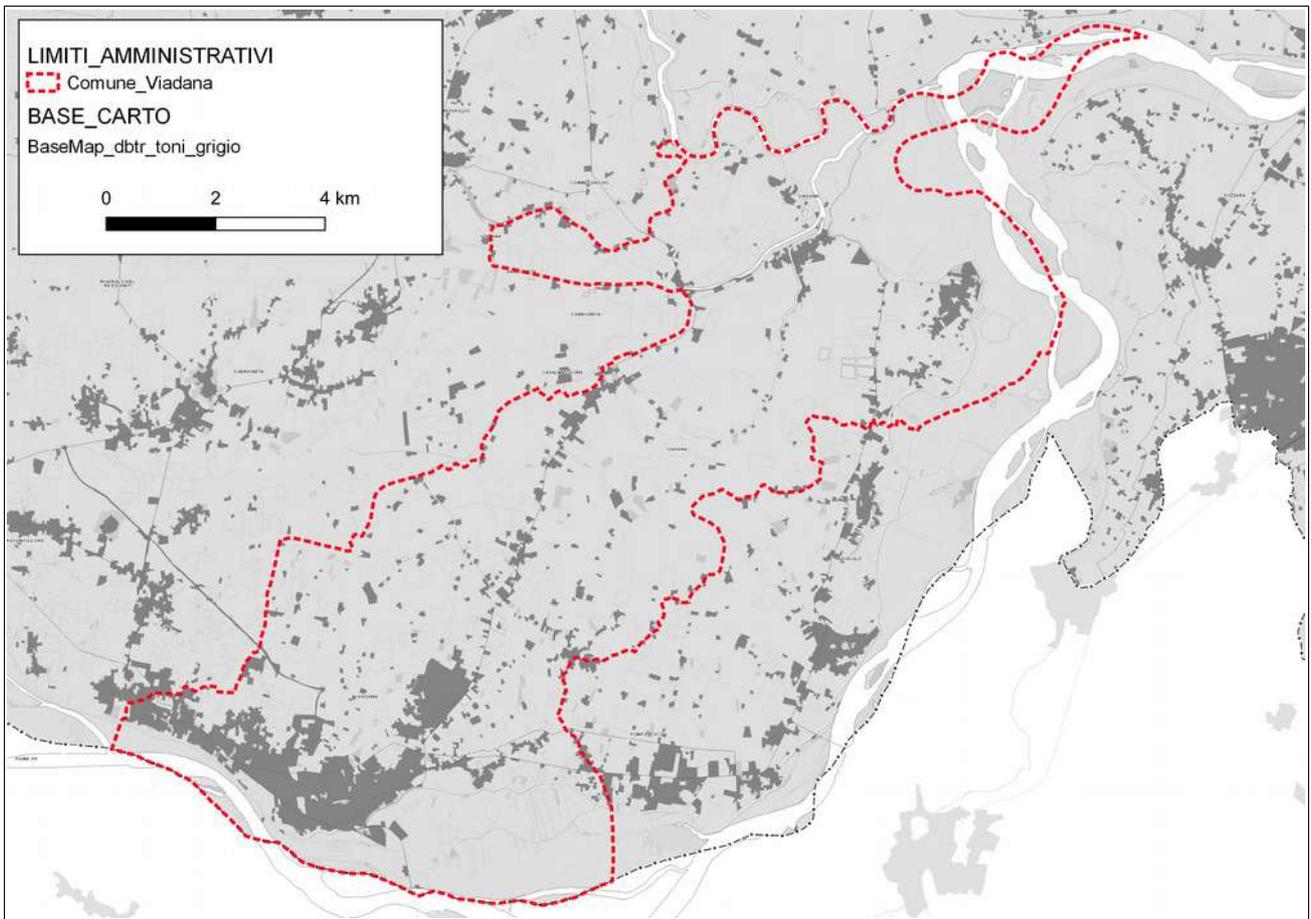


Fig. 12 - Cartografia Tecnica Regionale

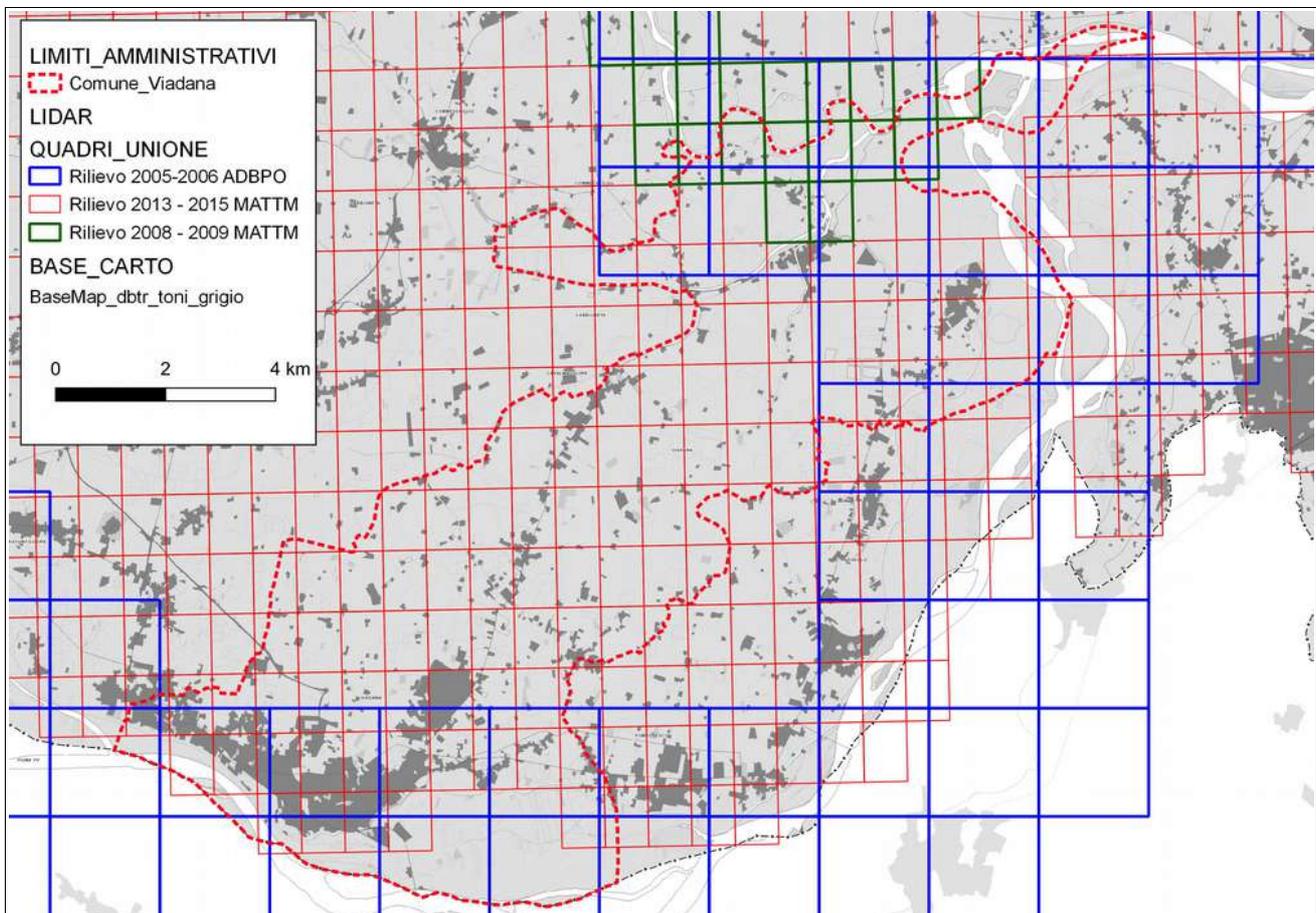


Fig. 13 - Copertura dati Lidar

## 2.3 ACQUISIZIONE DATI DA CONSORZIO DI BONIFICA E ENTE GESTORE

Come già in precedenza illustrato una serie di informazioni sul tracciato planimetrico del reticolo idrografico sono già contenute nel RIM ma, dovendo condurre una modellazione idraulica del territorio, sono necessarie informazioni di maggiore dettaglio che riguardano sia il funzionamento generale della rete che la geometria e le dimensioni dei vari tronchi e dei manufatti presenti. Per questo motivo, tralasciando il reticolo principale che non è oggetto di analisi nel presente incarico, sono state richieste informazioni sulla rete di competenza al Consorzio di Bonifica Navarolo Agro Cremonese Mantovano ed alla Società AqA – Gruppo Tea che in qualità di soggetto gestore del ciclo integrato delle acque gestisce anche le reti di collettamento delle acque nere e delle acque bianche nel comune di Viadana. Sia al Consorzio di Bonifica Navarolo Agro Cremonese Mantovano ed alla Società AqA – Gruppo Tea sono state fatte diverse mail di richiesta, sia direttamente che tramite l'Amministrazione Comunale, a seguito di queste richieste il Consorzio di Bonifica si è attivato per fornire i dati richiesti, che sono stati inviati a più riprese sempre tramite email, mentre la Società TEA Acque non ha mai risposto ufficialmente, solo AIMAG per il comune di Borgo Mantovano ha fornito i dati per la frazione Revere. Il Consorzio di Bonifica oltre agli strati informativi dei canali e dei manufatti ha messo a disposizione anche lo “Studio idrologico - idraulico preliminare” redatto nell'ambito dell'“Adeguamento funzionale finalizzato al ripristino della sicurezza idraulica dell'impianto di San Matteo delle Chiaviche” oltre a dare la propria disponibilità alla consultazione presso la propria sede dell'archivio dei progetti dei canali di bonifica.

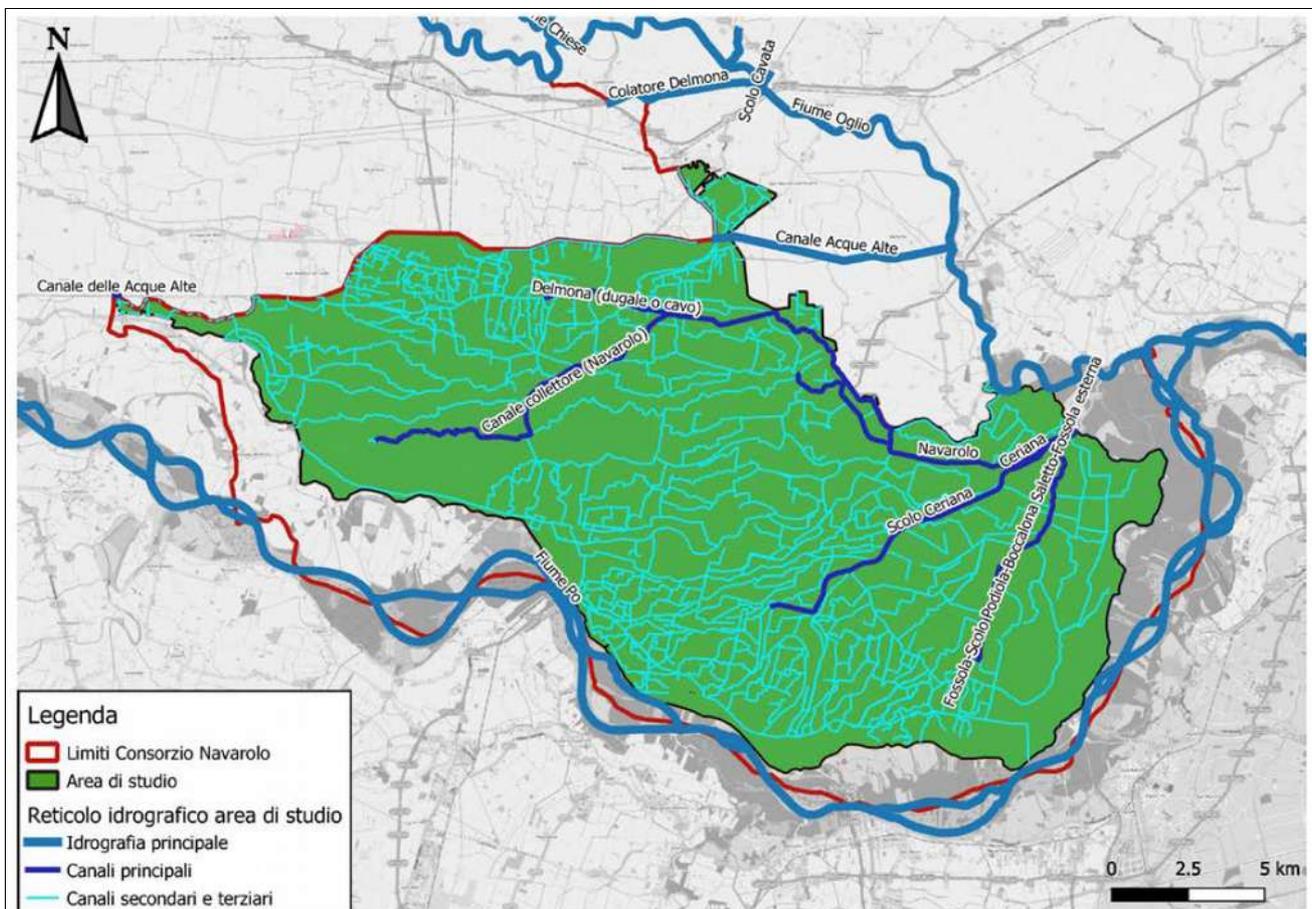


Fig. 14 - Rete canali e manufatti gestiti dal Consorzio di Bonifica Navarolo Agro Cremonese Mantovano

Per quanto riguarda la rete gestita dal Consorzio di Bonifica Navarolo Agro Cremonese Mantovano essa è caratterizzata dalla presenza di alcuni canali con funzioni esclusive di bonifica o di irrigazione ma la maggior parte dei canali ha una funzione promiscua, cioè può essere utilizzato secondo i periodi dell'anno e secondo le circostanze o per distribuire l'acqua d'irrigazione agli agricoltori nei periodi irrigui o per drenare il comprensorio di bonifica, mantenere basse le falde e raccogliere e smaltire le acque di pioggia in periodo non irriguo. Per questo motivo lungo la rete di bonifica sono presenti una serie di manufatti di regolazione che consentono una gestione promiscua della stessa rete a secondo delle circostanze. Si tratta per lo più di manufatti idraulici costituiti da paratoie piane che chiusi o parzialmente aperti consentono di innalzare i livelli idrici nel reticolo di monte per facilitare l'irrigazione dei campi. Nei periodi più piovosi questi manufatti vengono lasciati aperti per facilitare il drenaggio dei deflussi mantenendo basso il livello idrico nei canali.

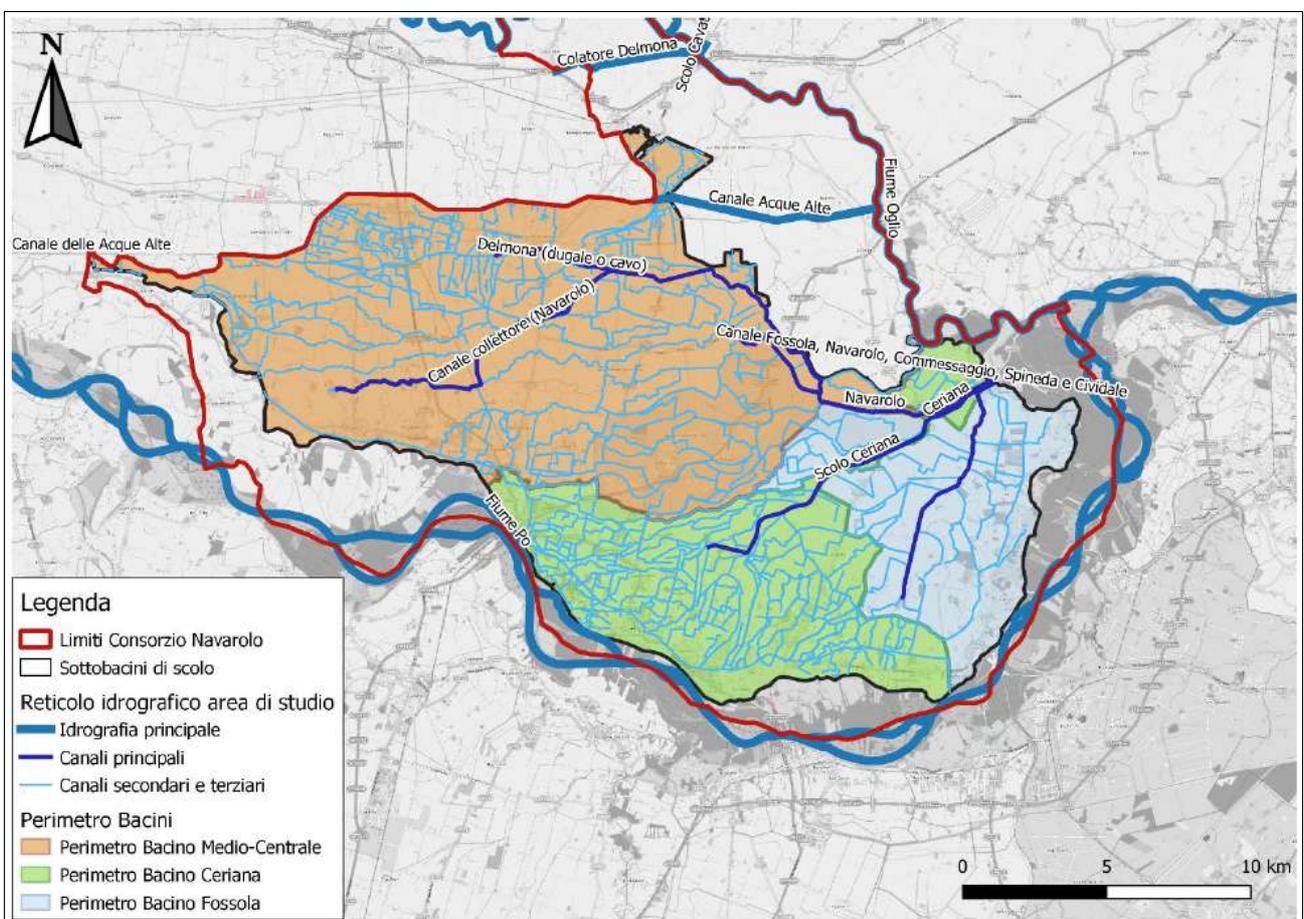


Fig. 15 - Bacini di scolo della rete consortile - Bacino Viadanese Casalasco ripartizione nei 3 sottobacini

Allo stesso modo questi manufatti vengono aperti con modalità predeterminate, quando durante il periodo irriguo si dovessero verificare abbondanti piogge. Al momento la maggior parte della rete è sprovvista di sensori di livello e di automatismi per l'apertura e la chiusura dei manufatti presenti lungo la rete per cui la gestione degli stessi manufatti è fatta normalmente anche durante gli eventi piovosi con tutte le problematiche che possono derivare da tale gestione. Nello specifico, il Consorzio di Bonifica nel quale ricade il territorio comunale di Viadana è drenato da una fitta rete di canali demaniali, vedi Fig. 14, gestiti dal Consorzio di Bonifica che fanno capo ai Canali Delmona, Ceriana, Fossola e Navarolo che

costituiscono i collettori principali che pervengono agli impianti idrovori di San Matteo delle Chiaviche. Questi impianti idrovori sono situati nel comune di Viadana e gestiti dallo stesso Consorzio di Bonifica con le modalità di seguito specificate. Il comprensorio di bonifica è poi suddiviso in una serie di bacini di scolo ognuno dei quali è drenato da appositi canali, vedi Fig. 15.

Gli impianti idrovori in generale sono costituiti da più serie di pompe che servono separatamente i diversi canali ed anche i livelli che determinano il funzionamento dei vari gruppi di pompe sono diversi, in funzione della necessità di mantenere livelli diversi nei vari canali che pervengono all'impianto idrovoro, vedi Fig. 16.

L'impianto idrovoro scarica nel fiume Oglio e quando il livello del corpo ricettore è basso vengono aperte le paratoie che consentono lo scolo naturale delle acque dei canali che pervengono all'impianto idrovoro senza sollevamento.

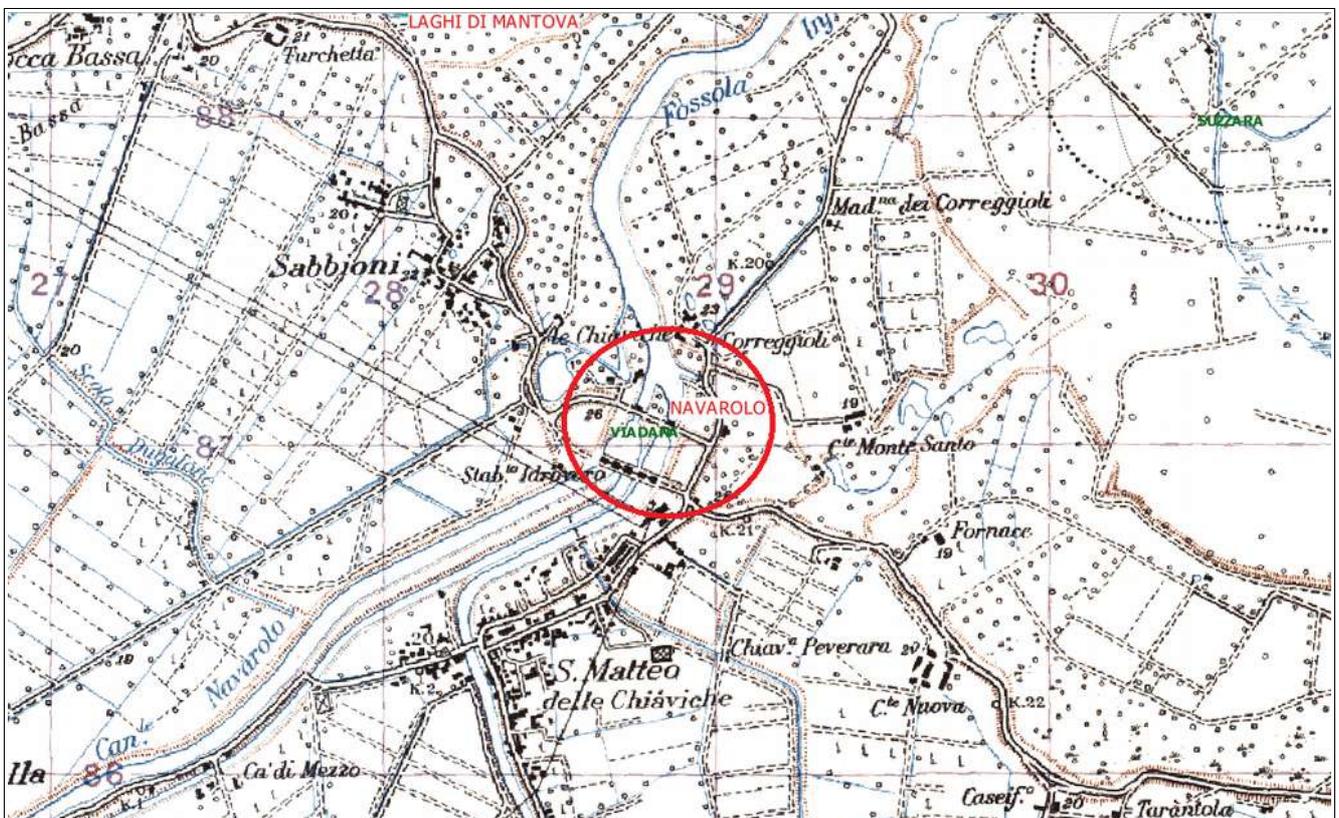


Fig. 16 - Impianto Idrovoro di San Matteo delle Chiaviche gestito dal Consorzio di Bonifica Navarolo Agro Cremonese Mantovano – posizione su cartografia IGM

Il comprensorio di bonifica del Navarolo in cui ricade il territorio comunale di Viadana, denominato Bacino Viadanese Casalasco, è drenato dai canali Navarolo, Ceriana e Fossola che hanno funzionamenti idraulici diversi dovendo servire sottobacini posti a quote diverse, vedi Fig. 17

Il Bacino Viadanese Casalasco è formato dalle campagne a sud del Bacino Medio-Centrale fino allo sbocco dell'Oglio in Po, su una superficie di 13.750 ettari. Anche per questo bacino è stato adottato il principio della ripartizione delle acque (medie e basse) e tutta la rete è stata costruita pressoché nuova. Le acque sparse, raccolte nei canali secondari vengono convogliate mediante due principali emissari, il

Canale Ceriana e il Canale Fossola, a San Matteo delle Chiaviche dove, assieme al Navarolo, confluiscono all'impianto idrovoro.

NOME SOTTOBACINO	Sup Tot (ha)	Quota min (m s.l.m.m.)	Quota max (m s.l.m.m.)	Pendenza media (%)
Scolo Medio Centrale	17835	16,67	36,18	2,88
Scolo Fossola	5682	17,54	30,18	0,45
Scolo Ceriana	8144	17,57	32,33	0,78

Fig. 17 Principali caratteristiche dei 3 sottobacini che costituiscono il Bacino Viadanese Casalasco

L'impianto idrovoro di San Matteo delle Chiaviche provvede allo scolo di un bacino idraulico di circa 32.000 ettari, pompando nel fiume Oglio le acque affluenti dai canali Navarolo, Ceriana e Fossola, con una portata complessiva di circa 53.000 litri al secondo per una prevalenza massima di 8 metri.

Viene costruito tra il 1920 ed il 1939 su una platea di 182 metri di lunghezza per 35 metri di larghezza, una vera e propria diga dall'aspetto unitario, in realtà composta da nove corpi di fabbrica con tre impianti idrovori e due cabine elettriche che si riconoscono per le finestrate a nastro. Poco vicino sorgono i due edifici della centrale termoelettrica. Esso rappresenta il punto estremo di raccolta delle acque di scolo del Bacino Terreni Medi-Centrali, tributari del canale Navarolo, e del Bacino Terreni Viadanesi-Casalaschi, tributario di canali Ceriana e Fossola.

Il funzionamento dell'impianto idrovoro dipende dal dislivello tra il livello del fiume Oglio e quello dei canali. Se esso risulta positivo, le idrovore dell'impianto sollevano le acque dei canali per una prevalenza compresa tra 7 ed 8 metri, dalla quota di 18,60 m s.l.m. alla quota di 25,60 m s.l.m.; se al contrario esso risulta negativo, l'evacuazione è a gravità attraverso gli scarichi liberi regolati dalle paratoie.

Allo stato attuale l'impianto idrovoro di San Matteo delle Chiaviche presenta una capacità totale di sollevamento di 52.7 m<sup>3</sup>/s ripartiti come segue:

- 4 gruppi di sollevamento ad uso del canale Navarolo, la cui portata è per coppie di gruppi pari a 8,00 m<sup>3</sup>/s e 3.80 m<sup>3</sup>/s, per un totale di 23.6 m<sup>3</sup>/s;
- 4 gruppi di sollevamento ad uso del canale Ceriana, la cui portata varia tra 2.05 m<sup>3</sup>/s e 6.0 m<sup>3</sup>/s per un totale di 18.25 m<sup>3</sup>/s;
- 3 gruppi di sollevamento ad uso del canale Fossola, la cui portata varia tra 2.05 m<sup>3</sup>/s e 4.50 m<sup>3</sup>/s per un totale di 10.85 m<sup>3</sup>/s.

Di recente è stato redatto un progetto preliminare per il potenziamento dell'impianto Idrovoro di San Matteo delle Chiaviche che prevede che il numero di gruppi di pompe rimanga invariato per ciascuno dei tre bacini ma la capacità di sollevamento venga aumentata, in particolare la capacità totale dell'impianto prevista è pari a 73.7 m<sup>3</sup>/s con un incremento di circa il 40% rispetto alla situazione originaria.



*Fig. 18 Impianto Idrovoero di San Matteo delle Chiaviche gestito dal Consorzio di Bonifica Navarolo*

Da notare che del reticolo idraulico del Consorzio di Bonifica fanno parte anche alcuni canali che non sono di proprietà demaniale ma privata e che comunque hanno una funzione idraulica rilevante.

La rete di canali di Bonifica ha origine da una serie di sistemazioni idrauliche eseguite nel passato per consentire il drenaggio e l'irrigazione delle terre. L'assetto attuale del reticolo di bonifica deriva dalle ultime sistemazioni fatte nei primi decenni del ventesimo secolo, i progetti dei quali sono consultabili presso la sede dello stesso Consorzio di Bonifica. Da una consultazione speditiva di questi progetti e dalle verifiche fatte in campo, risulta però che lo stato attuale dell'assetto idraulico dei canali potrebbe essere diverso rispetto a quanto riportato nei progetti per effetto dell'antropizzazione del territorio, ed in particolare nella realizzazione di nuovi attraversamenti e per l'evoluzione naturale dei corsi d'acqua. La maggior parte dei canali di bonifica infatti non sono rivestiti, se non per brevi tratti in corrispondenza dei manufatti, per cui le loro sezioni sono soggette a fenomeni che interessano i corsi d'acqua naturali come l'escavazione delle sponde e del fondo o il deposito in funzione delle tendenze evolutive che si hanno nei diversi tratti. Il Consorzio di Bonifica si è dimostrato disponibile a condividere le informazioni sul reticolo di bonifica ma, alla luce di quanto sopra specificato, tali informazioni non possono essere considerate esaustive e sufficienti per condurre un'analisi del rischio idraulico di dettaglio del territorio comunale. Per questo motivo, come sarà meglio illustrato nel seguito, sono state condotte ulteriori fasi di

indagine al fine di meglio caratterizzare i corsi d'acqua che costituiscono il reticolo di bonifica.

Un'analoga raccolta di informazioni è stata condotta presso la società AqA srl del Gruppo Tea che rappresenta il gestore del ciclo integrato delle acque per il comune di Viadana.

Nonostante le reiterate richieste formali di dati fatte anche per il tramite dell'Amministrazione Comunale a TEA Acque, gestore del servizio integrato delle acque del comune di Porto Mantovano, al momento non è stata fornita dallo stesso gestore la modellazione della rete di collettamento di propria competenza all'interno del centro abitato del comune di Porto Mantovano. Nel corso di un incontro tenutosi presso la sede di TEA Acque, sita a Mantova, è stata comunque manifestata la volontà della società a fornire la propria collaborazione per le attività oggetto del presente incarico. Pertanto si è fatto riferimento alle informazioni fornite dalla società di gestione già riportate nel Documento Semplificato.

Da notare che la conoscenza del funzionamento della rete di collettamento delle acque bianche e nere esistente nei centri abitati riveste specifica importanza nell'ambito delle attività da svolgere solo con riferimento agli scenari di pioggia caratterizzati da tempi di ritorno di 10 anni essendo dimensionati rispetto a tempi di ritorno analoghi. In occasione del verificarsi degli scenari caratterizzati da tempi di ritorno di 50 e 100 anni, previsti dalla normativa vigente, la rete di collettamento è destinata ad andare completamente in crisi per cui a scopo cautelativo il suo contributo verrà trascurato nell'analisi del rischio idraulico che sarà condotta con riferimento a tempi di ritorno più alti (50 e 100 anni).

Per quanto riguarda l'analisi del rischio idraulico condotta con lo scenario di piogge riferito a un tempo di ritorno di 10 anni, il contributo della rete di collettamento verrà considerato sulla base delle informazioni che saranno rese disponibili dal soggetto gestore. A tale proposito occorre notare che, sulla base delle informazioni al momento raccolte, risulta che la rete di collettamento ha un funzionamento misto, nel senso che raccoglie le acque reflue, provenienti dalle abitazioni, locali commerciali e anche industriali, ma in occasione di eventi meteorici raccoglie e smaltisce le acque di pioggia. Per cui sono presenti lungo la rete una serie di sfioratori di piena che, come consentito dalla normativa vigente, scaricano il troppo pieno nel reticolo idrografico contribuendo ai deflussi di piena. In caso di assenza del modello idraulico della rete di collettamento sarà comunque opportuno ricevere dal gestore del Ciclo idrico integrato i dati geometrici e le portate di scarico in corrispondenza degli sfioratori con recapito nel reticolo idrico.

## **2.4 PREPARAZIONE DEM DETTAGLIO**

Sulla base delle informazioni topografiche di dettaglio raccolte che, come in precedenza specificato, consistono nei dati lidar con risoluzione a 1 e 2 m, negli elementi quotati presenti nel DBT e nel modello digitale del terreno con risoluzione a 5 m della Regione Lombardia, si è passati quindi alla preparazione del modello digitale del terreno (DEM) di dettaglio da utilizzare per le elaborazioni idrologiche ed idrauliche che saranno condotte nelle fasi successive.

Come in precedenza accennato, il dato lidar è certamente quello più adatto al tipo di modellazione idraulica che si intende eseguire, almeno tra quelli attualmente disponibili in forma omogenea su importanti porzioni del territorio. Considerando la sua risoluzione spaziale (di 1 o 2 m) e la grande precisione in quota (dell'ordine di pochi centimetri), il dato lidar permette di ricostruire fedelmente l'andamento reale del terreno e di condurre modellazioni idrauliche di dettaglio in grado di portare ad una corretta simulazione della propagazione dei deflussi sul piano campagna. Per questo motivo, ove disponibile, è stato utilizzato il dato lidar per ricostruire il DEM da utilizzare per le successive fasi di modellazione; solo nella porzione di territorio dove eventualmente il dato lidar non era disponibile si è fatto ricorso agli elementi quotati presenti nel DBT.

Considerate le caratteristiche del territorio, il dominio della modellazione idraulica sarà esteso all'intero comprensorio di bonifica del Consorzio di Bonifica Navarolo Agro Cremonese Mantovano, in questa zona il dato lidar disponibile in realtà proviene da 2 – 3 rilievi fatti in epoche diverse ed eseguiti anche con specifiche tecniche diverse. In particolare, lungo il corso del Fiume Po ed i suoi principali affluenti, nello specifico, il Fiume Mincio ed il Fiume Oglio, il rilievo lidar è stato eseguito dall'ex Autorità di bacino del Po negli anni 2005 - 2006, questo rilievo ha una risoluzione a terra di circa 2 m. Nel resto della piana il rilievo lidar è stato eseguito dall'ex Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), questo rilievo ha una risoluzione a terra di circa 1 m ed è stato realizzato in due diversi periodi: 2008 - 2009 e 2013 - 2015. Trattandosi di rilievi eseguiti in periodi diversi e probabilmente anche da soggetti diversi, si è reso necessario eseguire un controllo sui diversi rilievi nelle zone di sovrapposizione e/o di contatto al fine di minimizzare le problematiche dovute alla non perfetta coerenza planimetrica ed altimetrica dei dati rilevati dai diversi rilievi. Il modello digitale del terreno ricostruito sulla base dei dati lidar disponibili con risoluzione a 1 m, riportato in Fig. 19, ricopre la quasi totalità del territorio comunale di Viadana, solo per le zone marginali, poste in prossimità del Po e dell'Oglio si è fatto ricorso all'utilizzo del dato lidar con risoluzione a 2 m, vedi copertura riportata in Fig. 20, considerata la mancanza del dato di maggior dettaglio.

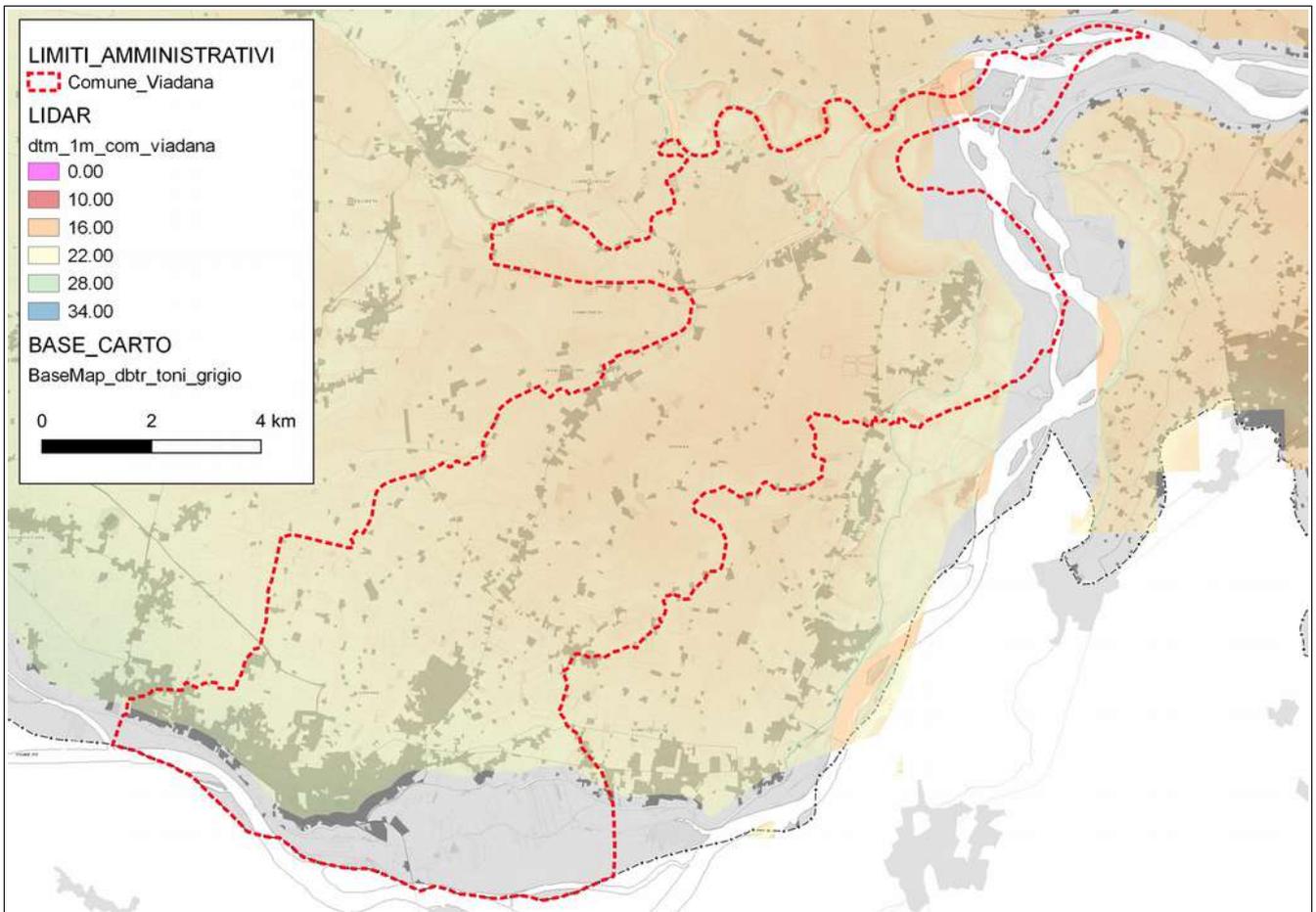


Fig. 19 - Comune di Viadana - DEM lidar con risoluzione 1 m

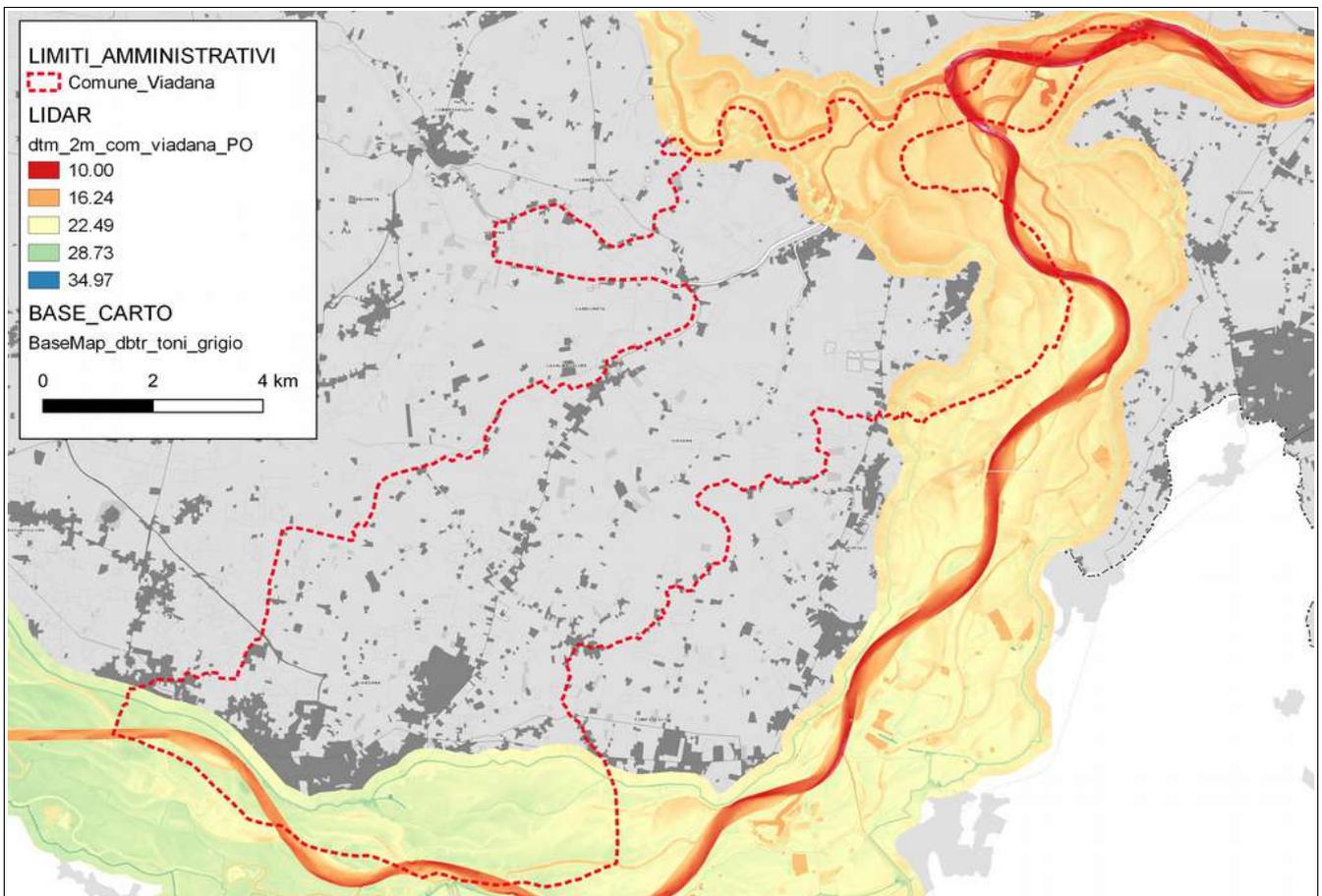


Fig. 20 - Comune di Viadana - DEM lidar con risoluzione 2 m

Per quelle zone di territorio non coperte dal dato lidar sarebbe stato comunque possibile ricostruire il modello digitale del terreno a partire dalle informazioni disponibili nel DBT regionale, in particolare utilizzando i seguenti strati informativi:

- breakline;
- punti quotati;
- reticolo idraulico;
- strade.

Ma considerando la buona copertura dei dati lidar per il territorio in esame, il modello digitale del terreno a partire dal DBT in questo caso non è stato ricostruito.

## 2.5 CENSIMENTO ATTRAVERSAMENTI E MANUFATTI

Come in precedenza accennato è stata condotta un'analisi a tappeto del territorio comunale al fine di individuare tutti gli attraversamenti e i manufatti presenti lungo il reticolo idraulico. Questa analisi è stata condotta dapprima sulla base delle informazioni territoriali disponibili, consultando quindi in particolare ortofoto e CTR, in modo da costituire uno strato informativo vettoriale, in forma di shapefile, degli attraversamenti. Questi attraversamenti sono stati codificati e a ogni attraversamento è stata associata, ove disponibile, l'informazione sul nome del canale, derivante dal RIM e/o dal reticolo fornito dal Consorzio di Bonifica.

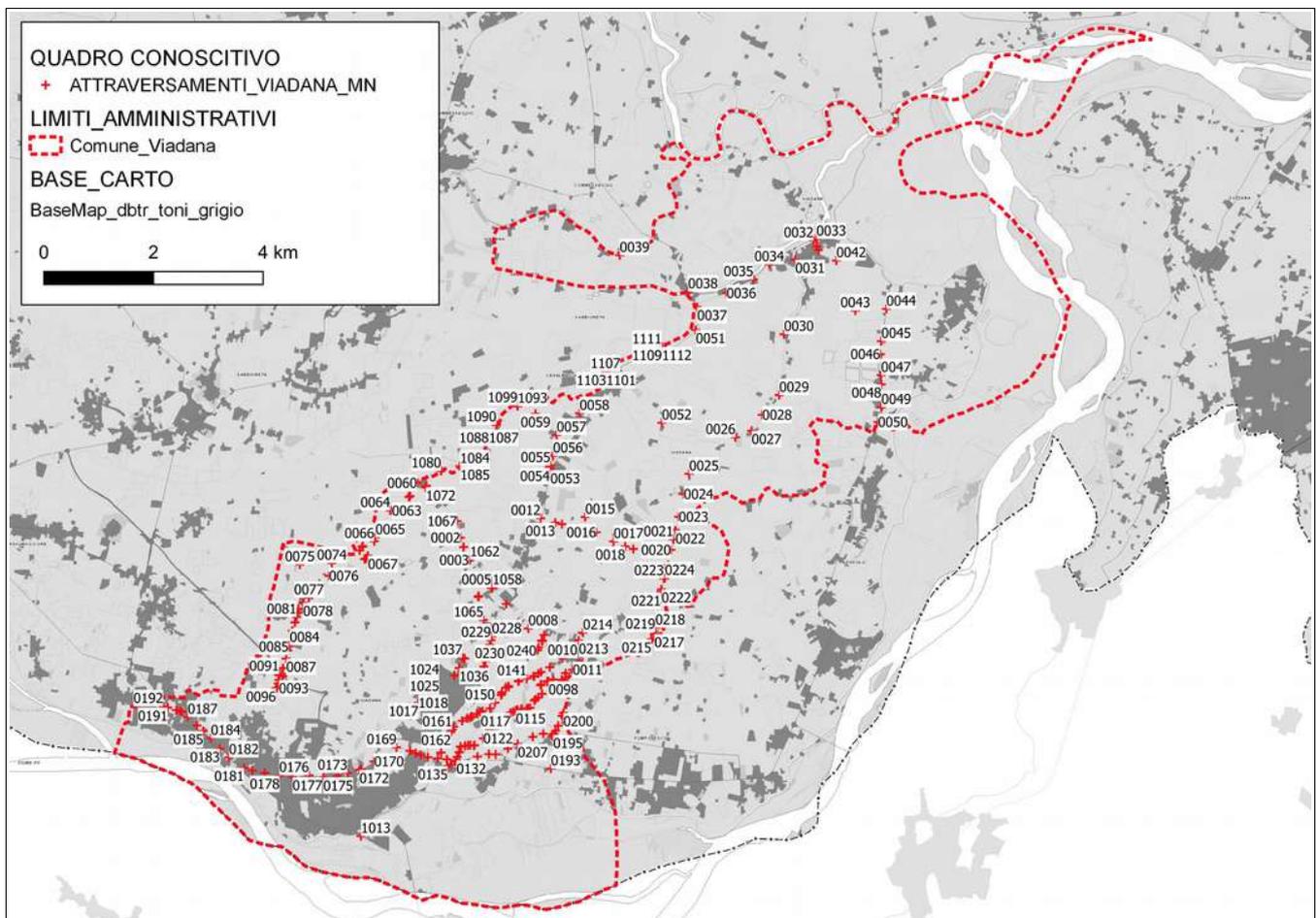


Fig. 21 - Attraversamenti censiti lungo il reticolo idraulico nel territorio comunale

Per ognuno degli attraversamenti censiti è stata ricavata un'immagine recuperata su internet, per avere un'idea sia pure di massima delle caratteristiche dello stesso attraversamento. Nel caso in cui non è stato possibile reperire la foto, all'attraversamento è stata associata una ortofoto di dettaglio, successivamente queste foto sono state integrate sulla base della documentazione fotografica rilevata nel corso dei sopralluoghi condotti come meglio specificato nel seguito.

Nell'ambito di queste attività sono stati rilevati 241 attraversamenti e manufatti nel territorio comunale di Viadana insistenti sul reticolo idrico minore. Tutte le informazioni rilevate, comprese le immagini relative

a ogni attraversamento, sono state inserite nel SIT e sono raccolte nello strato informativo denominato *MANUFATTI.SHP*, gli attraversamenti censiti sono riportati in Fig. 21.

Le informazioni raccolte in queste attività, integrate da quelle raccolte nelle fasi successive, permetteranno l'inserimento degli attraversamenti nella modellazione idraulica.

## 2.6 SOPRALLUOGHI SULLE CRITICITA' NOTE

Sulla base di tutte le informazioni raccolte e di un'analisi preliminare della rete idrografica e del territorio si è passati quindi a compiere una serie di sopralluoghi mirati soprattutto a indagare sulle criticità idrauliche note dalle fonti consultabili che consistono in particolare nel Documento Semplificato e nel PGRA. Durante questi sopralluoghi sono state raccolte ulteriori informazioni attraverso incontri con i tecnici comunali e, ove possibile, con quelli del Consorzio di Bonifica e/o con altri tecnici che in passato si sono interessati di questa problematica.

I sopralluoghi si sono svolti in particolare in quei tratti del reticolo idraulico situati nelle immediate vicinanze delle aree segnalate come soggette ad allagamenti nel Documento Semplificato. Nel corso di questi sopralluoghi sono state riprese molte foto dei canali e dei manufatti interferenti con il deflusso, come attraversamenti e opere idrauliche di regimazione delle acque. Tutte le foto scattate sono state georeferenziate ed inserite in un data base territoriale ad integrazione di quelle già disponibili, di cui alla fase precedente, ed in particolare nello strato informativo denominato *FOTO.SHP*, in maniera tale da avere più informazioni possibili per consentire una migliore modellazione del reticolo idrografico e dei manufatti presenti, i punti di scatto delle foto riprese nel corso dei sopralluoghi effettuati sono riportate in Fig. 22.

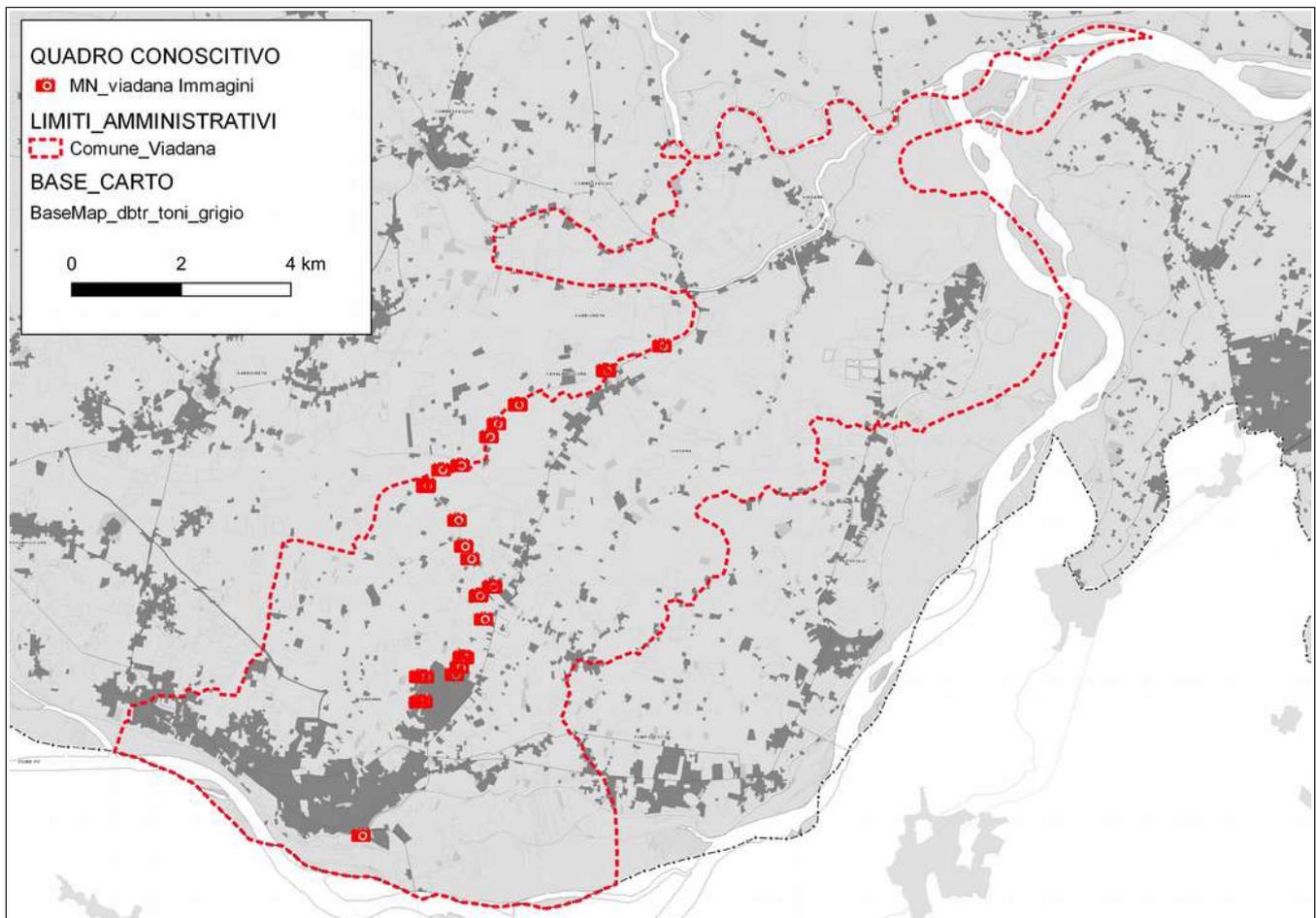


Fig. 22 - Punti di scatto delle foto riprese lungo il reticolo idraulico nel territorio comunale



Fig. 23 - Foto del Canale Ceriana Basso nel tratto lungo Via Argine Ceriana



Fig. 24 - Foto del Diversivo Viadanese attraversamento di Via Ottoponti Bragagnina

Nello specifico, i sopralluoghi sono stati condotti nelle zone attraversate dai canali Baghella, Biassina, Paralupa, Diversivo Viadanese e Ceriana basso, appartenenti al reticolo idraulico gestito dal Consorzio di Bonifica ed hanno permesso di rilevare le seguenti informazioni:

- stato del canale e degli argini del canale di Canale Ceriana Basso, vedi foto in Fig. 23;
- condizioni dell'attraversamento lungo il Diversivo Viadanese, vedi foto in Fig. 24;
- condizioni dell'attraversamento lungo il Canale Paralupa, vedi foto in Fig. 25.



*Fig. 25 - Foto del Canale Paralupa in corrispondenza dell'attraversamento di Via Feniletto*

## 2.7 ESTRAZIONE SEZIONI CANALI

Per meglio caratterizzare, dal punto di vista geometrico e topografico, il reticolo idraulico presente nel territorio comunale si è proceduto all'estrazione delle sezioni dal DEM in prossimità degli attraversamenti e dei manufatti censiti. Queste sezioni sono state estratte in automatico dal DEM e quindi possono essere affette da una certa imprecisione che comunque caratterizza il dato topografico di base utilizzato. In particolare eventuali muri di sponda verticali presenti lungo il reticolo non vengono correttamente rappresentati in quanto viene dato loro un andamento inclinato, questo proprio per le caratteristiche del rilievo lidar già illustrate al paragrafo 2.2 .

Tutte le sezioni del reticolo sono state inserite nel data base territoriale, ed in particolare nello strato informativo denominato *SEZIONI.SHP*, unitamente alle altre informazioni rilevate di cui alle fasi precedenti, per consentirne un migliore utilizzo nelle successive fasi.

Nello specifico sono state estratte in totale di 129 sezioni, 75 delle quali appartenenti al reticolo idraulico gestiti dal Consorzio di Bonifica e 54 sul reticolo idrico minore di competenza comunale.

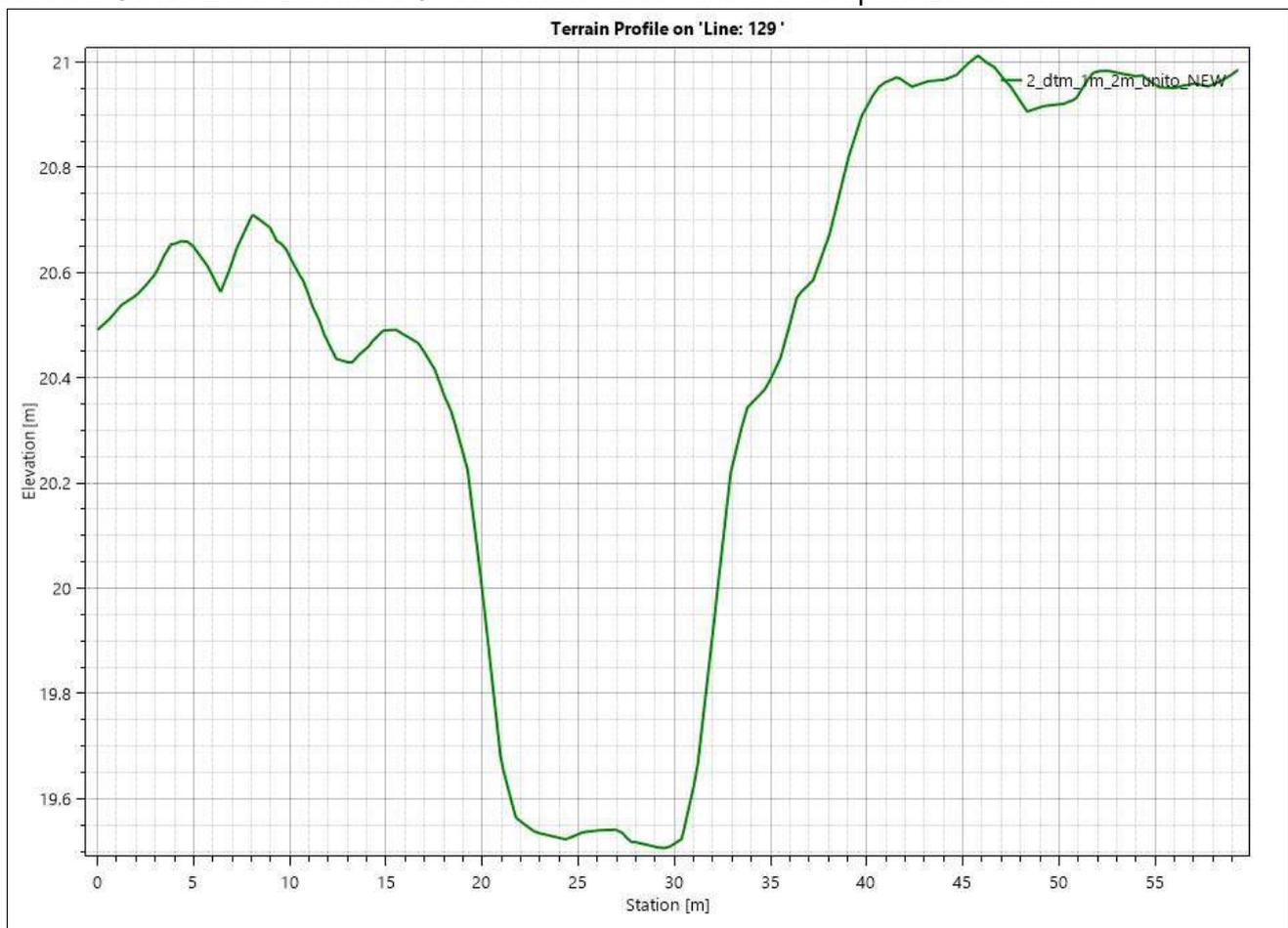


Fig. 26 - Sezione del Canale Diversivo Viadanee in prossimità dell'attraversamento di Via Scipiona

Le sezioni relative al reticolo di competenza del Consorzio di Bonifica hanno permesso di individuare i canali più importanti, caratterizzati da sezioni con lunghezza compresa tra 20 e 30 m come il canale Diversivo Viadanese ed il canale Ceriana Basso. I canali minori sempre gestiti dal Consorzio di bonifica

hanno invece una larghezza compresa tra 3 e 6 m e una profondità rispetto al piano campagna compresa tra 1 e 2 m. Tra questi ultimi, quelli che hanno una maggiore importanza dal punto di vista del drenaggio del territorio sono il Paralupa, Baghella, Cogozzo, Scurtabaffa.

Nelle figure 26, 27 e 28 si riportano alcune sezioni dei canali ritenute più significative.

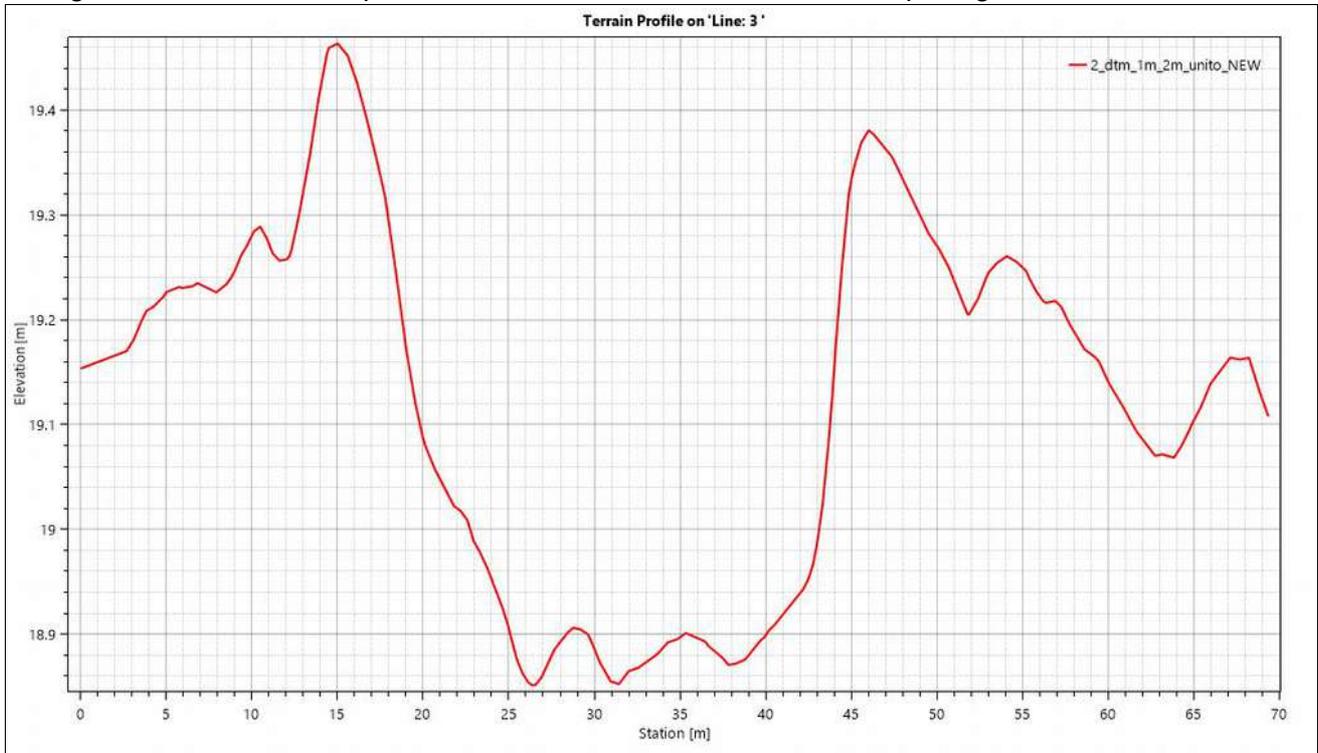


Fig. 27 - Sezione del Canale Ceriana Basso in prossimità dell'attraversamento sulla SP 59

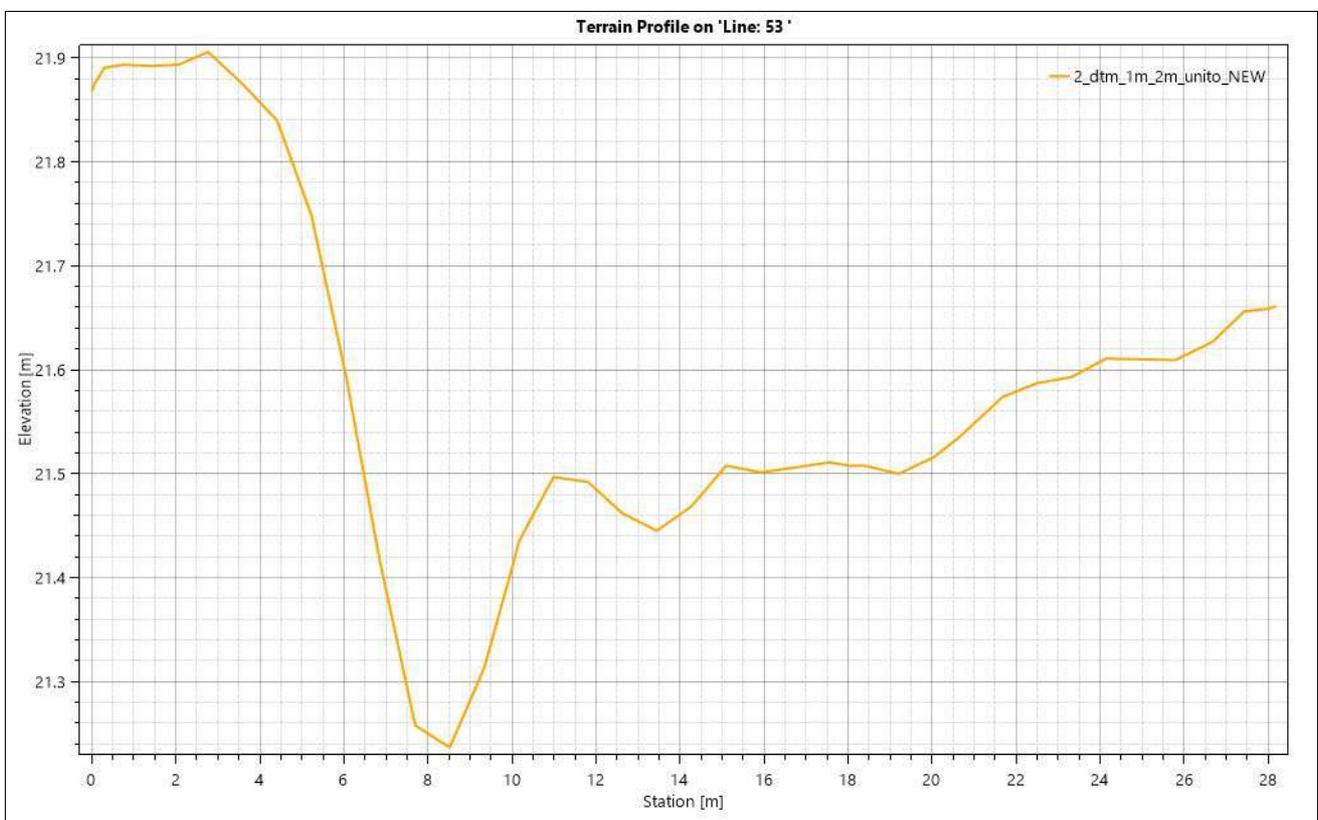


Fig. 28 - Sezione del Canale Scurtabaffa in prossimità dell'attraversamento di Via Pilastro

## 2.8 MODELLAZIONE IDRAULICA SPEDITIVA

Sulla base di tutte le informazioni territoriali disponibili ed in particolare del DEM si è proceduto quindi a una prima implementazione del modello idraulico bidimensionale che sarà utilizzato anche nelle fasi successive ma che in questa fase è stato utilizzato con una modellazione idraulica speditiva, finalizzata esclusivamente all'individuazione delle aree depresse per le quali pertanto è da ritenersi più critico il drenaggio delle acque di pioggia. In questa fase quindi è stato implementato un modello idraulico con schema bidimensionale, con dominio esteso all'intero comprensorio di bonifica, nel quale ricade il territorio comunale di Viadana. Nello specifico il dominio di calcolo è stato esteso all'intero comprensorio di bonifica del Consorzio di Bonifica Navarolo Agro Cremonese Mantovano, in considerazione del fatto che tale comprensorio può essere considerato completamente separato dal punto di vista del comportamento idraulico rispetto ai territori circostanti in quanto non riceve deflussi da monte ed il suo recapito finale è costituito dallo scarico nell'Oglio posto in corrispondenza dell'impianto idrovoro di San Matteo delle Chiaviche, per la cui descrizione si rimanda al paragrafo 2.3. Al contrario il comportamento idraulico del territorio comunale di Viadana non potrebbe essere considerato indipendente dal resto del territorio limitrofo.

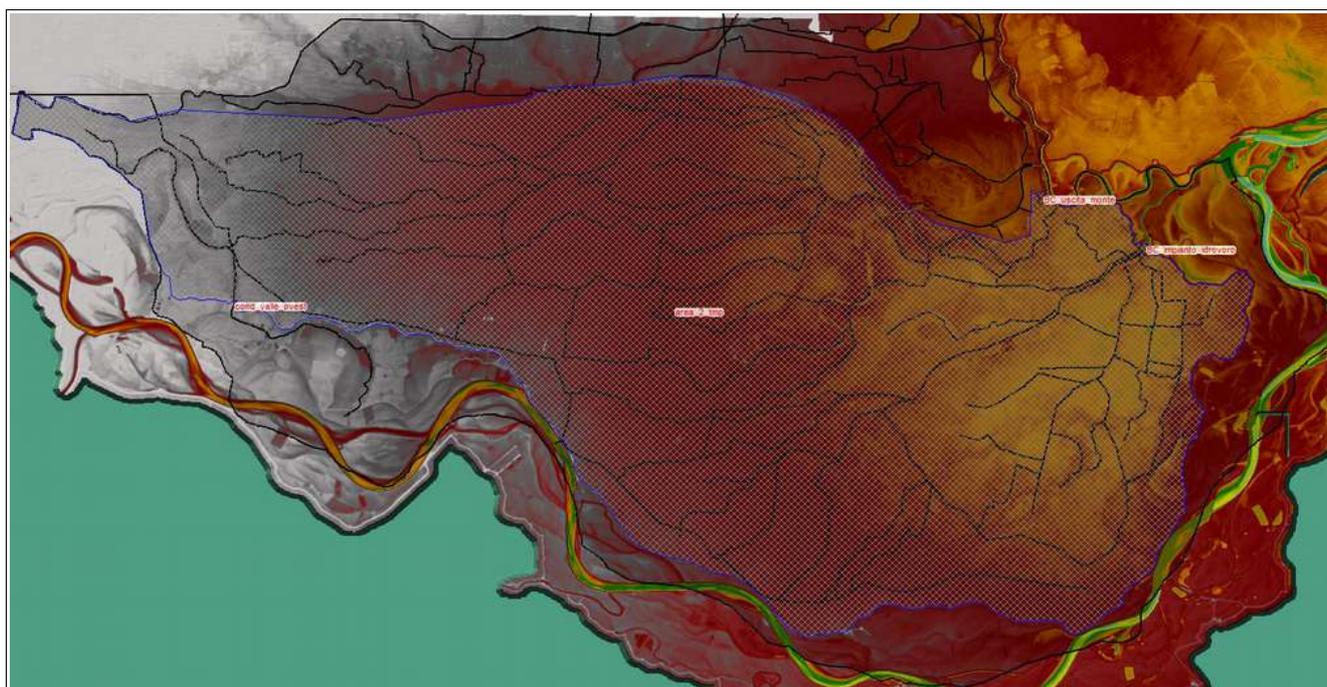


Fig. 29 - Modello bidimensionale utilizzato per una simulazione speditiva – Dominio di calcolo

Considerato che tale modellazione idraulica ha il solo scopo di individuare le aree depresse, si è ritenuto sufficiente in questa fase utilizzare una mesh di calcolo semplificata, con celle di 50 m di dimensioni, e senza l'impiego di elementi particolari, come breakline, connessioni idrauliche e refinement region, che consentono di modellare meglio le discontinuità del terreno o la presenza di aree con morfologia del terreno più complessa. Come condizioni al contorno della modellazione idraulica è stata quindi utilizzata una generica pioggia estesa in maniera uniforme all'intero dominio di calcolo, oltre alla condizione di uscita di valle posta in corrispondenza dell'impianto idrovoro di San Matteo delle Chiaviche. Il dominio di

calcolo è riportato in Fig. 29, in Fig. 30 è riportato invece un dettaglio del dominio di calcolo in corrispondenza della condizione al contorno di valle.

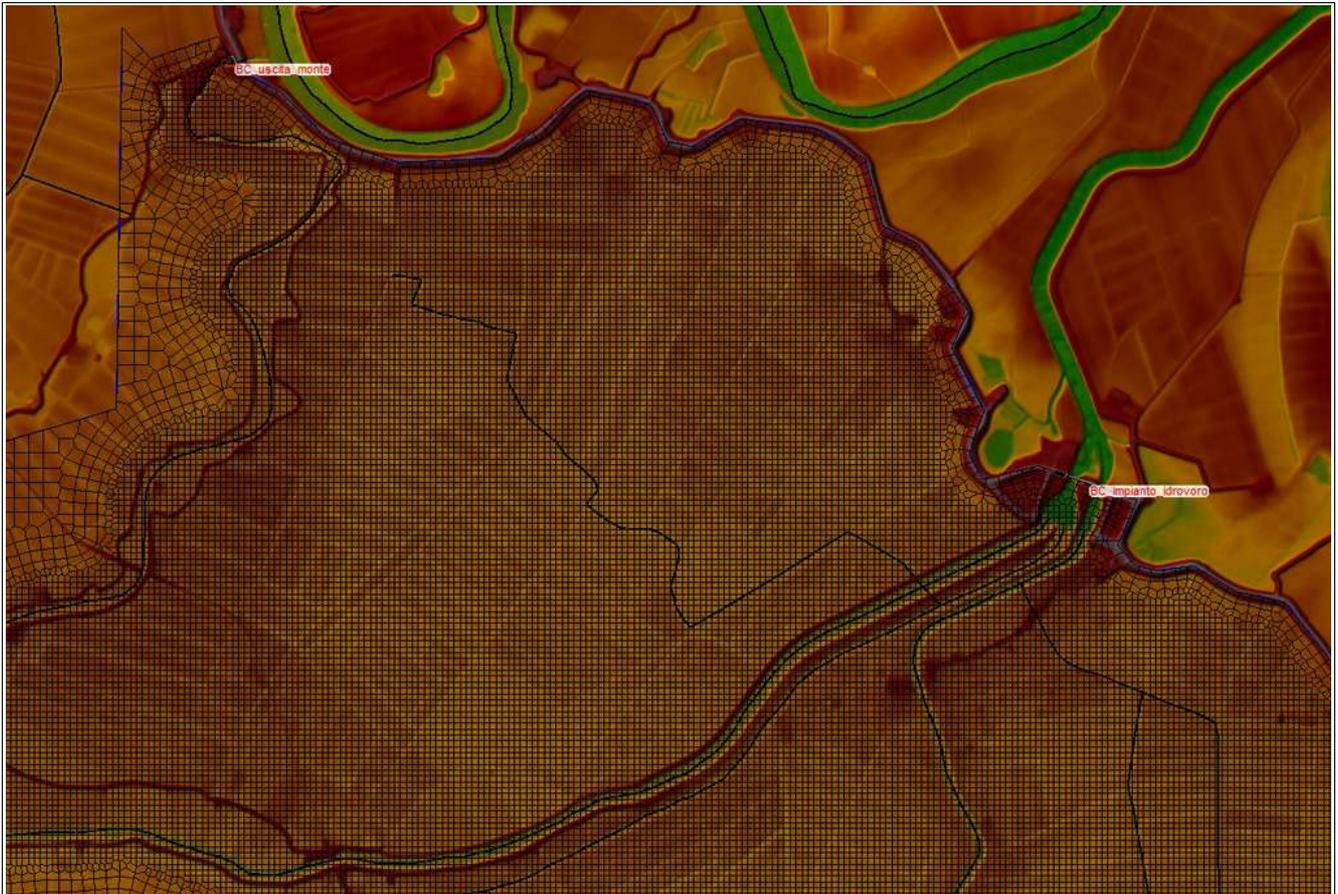


Fig. 30 - Modello bidimensionale utilizzato per una simulazione speditiva – Dettaglio dominio di calcolo

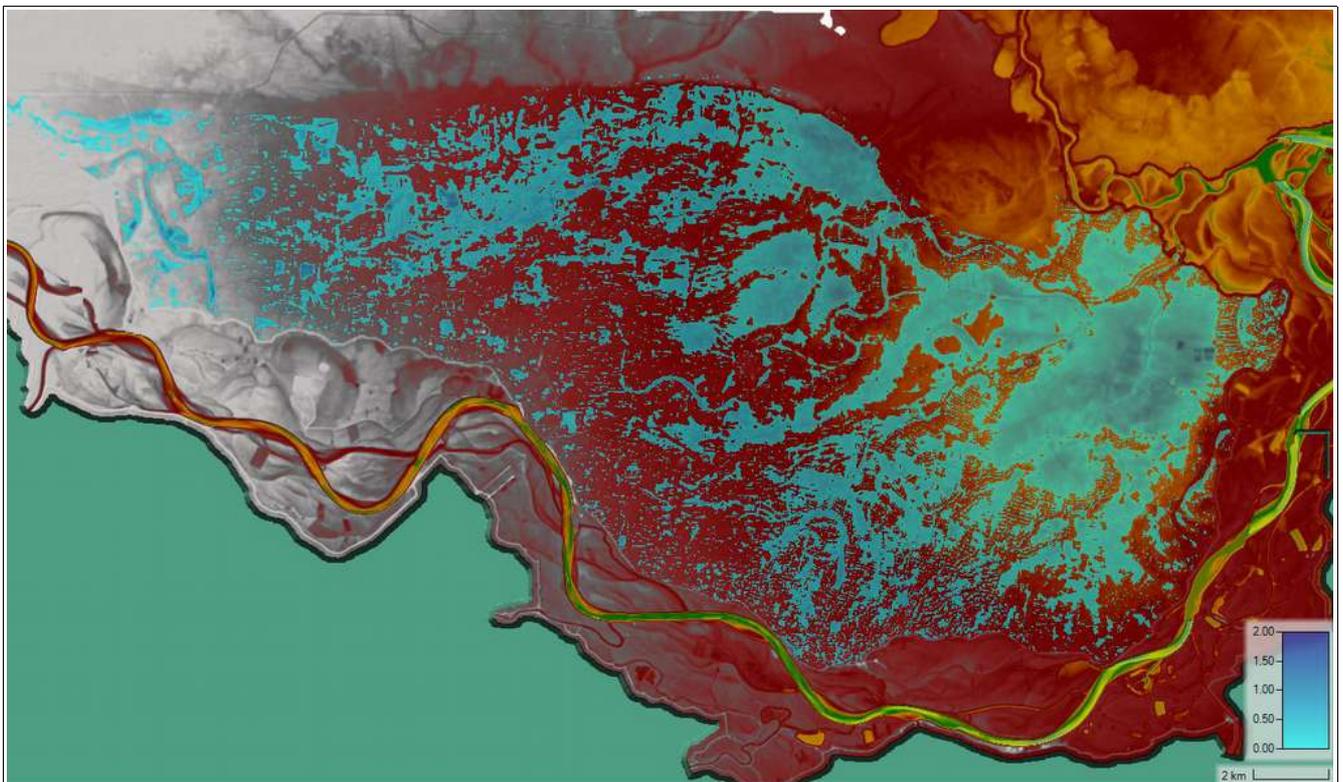


Fig. 31 - Modello bidimensionale utilizzato per una simulazione speditiva – Battenti massimi

E' stata utilizzata una durata di pioggia pari a 24 ore e una durata della simulazione pari a 4 giorni, tali durate sono state scelte per massimizzare il contributo dell'intero dominio di calcolo nelle zone poste più a valle in prossimità dell'impianto idrovoro di San Matteo delle Chiaviche che è la sola sezione del dominio di calcolo dalla quale può fuoriuscire il deflusso.

L'altezza complessiva di pioggia netta utilizzata per la modellazione è pari a 100 mm a cui corrisponde un volume totale di pioggia pari a 29'550'000 m<sup>3</sup>. A seguito della modellazione nella sezione posta in corrispondenza dell'impianto idrovoro, in cui è stata posizionata la condizione di valle, si registra un idrogramma con una portata massima pari a 21 m<sup>3</sup>/s e un volume complessivo pari a 5'410'000 m<sup>3</sup>; per una differenza rispetto al volume di pioggia in ingresso al modello pari a 24'146'000 m<sup>3</sup>, tale volume resta accumulato nelle depressioni del terreno alla fine della modellazione. I risultati, in termini di valori massimi di battenti e velocità, sono riportati rispettivamente nelle Figg. 31 e 32.

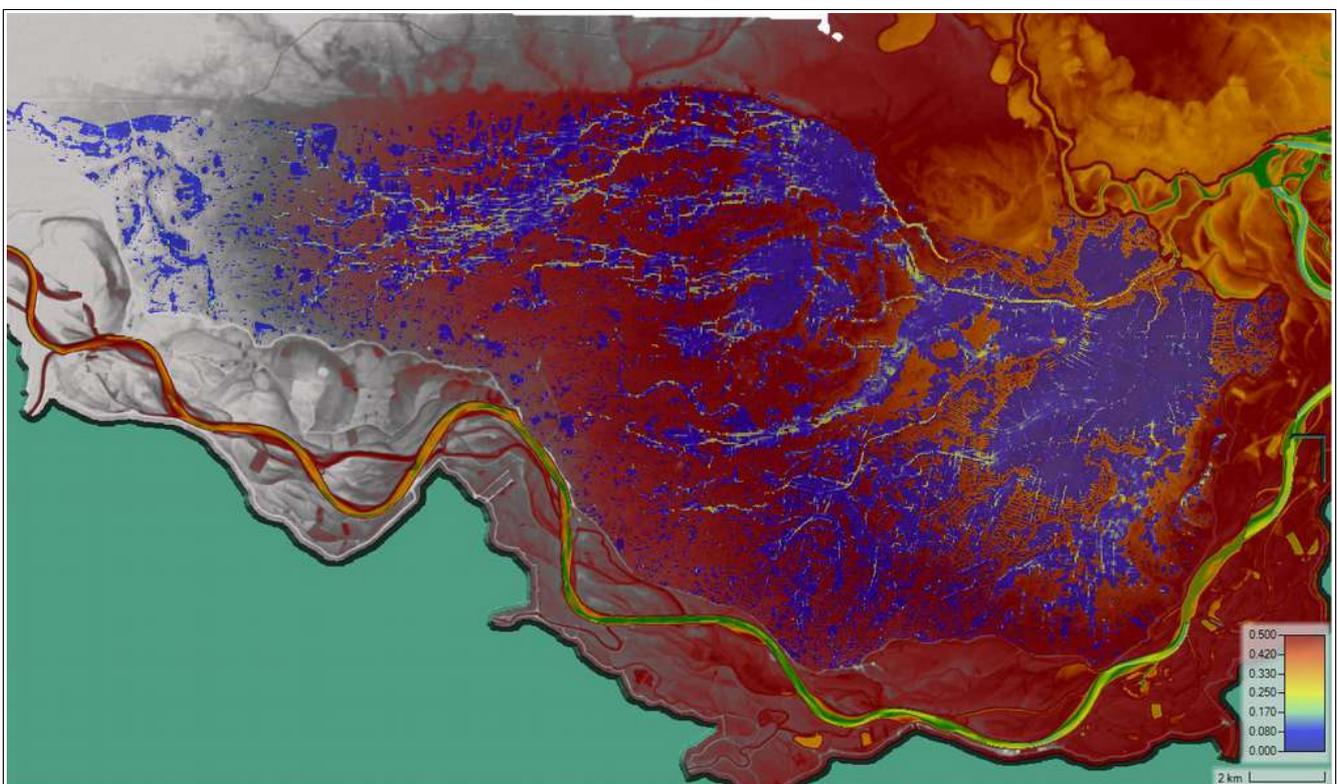


Fig. 32 - Modello bidimensionale utilizzato per una simulazione speditiva – Velocità massime

Da notare che, considerata l'estrema semplificazione del modello idraulico utilizzato, i risultati ottenuti in questa fase sono da ritenersi puramente indicativi e non rappresentativi dei reali scenari di allagamento che invece saranno indagati nelle fasi successive previste nel presente incarico con l'ausilio di una modellazione idraulica di maggior dettaglio. Ciò nondimeno i risultati ottenuti, sia in termini di massimi battenti idrici che di battenti residui al termine della modellazione, sono da ritenersi indicativi delle zone depresse e comunque delle zone in cui tendono ad accumularsi le acque di ruscellamento.

Da notare inoltre che la modellazione adottata al momento non tiene in considerazione il reticolo idrico minore ed in particolare quello di drenaggio delle acque meteoriche presente all'interno dei centri abitati. La presenza di tale reticolo minore senz'altro contribuisce ad avere uno scenario reale degli allagamenti che può essere molto diverso rispetto a quello ottenuto con la modellazione speditiva effettuata. Nelle

successive fasi di attività è comunque previsto di eseguire una modellazione idraulica più dettagliata che consideri anche il contributo del reticolo idraulico esistente, almeno nei tratti in cui sono disponibili le informazioni per una corretta modellazione.

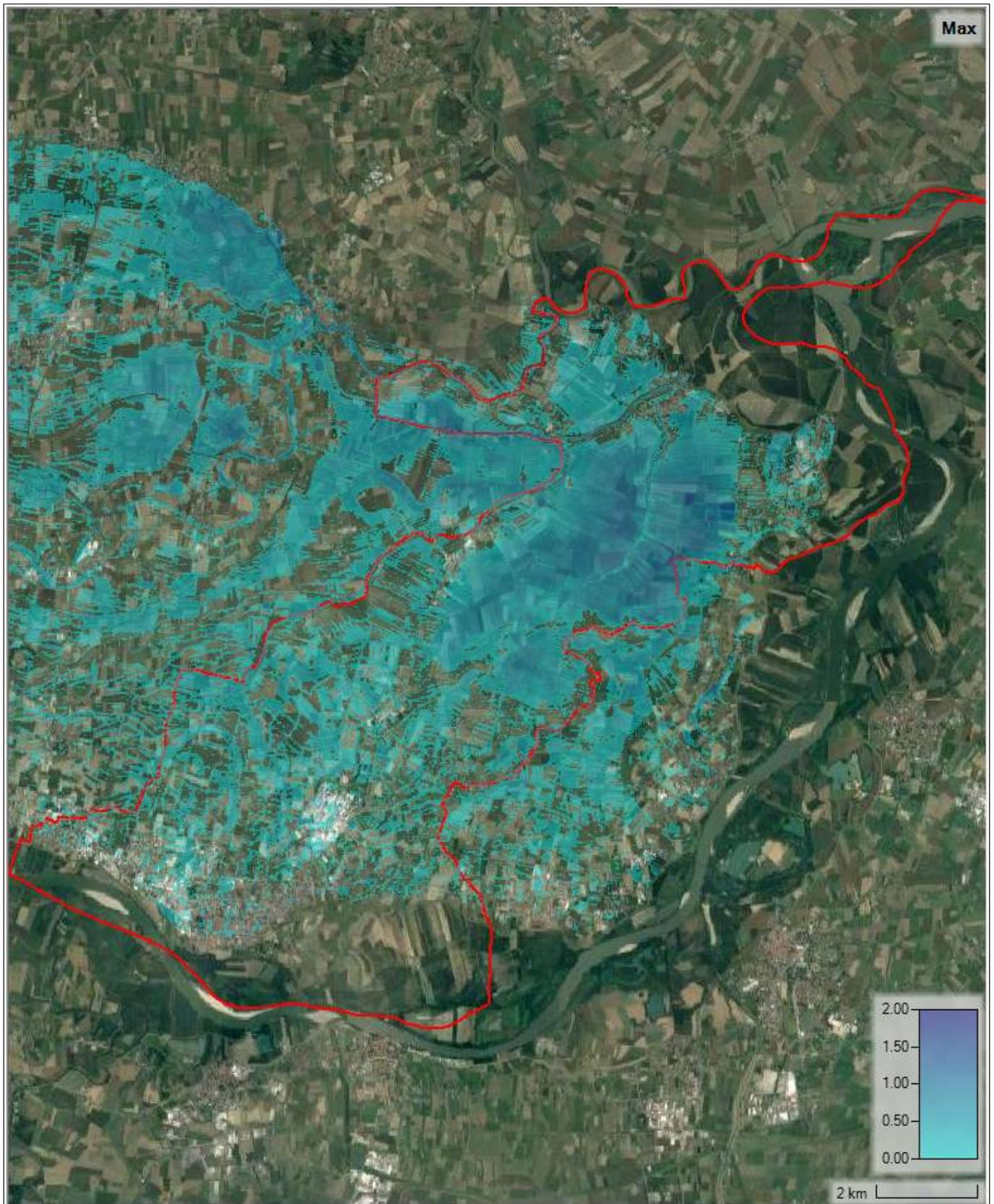


Fig. 33 - Aree depresse individuate con modellazione idraulica speditiva – Viadana

## 2.9 REDAZIONE STRATI INFORMATIVI RETICOLO

Sulla base di tutte le informazioni raccolte nelle fasi precedenti si è passati quindi alla predisposizione degli strati informativi del reticolo idrografico del Comune di Viadana. All'interno di questi strati informativi, sotto forma di shapefiles, sono state inserite la maggior parte delle informazioni raccolte al fine di consentire una rapida consultazione. In particolare è stato predisposto uno stato informativo relativo agli attraversamenti, manufatti e sezione censite con associata una tabella degli attributi nella quale sono stati inseriti anche campi utili per una più rapida localizzazione dei manufatti, come il nome del canale sul quale sono situati e il nome della viabilità che attraversa il canale o è nelle sue immediate vicinanze, oltre che un riferimento alla foto ed alla sezione associata. Agli stessi punti infatti sono state associate le foto e, ove disponibili, anche le sezioni del reticolo estratte dal DEM. In questo modo è possibile farsi un'idea delle caratteristiche del reticolo idrografico e dello stato di manutenzione dei canali e degli attraversamenti.

Questa banca dati, denominata *RETICOLO\_IDROGRAFICO\_PUNTI\_INTERESSE.SHP*, potrà essere ulteriormente implementata nelle fasi successive di attività previste nell'ambito del presente incarico e comunque al termine dell'incarico sarà consegnata all'Amministrazione comunale che potrà utilizzarla in futuro per gli scopi previsti dalla normativa vigente. I punti di interesse rilevati sul territorio comunale sono riportati in Fig. 34, in Fig. 34 è riportato un dettaglio planimetrico con sezione e foto associata.

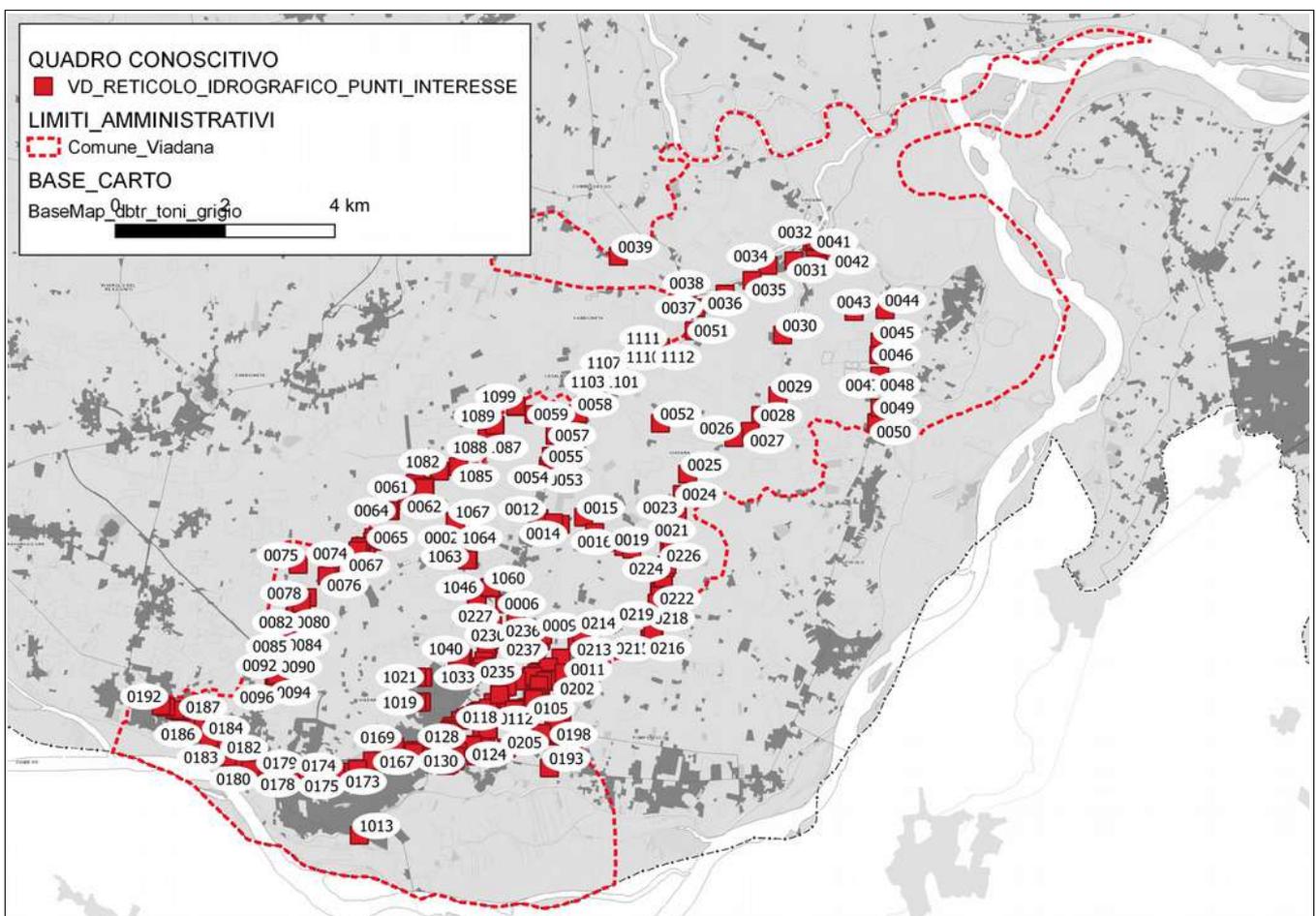


Fig. 34 - Punti di interesse censiti sul territorio comunale

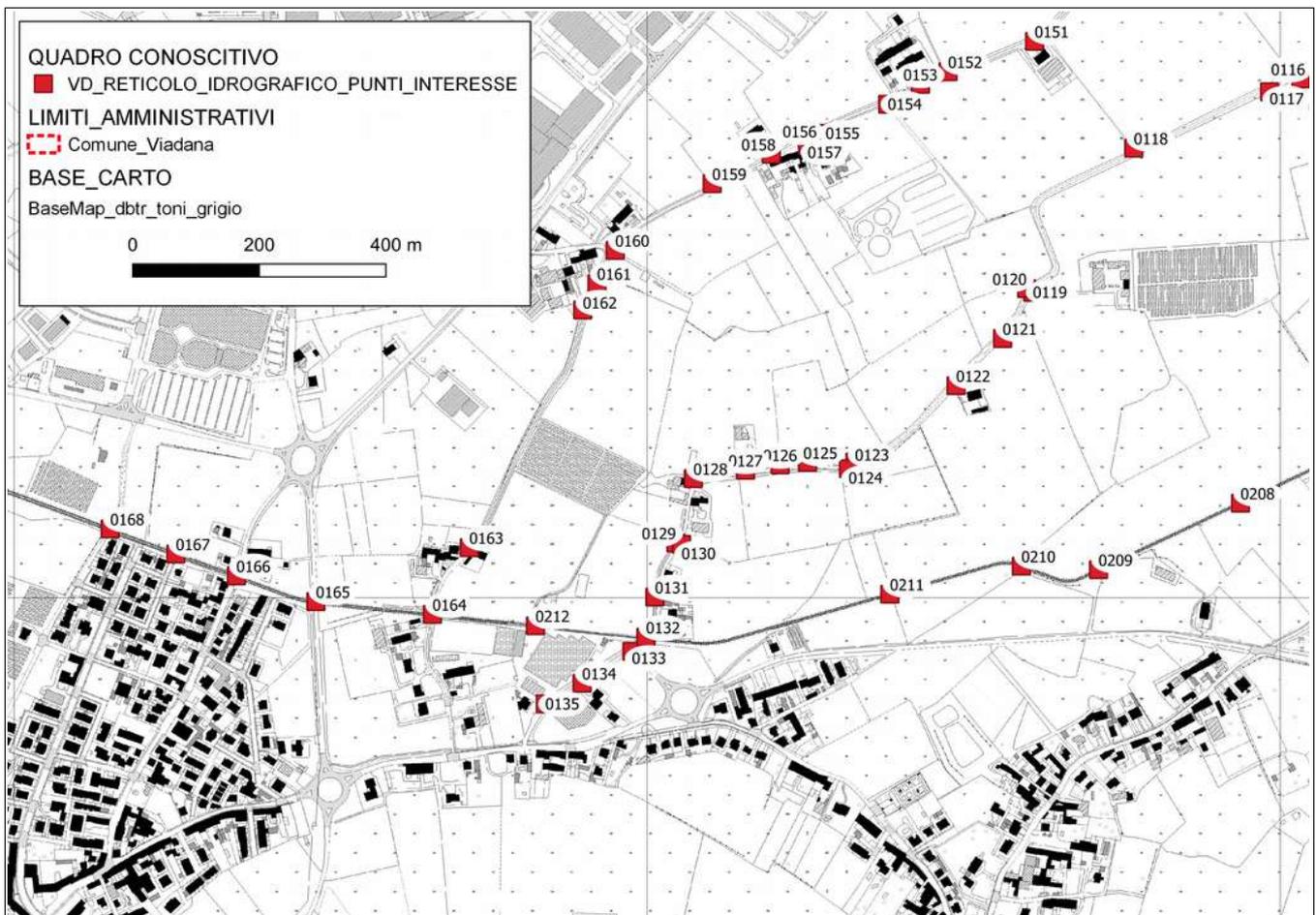


Fig. 35 - Punti di interesse censiti sul territorio comunale - dettaglio della zona di Villa Scassa

Un altro strato informativo prodotto in questa fase, denominato *AREE\_DEPRESSE.TIF*, è quello relativo ai battenti idrici che da un'idea abbastanza dettagliata di quelli che sono gli impluvi che effettivamente si attivano durante gli eventi meteorici e della presenza di aree depresse. In questo caso si tratta di uno strato informativo raster, con risoluzioni di 1-2 m, in funzione della risoluzione del DEM utilizzato per la modellazione. Interrogando puntualmente questo strato informativo viene restituito il battente idrico massimo ottenuto dalla modellazione idraulica che, come già in precedenza accennato, è da ritenersi in questa fase puramente indicativo delle problematiche di rischio idraulico che ci potrebbero essere nelle varie zone, mentre una mappa più dettagliata ed attendibile delle aree effettivamente soggette ad allagamenti potrà risultare unicamente dalle fasi successive di studio o comunque sulla base della completezza ed accuratezza dei dati di base che saranno resi disponibili e potranno essere utilizzati nella modellazione.

Lo strato informativo raster relativo alle aree depresse è riportato in Fig. 36, in Fig. 37 è riportato un dettaglio planimetrico relativo alla zona di San Matteo delle Chiaviche.

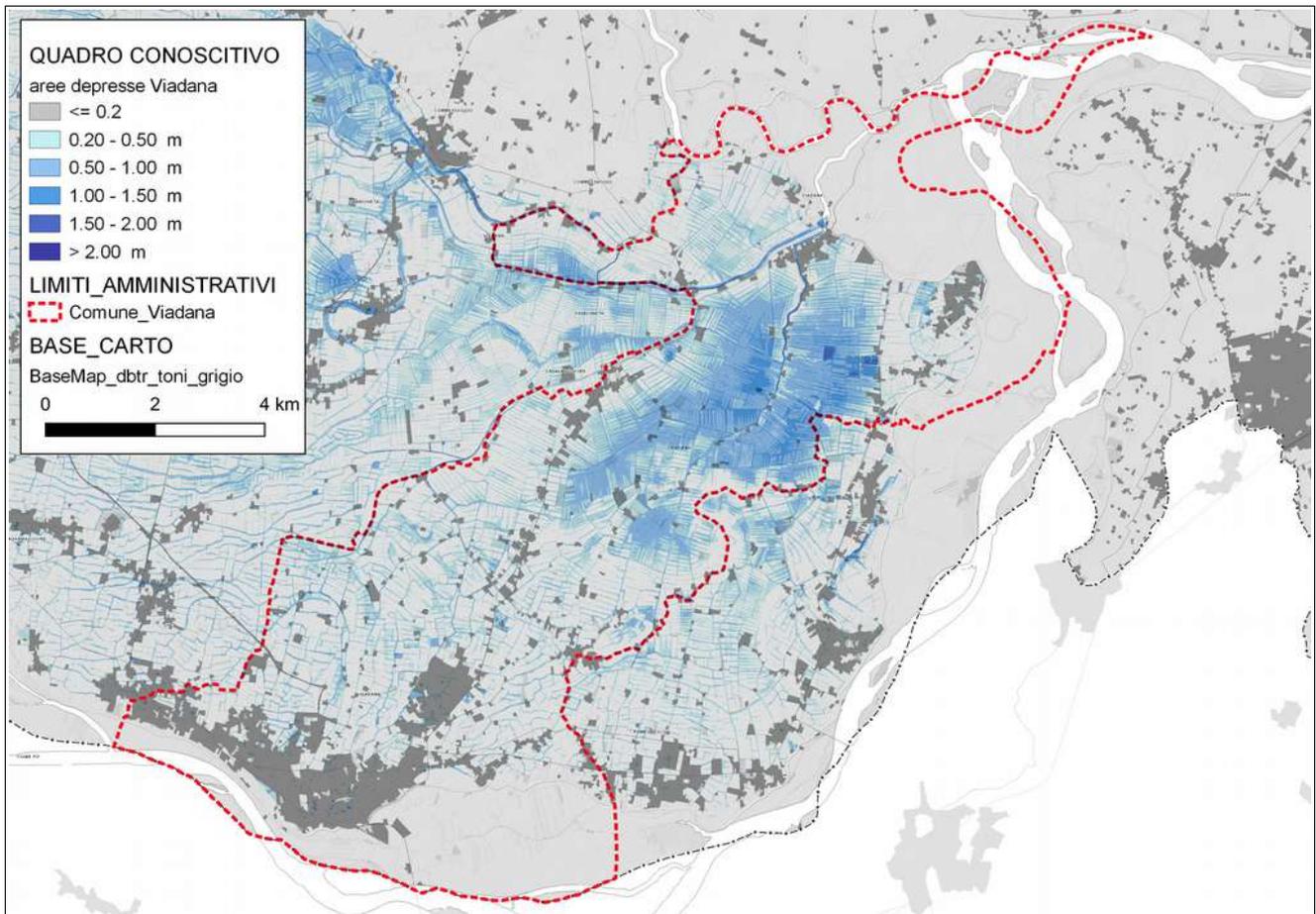


Fig. 36 - Aree depresse del territorio comunale

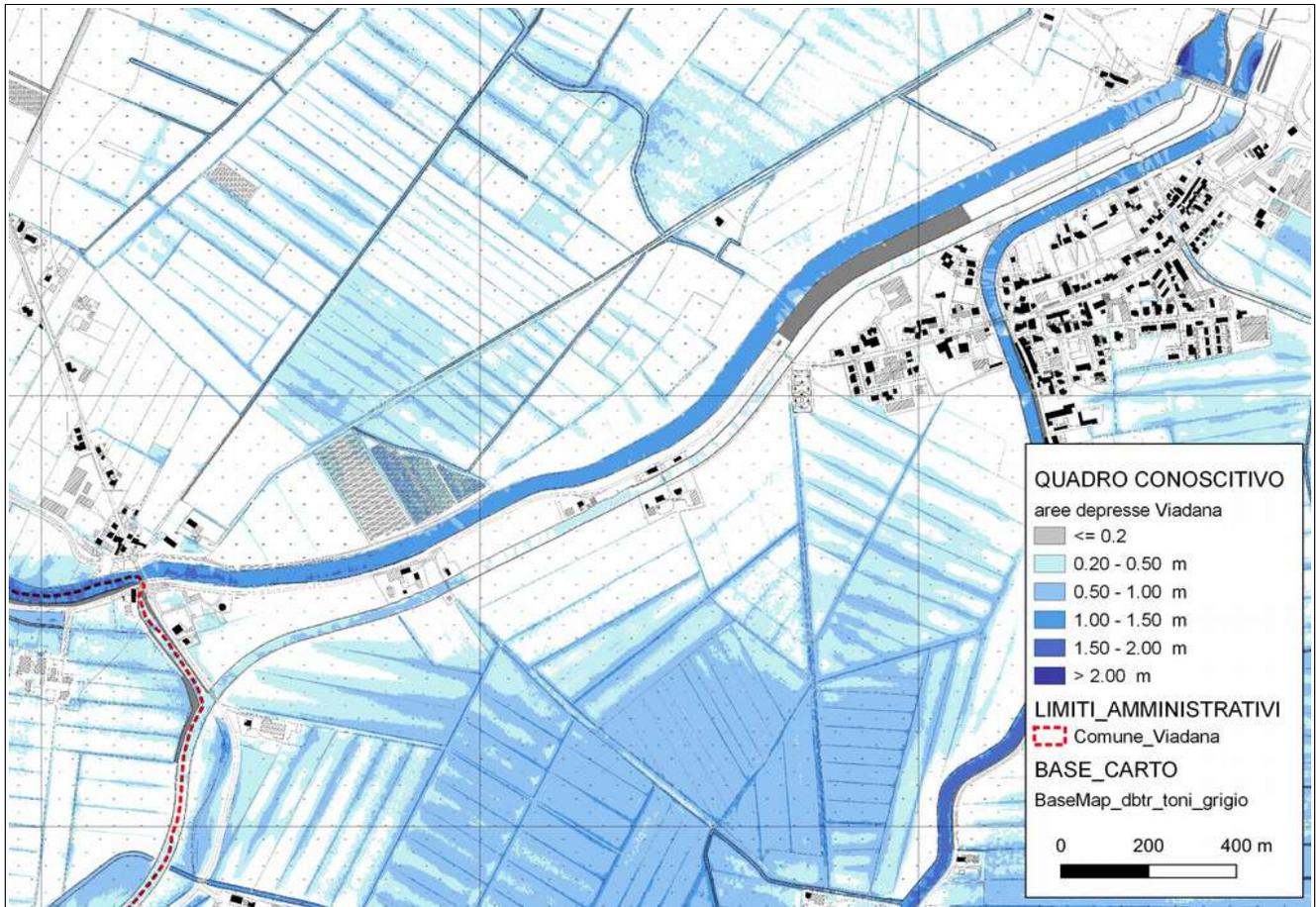


Fig. 37 - Aree depresse del territorio comunale – Dettaglio della zona di San Matteo delle Chiaviche

## 2.10 ANALISI STATISTICA PIOGGIE

Al fine di caratterizzare lo scenario pluviometrico da utilizzare nell'ambito dell'analisi del rischio idraulico a livello comunale si è proceduto a una stima dei parametri della CPP ed individuazione degli scenari di pioggia da utilizzare per la modellazione idrologica (durata di pioggia, tempo di ritorno, ecc.).

La principale fonte di dati utilizzati deriva dal materiale messo a disposizione dalla Regione Lombardia attraverso il sito [http://ita.arpalombardia.it/ITA/servizi/richiesta\\_dati/idro\\_pluvio\\_termo.asp](http://ita.arpalombardia.it/ITA/servizi/richiesta_dati/idro_pluvio_termo.asp). In sostanza vengono resi disponibili i parametri delle Curve di Possibilità Pluviometrica spazializzati sull'intero territorio regionale e con diverse risoluzione. Una sintesi delle attività svolte è riportata nel seguito. Nella sostanza questi dati permetteranno nelle fasi successive di costruire gli scenari di pioggia da utilizzare per la modellazione idrologica e idraulica ed in pratica di caratterizzare l'andamento temporale e spaziale dell'evento pluviometrico.

### 2.10.1 CENNI METODOLOGICI GENERALI

Per la valutazione delle precipitazioni che caratterizzano l'area di interesse si sono utilizzate le informazioni fornite da ARPA Lombardia ed in particolare le risultanze degli studi:

- *“IL REGIME DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE SUL TERRITORIO DELLA LOMBARDIA: Modello di Previsione Statistica delle Precipitazioni di Forte Intensità e Breve Durata” – (Arpa Lombardia - Politecnico di Milano, febbraio 2005)*
- *“PROGETTO STRADA - Strategie di adattamento dei cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero”: Il monitoraggio degli eventi estremi come strategia di adattamento ai cambiamenti climatici - le piogge intense e le valanghe in Lombardia (Arpa Lombardia 2013).*

in cui vengono formulati i criteri e i metodi per la caratterizzazione idrologica del regime pluviale in Lombardia sviluppando, in particolare, la parametrizzazione delle Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica (LSPP) secondo il modello probabilistico GEV (Generalized Extreme Value) scala-invariante.

A partire dai risultati delle analisi statistiche effettuate per le singole stazioni presenti sul territorio lombardo, ARPA Lombardia ha in definitiva provveduto a costruire il nuovo atlante regionale delle piogge intense caratterizzato da una griglia a maglia quadrata (lato 1.5 km) dove per ogni cella sono forniti i parametri della GEV per durate da 1 a 24 ore e da 1 a 5 giorni (*vedi GeoPortale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia*):

- A1 = coefficiente Pluviometrico orario
- N = esponente di scala
- $\alpha$  = parametri di scala GEV
- k = parametri di forma GEV
- $\varepsilon$  = parametro di posizione GEV

Nota il valore di tali parametri, le espressioni analitiche:

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\} \quad \text{e} \quad h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

consentono di definire le LSPP per vari tempi di ritorno, espresse nella più usuale forma:  $h = a_T \cdot d^n$

dove “h” è l'altezza di precipitazione in mm e “d” la durata in ore.

Al riguardo va poi in particolare segnalato che ARPA mette a disposizione due diversi set dei parametri A1, N,  $\alpha$ , k,  $\varepsilon$ , per consentire la differenziazione delle stime delle precipitazioni nell'ambito dei due seguenti range di durata delle precipitazioni stesse:

- da 1 a 24 ore;
- da 24 a 120 ore (1-5 gg).

Volendo considerare durate ancora inferiori, va ricordato che gli “Studi ARPA” si sono basati su registrazioni storiche di durata da 1÷24 ore e da 1÷5 giorni e perciò le LSPP ARPA risultano non del tutto significative per precipitazioni di durata inferiori ad 1 ora. Dalle indicazioni di letteratura risulta peraltro che il parametro  $a = a_1 w_T$  (cioè la precipitazione oraria) calcolato analizzando i dati di durata 1÷24 ore è sufficientemente rappresentativo sia delle precipitazioni di durata superiori ad 1 ora, sia di quelle inferiori, mentre è il parametro “n” che deve essere meglio differenziato per i due campi di durata. Alla luce di tali considerazioni, le LSPP per durate inferiori ad 1 ora possono ragionevolmente essere determinate:

- mantenendo il valore di “a” calcolato per la cella dell'atlante regionale delle piogge intense ARPA sulla base dei parametri indicati per le durate 1÷24 ore;
- adottando un valore di “n” pari a 0.5, come suggerito dalla letteratura tecnica.

## 2.10.2 MODALITÀ OPERATIVE UTILIZZATE PER L'APPLICAZIONE AL TERRITORIO DI INTERESSE

Nel caso in esame l'obiettivo della caratterizzazione pluviografica è quello di poter predisporre degli ietogrammi di progetto per vari tempi di ritorno da fornire in input al modello idrologico-idraulico del territorio in esame. Per perseguire tale scopo le informazioni fornite da ARPA Lombardia e descritte in precedenza, sono state rielaborate al fine di costruire delle mappe con le altezze di precipitazione attesa:

- per vari tempi di ritorno;
- per durate da 1 a 24 ore e da 1 a 5 giorni.

Nel seguito è fornito il dettaglio operativo delle principali operazioni eseguite.

### **Precipitazioni intense di durata da 1 a 24 ore**

Per questo range di durate il geoportale di ARPA Lombardia, oltre alle mappe raster di ciascun

parametro della GEV ( $A1, N, \alpha, k, \varepsilon$ ), fornisce direttamente degli “shape files” per ognuna delle 24 durate che vanno da 1 a 24 ore (in pratica 24 files, uno per ogni durata). Ognuno di questi “shape” fornisce le altezze di pioggia associate ad ogni cella dell’atlante regionale (rappresentata da un poligono 1.5 x 1.5 km) per vari tempi di ritorno ( $T_r = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200$  anni).

Per l’applicazione al caso in esame si è innanzitutto provveduto a “ritagliare” le informazioni fornite da ARPA per l’intera Regione in modo da ricavarne un estratto specificamente riguardante la provincia di Mantova. In via cautelativa si è anche proceduto a controllare che i dati forniti direttamente dai sopraccitati “shape files” risultassero congruenti con le altezze di pioggia ricavabili a partire dal set originale di parametri  $A1, N, \alpha, k, \varepsilon$ . Ciò ha consentito di verificare la congruenza della mappatura delle altezze di pioggia 1÷24 ore con le risultanze dello studio già precedentemente citato:

- “*PROGETTO STRADA - Strategie di adattamento dei cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero*”: *Il monitoraggio degli eventi estremi come strategia di adattamento ai cambiamenti climatici - le piogge intense e le valanghe in Lombardia (Arpa Lombardia 2013)*.

### **Precipitazioni intense di durata da 1 a 5 giorni**

Per questo range di durate il geoportale di ARPA Lombardia mette a disposizione le mappe “raster” dei parametri della distribuzione GEV per celle di 100 x 100 m, determinate nell’ambito dello studio:

- “Il regime delle precipitazioni intense sul territorio della Lombardia: Modello di Previsione Statistica delle Precipitazioni di Forte Intensità e Breve Durata” – (Arpa Lombardia - Politecnico di Milano, febbraio 2005)

(Al riguardo va sottolineato che le celle 100 x 100 m sono esattamente un sottoinsieme di quelle di 1.5 x 1.5 km citate nel paragrafo precedente).

Per quanto di interesse per il presente studio si sono effettuate le seguenti attività:

- “ritaglio” delle informazioni generali su un rettangolo comprendente l’intera provincia di Mantova (ovviamente è stato considerato lo stesso rettangolo precedentemente definito per le durate 1÷24 ore);
- applicazione di una procedura di “map algebra” ai raster dei parametri  $\alpha, k, \varepsilon$  per ricavare i raster del fattore  $w_T$  corrispondenti ai tempi di ritorno ( $T_r = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200$  anni) sulla base dell’espressione:

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

- applicazione di un’ulteriore procedura di “map algebra” con la quale sono stati costruiti i raster dell’altezza di precipitazione per le durate 24, 48, 72, 96, 120 ore (1÷5 gg) e per i tempi di ritorno ( $T_r = 2, 5, 10, 20, 50, 100$  e 200 anni), utilizzando l’espressione:  $h = a_T \cdot d^n$

## 2.11 CARATTERISTICHE DEI SUOLI

Al fine di caratterizzare i suoli del dominio di studio dal punto di vista della loro risposta idrologica a un evento pluviometrico sono state censite e raccolte tutte le informazioni disponibili riguardanti l'uso del suolo e la sua permeabilità. Anche in questo caso le principali fonti di dati utilizzate sono state redatte e rese disponibili dalla Regione Lombardia e consistono in:

- *carta della litologia della Regione Lombardia* per determinare la classe della permeabilità dei suoli;
- DUSAF per l'uso del suolo.

Dall'elaborazione di questi dati che consiste in una sovrapposizione dei due strati informativi si è quindi ottenuta una mappa del Curve Number, che consiste in un parametro sintetico, introdotto dalla teoria del Soils Conservation Service degli Stati Uniti, che permette di caratterizzare in modo semplice ed efficace la risposta idrologica dei suoli. Si tratta in pratica di un numero, teoricamente compreso tra 1 e 100, che quanto è più alto indica una maggiore propensione al deflusso dei suoli, cioè bassa permeabilità, è pari a 100 per suoli completamente impermeabili. Per la determinazione di questo parametro (CN) si è fatto ricorso ad una tabella che associa ad ogni classe di uso del suolo il corrispondente CN in funzione della classe di permeabilità del suolo, di seguito viene meglio descritta la procedura utilizzata.

Per la valutazione dei parametri di infiltrazione, finalizzata a consentire la stima della quota di sollecitazione meteorica che viene infiltrata nel terreno e conseguentemente del contributo meteorico “netto” che viene direttamente convogliato nel reticolo idrografico, si è fatto riferimento al Metodo SCS Curve Number”, messo a punto dal dipartimento dell’Agricoltura degli Stati Uniti [U.S. Dept. Agric. Soil Conservation Service, 1972].

Rimandando alla letteratura tecnica per i dettagli del metodo, per i nostri scopi è opportuno evidenziare che esso, per valutare l’infiltrazione nel sottosuolo, tiene conto della combinazione di due fattori:

- la natura del terreno ed in particolare la classe di permeabilità;
- l’uso del suolo;

sintetizzandoli globalmente nell’attribuzione a ciascuna particella di terreno di un proprio valore del parametro adimensionale CN (con range che va da 0 a 100).

Per caratterizzare la natura del suolo del territorio della provincia di Mantova si è partiti dalla “*carta della litologia della Regione Lombardia*” fornita dalla geoportale regionale; ai fini della caratterizzazione della propensione all’infiltrazione si è innanzitutto provveduto a raggruppare ciascuna unità litologica, facendola rientrare all’interno di uno dei seguenti 4 gruppi idrologici:

- **A:** Suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso e alti tassi di infiltrazione, anche quando sono completamente umidi. Comprende sabbie profonde, sabbia-franca e materiale franco-sabbioso, con scarsissima presenza di limo e argilla e ghiaie profonde. Risultano molto permeabili, con tasso di trasmissione maggiore di 7,6 mm/h. Capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
- **B:** Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso e modesto tasso di infiltrazione quando sono

completamente umidi. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi abbastanza profondi e drenati (meno profondi, rispetto al gruppo A), con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana. Hanno un tasso di infiltrazione compreso tra 3,8 e 7,6 mm/h. Elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.

- **C:** Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta e bassi tassi di infiltrazione quando sono completamente umidi . Sono principalmente composti da terreni con strati che impediscono il movimento di percolazione dell'acqua. Suoli franchi argillo-sabbiosi, contenenti considerevoli qualità di argilla e colloidali, con tessitura abbastanza fine. Tasso di trasmissione compreso tra 1,3 e 3,8 mm/h Scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
- **D:** Potenzialità di deflusso molto elevata e percentuale di infiltrazione molto bassa quando sono completamente umidi. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Suoli argillosi, argillo-sabbiosi, argillosi sabbiosi e argillosi limosi, con la presenza di falda in prossimità della superficie. Questi suoli presentano un tasso di trasmissione molto basso (0 - 1,3 mm/h). Scarsissima capacità di infiltrazione a saturazione.

Operando in tal modo si è ottenuta la classificazione riportata nel seguito:

	Tipo Idrologico di Suolo
Conglomerato interglaciale di varia eta' e brecce	A
Ghiaie argillose	A
Ghiaie argillose con sabbia	A
Ghiaie ben gradate con argilla e sabbia	A
Ghiaie ben gradate con limo e sabbia	A
Ghiaie ben gradate con sabbia	A
Ghiaie limose	A
Ghiaie limose con sabbia	A
Ghiaie poco gradate	A
Ghiaie poco gradate con argilla e sabbia	A
Ghiaie poco gradate con limo e sabbia	A
Ghiaie poco gradate con sabbia	A
Sabbie ben gradate con limo	A
Sabbie limose	A
Sabbie limose con ghiaia	A

Sabbie poco gradate	A
Sabbie poco gradate con ghiaia	A
Sabbie poco gradate con limo	A
Sabbie poco gradate con limo e ghiaia	A
Arenite	B
Limi ghiaiosi	B
Limi sabbiosi	B
Limi sabbiosi con ghiaia	B
Rocce sedimentarie carbonatiche	B
Sabbie argillose	B
Sabbie argillose con ghiaia	B
Sabbie ben gradate con argilla	B
Sabbie ben gradate con limo e ghiaia	B
Sabbie poco gradate con argilla	B
Sabbie poco gradate con argilla e ghiaia	B
Argille con sabbia	C
Argille sabbiose	C
Limi	C
Limi con sabbia	C
Limi ed argille organiche sabbiose	C
Rocce sedimentarie silicee	C
Argille	D
Torbiditi, argille e marne con livelli e/o lenti arenacee e/o calcaree	D
no soil	D

Per l'uso del suolo si è invece fatto riferimento alla carta "DUSAF - Regione Lombardia" che suddivide l'intero territorio regionale in specifiche categorie. Al fine di ottenere una caratterizzazione utile a ricostruire il comportamento idrologico del territorio si è poi provveduto, per la provincia di Mantova, ad assegnare un valore del parametro adimensionale CN a ciascuna delle categorie dell'Uso sullo DUSAF e per ciascuno dei 4 gruppi idrologici A, B, C, D, precedentemente definiti.

cod_ DUSAF	descriz_DUSAF	Gruppi Idrologici del suolo			
		A	B	C	D
211	Seminativi	68	77	84	88
2111	Seminativi semplici	67	75	83	87
2112	Seminativi arborati	69	79	85	89
2113	Colture orticole	69	79	85	89
2114	Colture floro-vivaistiche	69	79	85	89
2115	Orti familiari	69	79	85	89
21131	Colture orticole a pieno campo	69	79	85	89
21132	Colture orticole protette	69	79	85	89
21141	Colture floro-vivaistiche a pieno campo	69	79	85	89
21142	Colture floro-vivaistiche protette	69	79	85	89
213	Risaie	65	72	83	87
221	Vigneti	67	77	83	87
221b	Vigneti misti a frutteti	66	76	82	86
221c	Frutteti con vigneti	66	76	82	86
222	Frutteti e frutti minori	65	75	82	86
223	Oliveti	65	75	82	86
3114	Castagneti da frutto	67	78	85	89
2241	Pioppeti	67	78	85	89
2242	Altre legnose agrarie	67	78	85	89
231	Prati permanenti	54	74	81	85
2311	Prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive	54	74	81	85
2311b	Prati permanenti di pianura con coltivazioni foraggere, associati a seminativi	59	75	83	87
2312	Prati permanenti con presenza di specie arboree ed arbustive	69	81	86	89
321	praterie naturali d'alta quota	54	74	81	85
3211	Praterie naturali d'alta quota con assenza di specie arboree ed arbustive	49	71	86	89
3212	Praterie naturali d'alta quota con presenza di specie arboree ed arbustive sparse	69	81	86	89

3112	Boschi di latifoglie	42	65	76	80
311	Boschi di latifoglie	42	65	76	80
3111	Boschi di latifoglie	42	65	76	80
31111	Boschi di latifoglie a densita' media e alta governati a ceduo	42	65	76	80
31112	Boschi di latifoglie a densita' media e alta governati ad alto fusto	42	65	76	80
31121	Boschi di latifoglie a densita' bassa governati a ceduo	42	65	76	80
31122	Boschi di latifoglie a densita' bassa governati ad alto fusto	42	65	76	80
312	Boschi conifere	42	65	76	80
3121	Boschi di conifere a densita' media e alta	42	65	76	80
3122	Boschi di conifere a densita' bassa	42	65	76	80
313	boschi misti	42	65	76	80
3131	boschi misti a densita' media e alta	42	65	76	80
3132	Boschi misti a densita' bassa	42	65	76	80
31311	Boschi misti a densita' media e alta governati a ceduo	42	65	76	80
31312	Boschi misti a densita' media e alta governati ad alto fusto	42	65	76	80
31321	Boschi misti a densita' bassa governati a ceduo	42	65	76	80
31322	Boschi misti a densita' bassa governati ad alto fusto	42	65	76	80
3113	Formazioni ripariali	42	65	76	80
314	Rimboschimenti recenti	42	65	76	80
322	cespuglieti	46	67	77	84
324	cespuglieti	46	67	77	84
3221	Cespuglieti	46	67	77	84
3222	Vegetazione dei greti	98	98	98	98
3223	Vegetazione degli argini sopraelevati	46	67	77	84
3223b	Vegetazione arbustiva e cespuglieti	46	67	77	84
3223c	Vegetazione in evoluzione verso forme forestali	46	67	77	84
3223d	Vegetazione palustre e delle torbiere	98	98	98	98
3223e	Vegetazione rupestre e dei detriti	68	79	86	89
3241	Cespuglieti con presenza significativa di specie arbustive alte ed arboree	46	67	77	84
3242	Cespuglieti in aree agricole abbandonate	68	79	86	89

333	Vegetazione rada	68	79	86	89
411	Vegetazione delle aree umide interne e delle torbiere	98	98	98	98
2313	Marcite	98	98	98	98
332	Accumuli detritici e affioramenti litoidi privi di vegetazione	72	82	87	90
131	Cave	72	82	87	90
132	Discariche	72	82	87	90
134	Aree degradate non utilizzate e non vegetate	72	82	87	90
331	Spiagge, dune ed alvei ghiaiosi	25	55	70	77
335	Ghiacciai e nevi perenni	36	60	73	79
511	Alvei fluviali e corsi d'acqua artificiali	100	100	100	100
5121	Bacini idrici naturali	100	100	100	100
5122	Bacini idrici artificiali	100	100	100	100
5123	Bacini idrici da attività estrattive interessanti la falda	100	100	100	100
1111	Tessuto residenziale denso	89	92	94	95
1112	Tessuto residenziale continuo mediamente denso	89	92	94	95
1121	Tessuto residenziale discontinuo	77	85	90	92
1122	Tessuto residenziale rado e nucleiforme	60	75	84	89
1123	Tessuto residenziale sparso	55	71	80	85
11231	Cascine	55	71	80	85
12111	Insedimenti industriali, artigianali, commerciali	81	88	91	93
12112	Insedimenti produttivi agricoli	62	76	83	87
12121	Insedimenti ospedalieri	89	92	94	95
12122	Impianti di servizi pubblici e privati	89	92	94	95
12123	Impianti tecnologici	89	92	94	95
12124	Cimiteri	81	88	91	93
12125	Aree militari obliterate	89	92	94	95
12126	Impianti fotovoltaici a terra	89	92	94	95
122	Reti stradali e ferroviarie	98	98	98	98
1221	Reti stradali e spazi accessori	98	98	98	98
1222	Reti ferroviarie e spazi accessori	72	82	87	89

123	Aree portuali	72	82	87	89
124	Aeroporti ed eliporti	72	82	87	89
133	Cantieri	72	82	87	89
1411	Parchi e giardini	68	79	86	89
1412	Aree verdi incolte	68	79	86	89
1421	Impianti sportivi	49	69	79	84
1422	Campeggi e strutture turistiche e ricettive	49	69	79	84
1423	Parchi divertimento	77	85	90	92
1424	Aree archeologiche	68	79	86	89

Si è infine provveduto, con tecniche GIS, ad intersecare i 2 tematismi:

- natura del suolo (litologia suddivisa sulla base dei 4 gruppi idrologici A,B,C,D);
- uso del suolo, (categorie Dusaf con attribuzione del valore di CN);

così da ottenere una suddivisione del territorio di interesse in poligoni caratterizzati da uno specifico valore del parametro adimensionale CN, in funzione della sua classificazione riguardo alla categoria di uso del suolo ed al gruppo idrologico. Come detto in precedenza, tale suddivisione fornisce gli elementi necessari per considerare il ruolo dell'infiltrazione nella successiva modellazione "afflussi-deflussi" del territorio di interesse.

Le carte elaborate per l'intero comprensorio di bonifica preso in considerazione sulla base degli strati informativi vettoriali prodotti relative a:

- litologia, natura del suolo, "*carta della litologia della Regione Lombardia*";
- uso del suolo, carta "DUSAF - Regione Lombardia";
- Curve Number;

sono riportate rispettivamente nelle Figg. 38, 39 e 40.

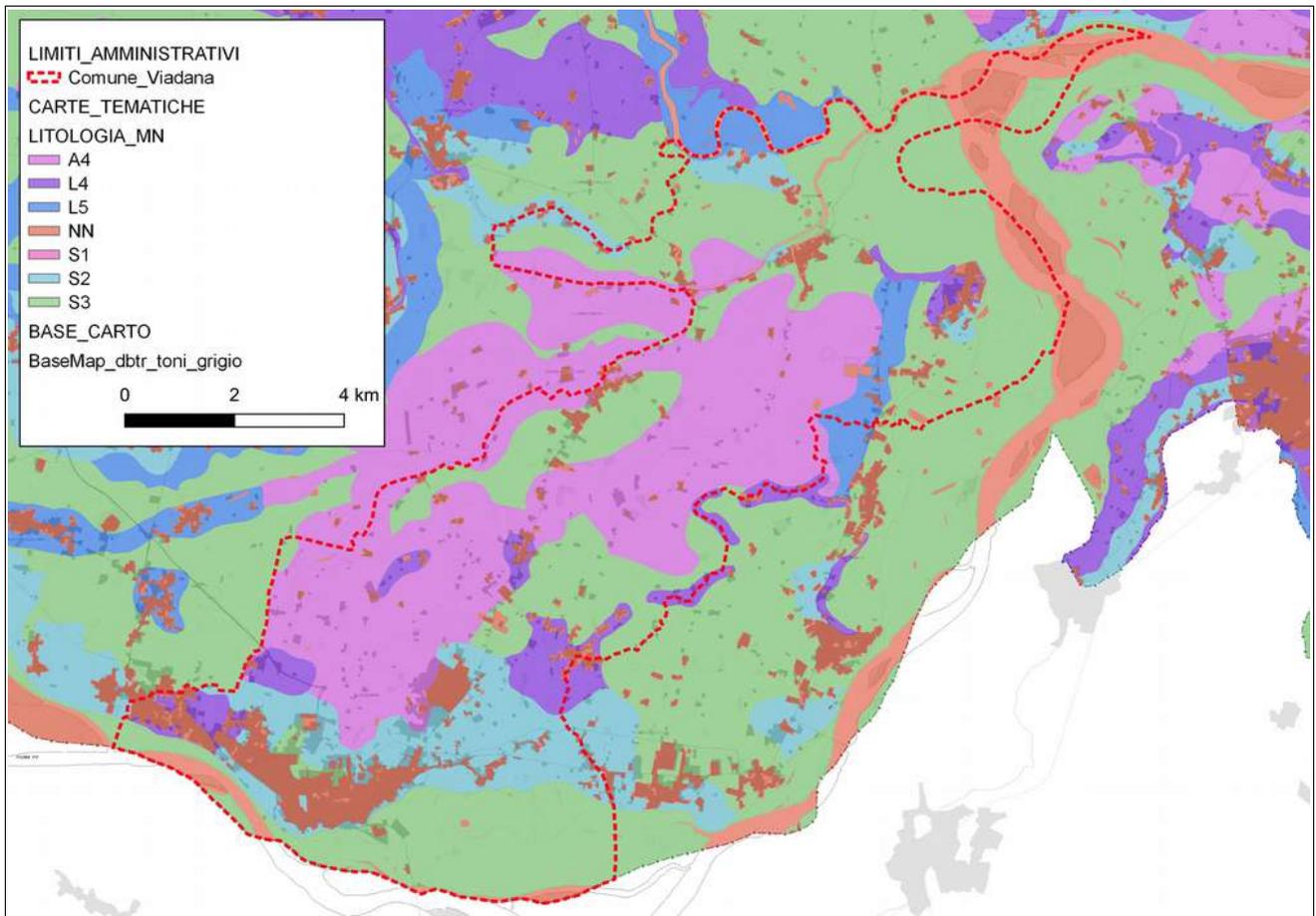


Fig. 38 - Carta della litologia della Regione Lombardia

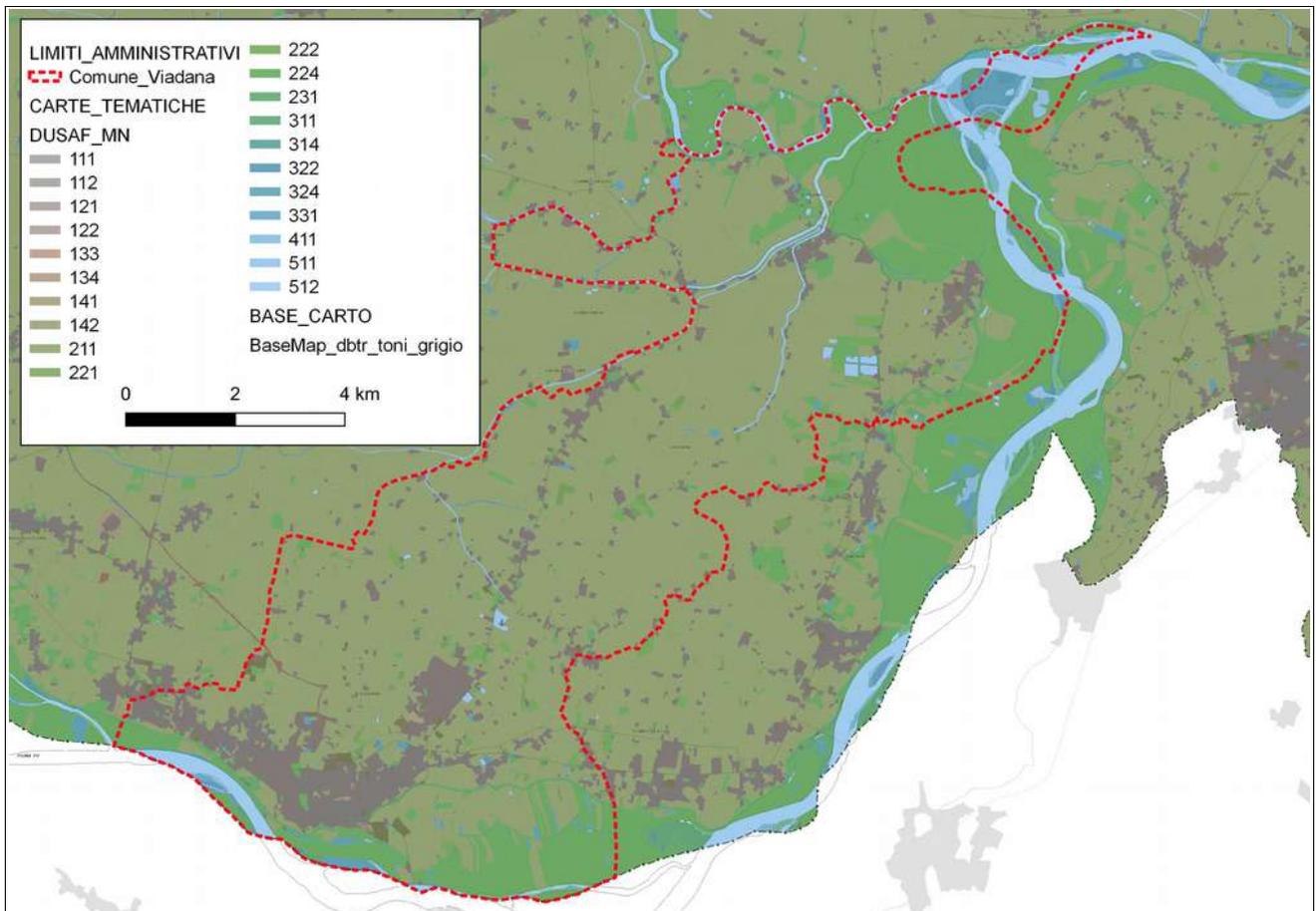


Fig. 39 - Carta dell'uso del suolo, carta "DUSAF - Regione Lombardia"

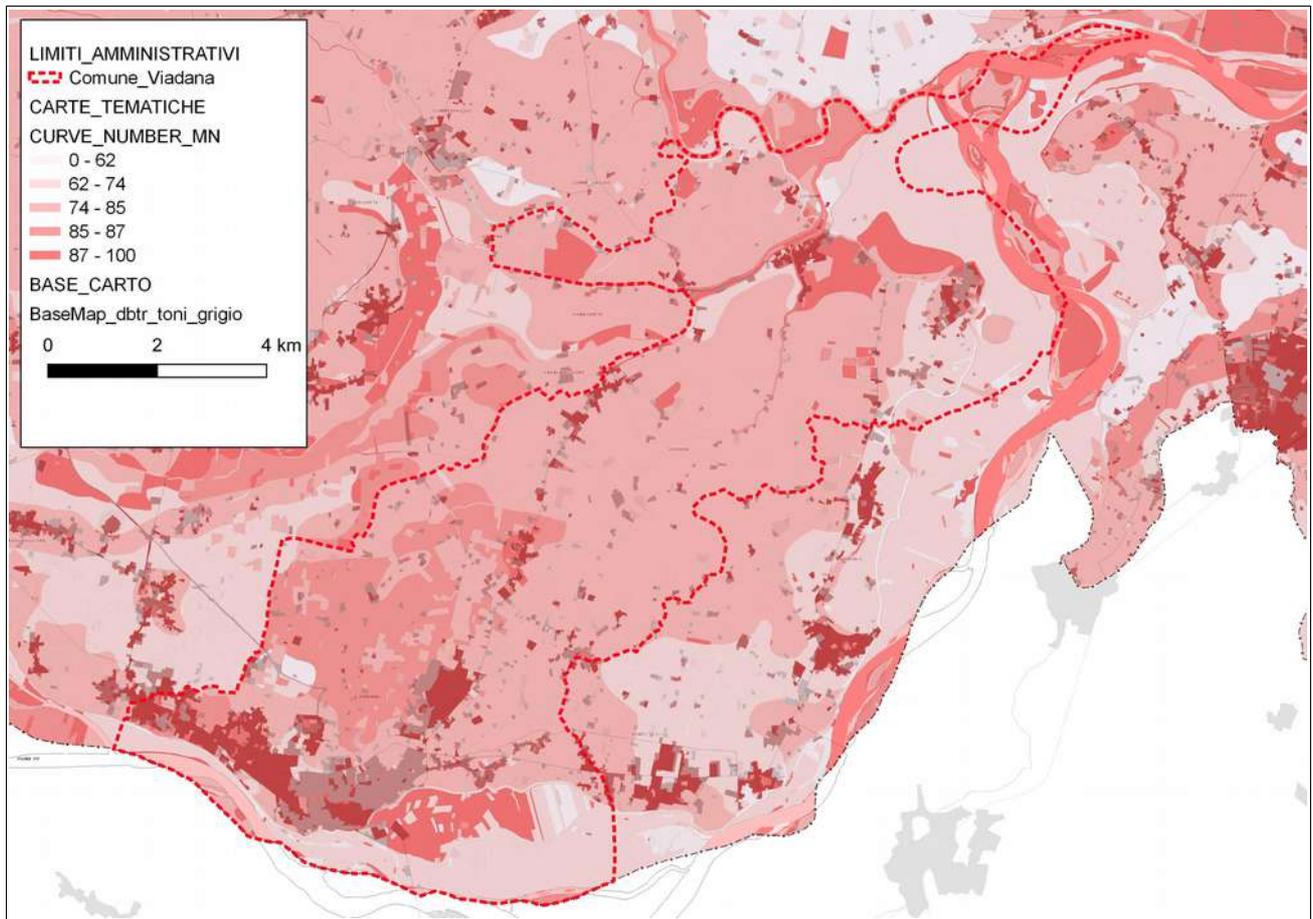


Fig. 40 - Carta del Curve Number

## 2.12 PUBBLICAZIONE SU WEBGIS

Al fine di rendere disponibili all'Amministrazione Comunale i vari prodotti ottenuti al termine di questa prima fase di attività si è preferito optare per la predisposizione di un webgis con accesso riservato sul quale pubblicare tutti gli strati informativi al momento prodotti. Questo strumento garantisce un libero ed agevole accesso alle informazioni territoriali prodotte da parte di tutti i tecnici comunali anche con limitate conoscenze di Sistemi Informativi Territoriali. Altro vantaggio di questa modalità di messa a disposizione dei prodotti ottenuti consiste nella possibilità di sovrapporre gli strati informativi redatti ed altre informazioni territoriali disponibili ed in particolare a quelle pubblicate tramite protocolli WMS, WFS e WCS da parte di varie pubbliche amministrazioni come il MITE, l'Agenzia delle Dogane e la Regione Lombardia.

Infine, con questa modalità di messa a disposizione dei prodotti sarà possibile effettuare un continuo aggiornamento degli strati informativi pubblicati in funzione dei nuovi dati acquisiti e dei risultati delle elaborazioni condotte nelle successive fasi di attività.

La piattaforma webgis utilizzata è basata unicamente su strumenti Open Source ed in particolare sul data base PostGis e gli applicativi Geoserver, come contenitore di mappe, e Mapbender, per la pubblicazione delle stesse. Questi strumenti consentono una rapida ed agevole personalizzazione delle singole mappe e soprattutto non sono soggetti a costi di licenze annuali per cui sgravano la Pubblica Amministrazione, nel caso in cui successivamente vorrà fare propri questi strumenti, dell'onere di costose licenze annuali. La piattaforma webgis è attualmente ospitata su un server della società RUWA Srl presso la propria sede di Catanzaro.

Di seguito si descrive sinteticamente la procedura di consultazione del webgis e le sue principali funzionalità. La fase di accesso è riportata in Fig. 41, il link per collegarsi è:

<http://188.12.182.152/mapbender/application/viadana>

all'accesso saranno richieste le credenziali (username e password) che saranno comunicate per email.

Una volta fatto l'accesso si passa automaticamente alla schermata di visualizzazione del webgis, vedi Fig. 42, sulla colonna di sinistra, sotto Dati, è presente l'elenco degli strati informativi organizzati in 8 gruppi, in funzione della provenienza del dato cartografica ovvero del contenuto informativo, ed in particolare in:

- Quadro conoscitivo;
- Studio Preliminare;
- Consorzi di Bonifica;
- Gestore Ciclo Integrato delle Acque;
- Cartografia Catastale;
- Limiti Amministrativi;
- Cartografia Tematica;
- Modello digitale del Terreno.

Ogni gruppo può essere aperto o chiuso cliccando sul tasto della cartella presente sulla sinistra del nome del gruppo, e la sua visualizzazione può essere attivata o meno spuntando la casella corrispondente. Aprendo il singolo gruppo appare l'elenco degli strati informativi presenti al suo interno la cui visualizzazione può essere attivata spuntando la casella corrispondente.

In alto si trova la barra degli strumenti con diverse funzionalità messe a disposizione dell'utente:

	interrogare i diversi strati informativi (opera unicamente sugli strati informativi visualizzati)
	stampare la mappa che si sta visualizzando con la possibilità di personalizzare il layout
	esportare in formato jpg e png la mappa che si sta visualizzando
	aprire la legenda in una finestra pop-up
	caricare uno strato informativo WMS da sorgente esterna
	caricare la posizione del GPS
	misurare distanze
	misurare superfici
	avere informazioni sul sistema
	condividere URL della mappa che si sta visualizzando

Sulla sinistra è presente in verticale una barra sulla quale si può scegliere il livello dello zoom voluto, la selezione dello zoom può essere fatta anche con la rotellina del mouse.

In basso invece sono presenti da sinistra:

- le coordinate del punto della mappa in cui è posizionato il mouse;
- il sistema di proiezione impostato, di default è il WGS 84 / UTM zona 32 N ma si può scegliere anche Monte Mario / Italy zona 1 (Gauss Boaga) oppure WGS 84 (coordinate geografiche);
- la scala di visualizzazione.

In basso a destra poi sono riportate ulteriori strumenti ed in particolare:

- Mappe di sfondo: permette di selezionare la cartografia di sfondo da utilizzare per la visualizzazione tra quelle disponibili;
- Sketches: permette di inserire ed editare nella mappa punti, linee, forme geometriche regolari (rettangoli e cerchi) e poligoni;

- Coordinate utility: permette di inserire un punto di coordinate note e/o di convertire le coordinate di un punto da un sistema a un altro;
- Legenda: permette di visualizzare le legende degli strati informativi attualmente visualizzati.

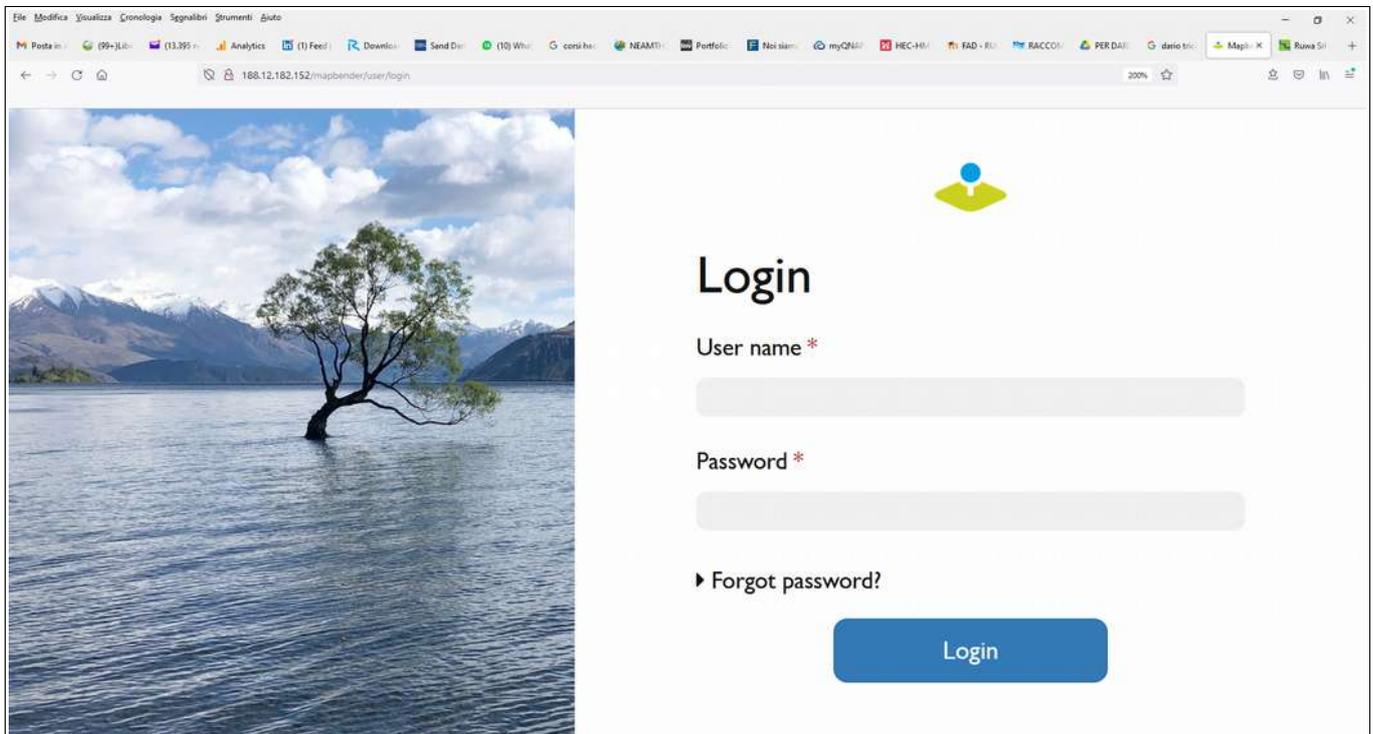


Fig. 41 - Webgis – Pannello di accesso

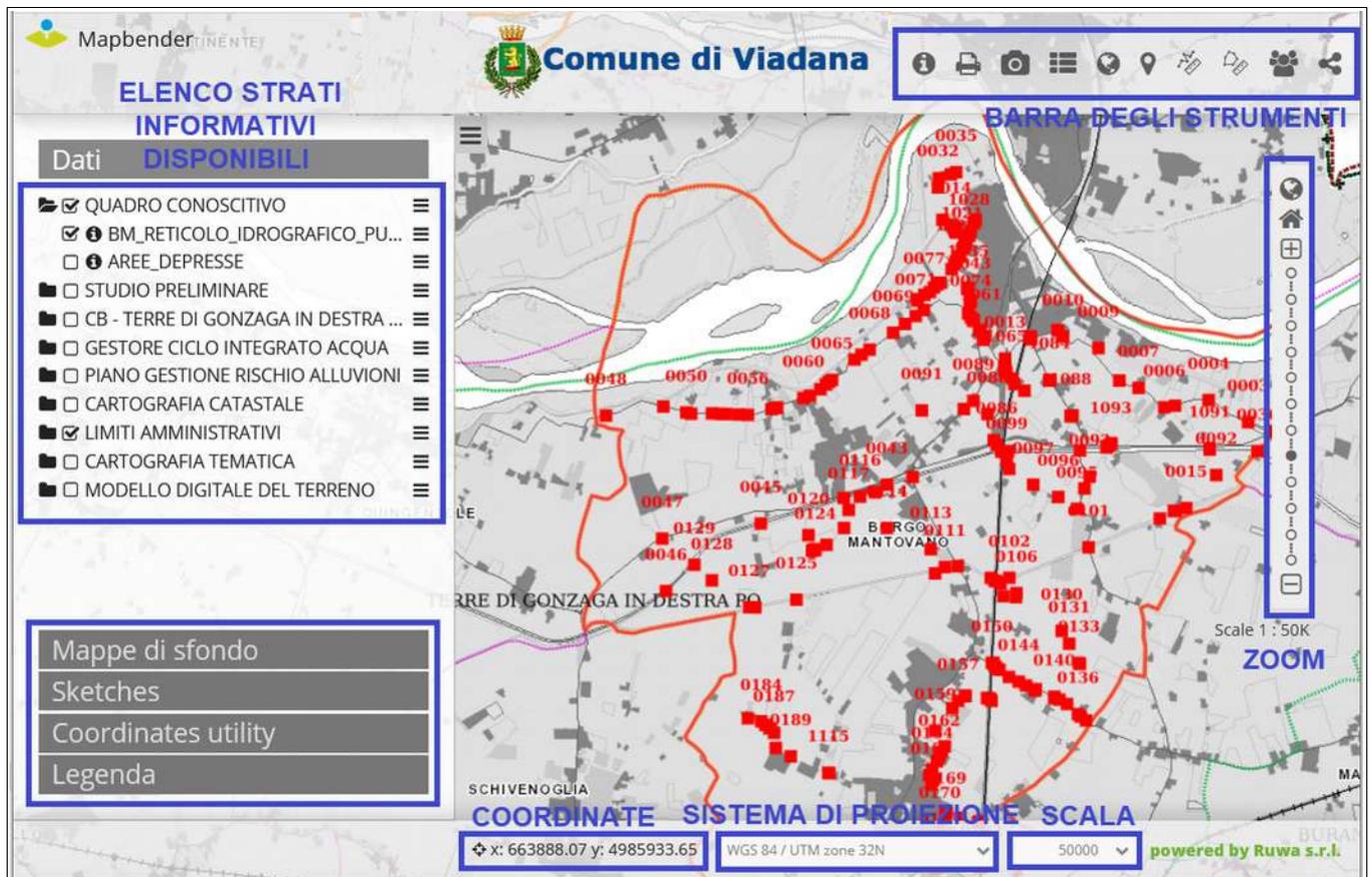


Fig. 42 - Webgis – Schermata visualizzazione

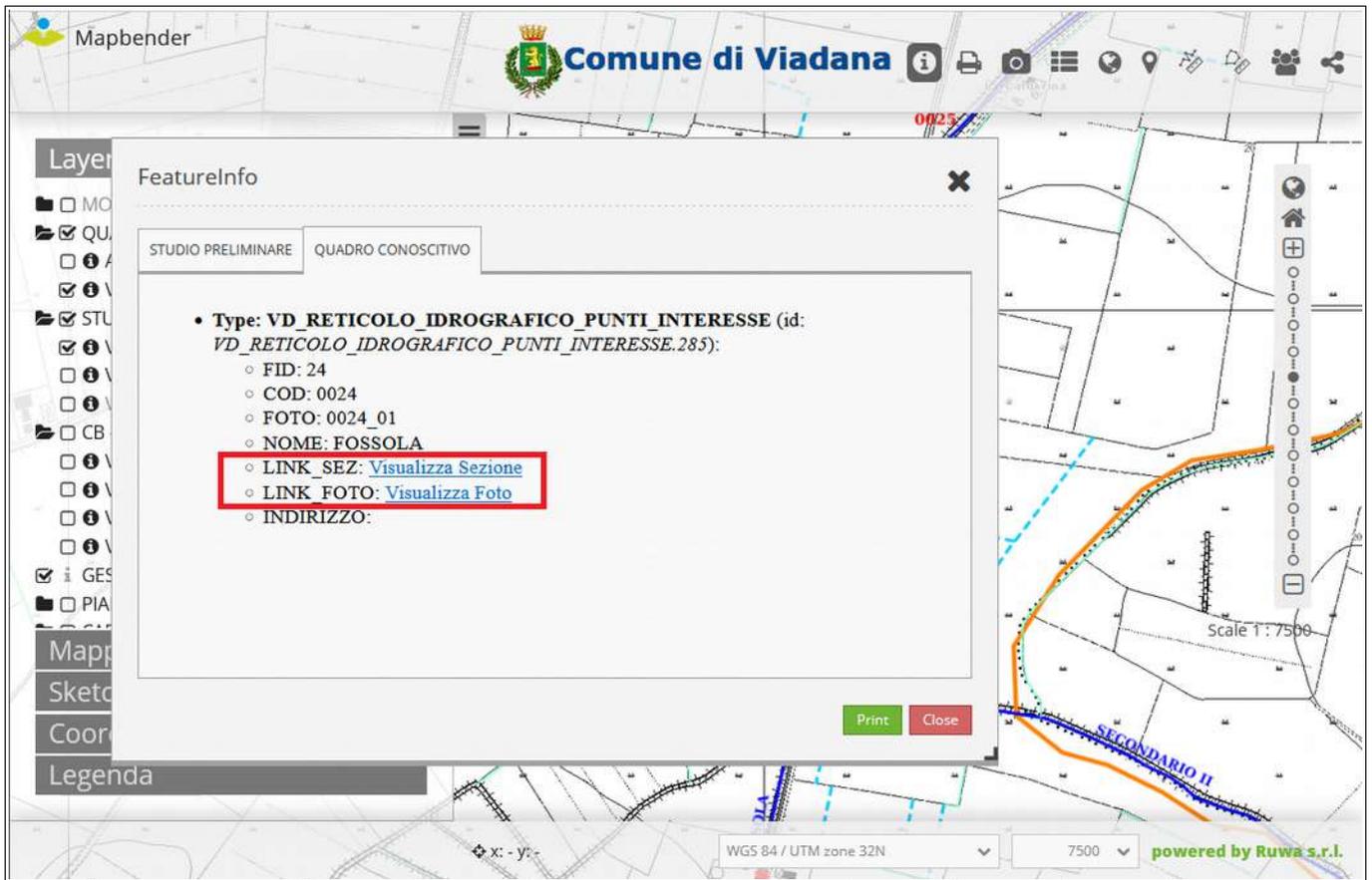


Fig. 43 - Webgis – Consultazione dati

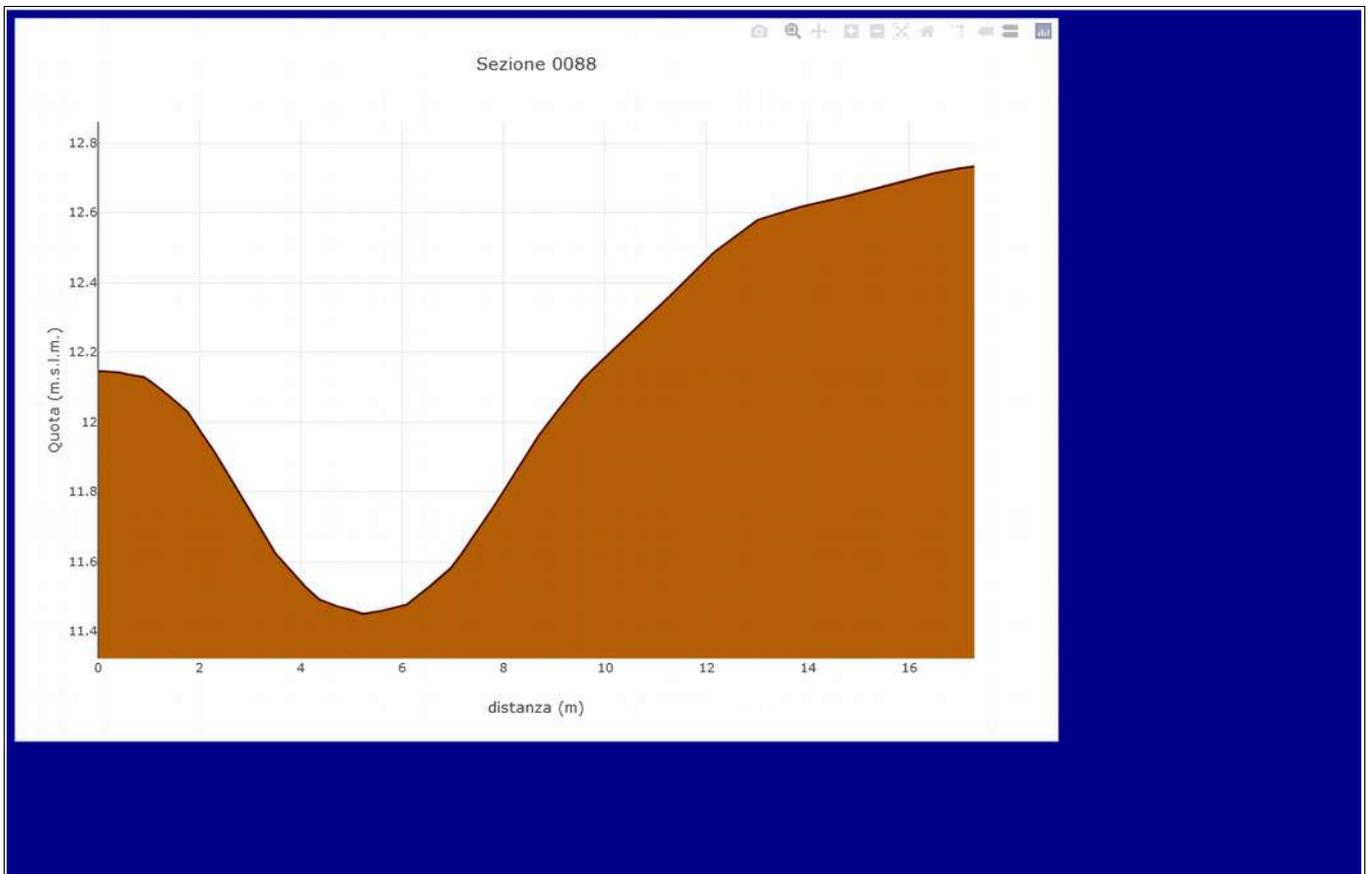


Fig. 44 - Webgis – Visualizzazione sezione

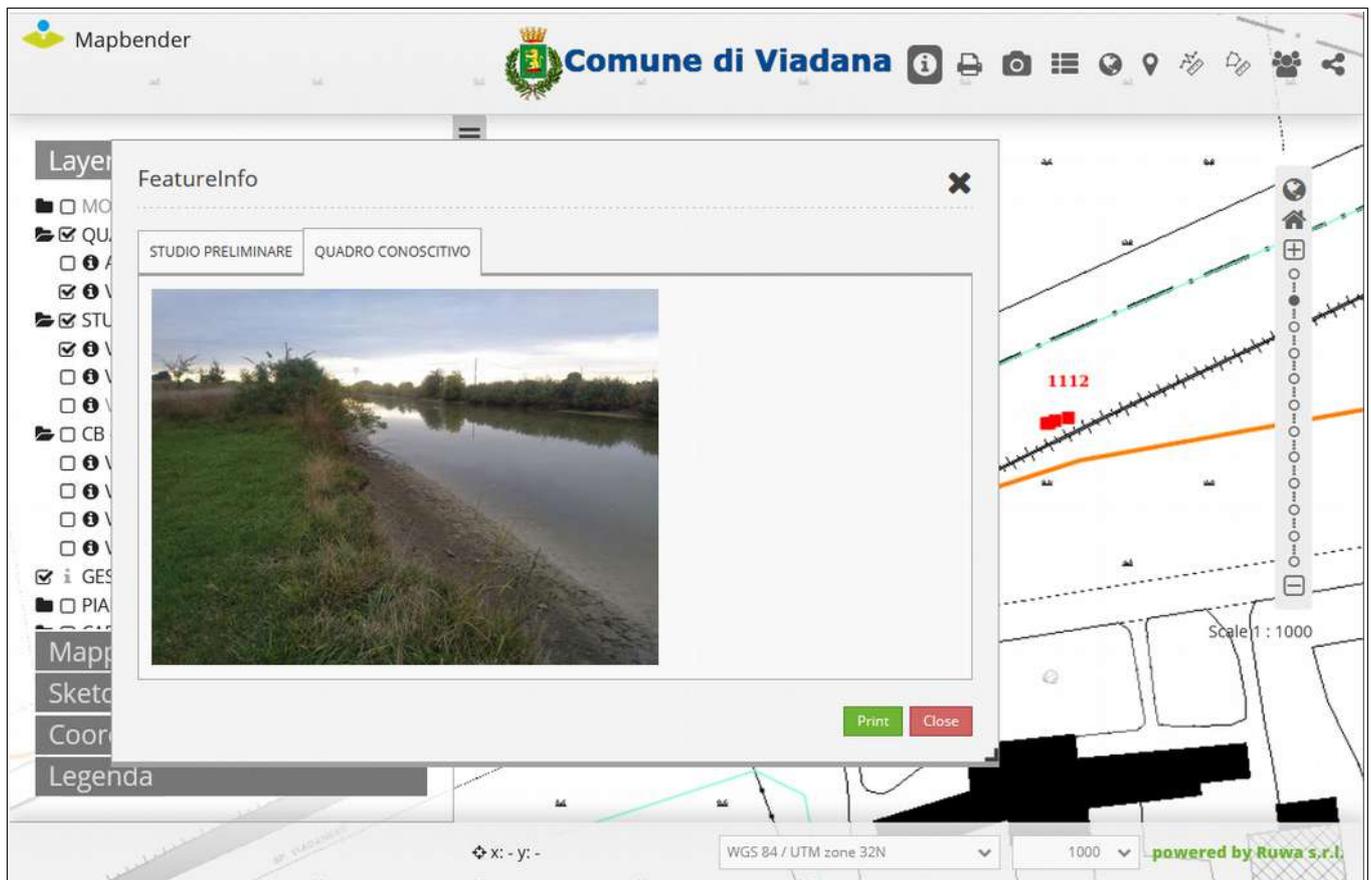


Fig. 45 - Webgis – Visualizzazione foto

I risultati delle attività attualmente svolte sono contenuti nel gruppo “Quadro Conoscitivo”, in particolare è presente lo strato informativo dei punti di interesse e delle aree depresse la cui elaborazione è descritta nei paragrafi 2.8 e 2.9. attraverso l'icona  è possibile interrogare lo strato informativo dei punti di interesse, vedi Fig 43. Tra le diverse informazioni che è possibile ottenere dalla consultazione vi è in particolare la possibilità di visualizzare la sezione idraulica ove disponibile in corrispondenza del punto, Fig. 44, cliccando su [Visualizza Sezione](#), e la foto del punto di interesse, vedi Fig. 45, cliccando su [Visualizza Foto](#).

All'avanzare delle fasi di attività previste nell'incarico saranno aggiunti gli strati informativi che mano a mano saranno prodotti.

## **2.13 FASI SUCCESSIVE**

Nel prosieguo delle attività saranno eseguite le fasi successive previste nell'incarico ricevuto che consistono nella realizzazione di una modellazione idraulica di dettaglio finalizzata all'individuazione delle criticità e delle aree allagabili allo stato attuale e nella ottimizzazione del piano di interventi. In particolare saranno svolte le seguenti attività:

- 1 Modellazione idraulica finalizzata all'individuazione delle aree allagabili:
  - 1.1 determinazione delle capacità di infiltrazione del suolo;
  - 1.2 implementazione di un modello idrologico dei bacini di interesse con l'ausilio del software HEC – HMS, finalizzato alla determinazione di diversi scenari idrologici;
  - 1.3 modellazione idraulica di dettaglio finalizzata all'individuazione delle principali criticità idrauliche;
  - 1.4 verifica sul campo delle criticità idrauliche sulla base dei risultati ottenuti dalla modellazione idraulica di dettaglio;
  - 1.5 modellazione idraulica definitiva opportunamente aggiornata con le risultanze dei sopralluoghi di verifica;
- 2 Ottimizzazione del piano degli interventi:
  - 2.1 implementazione del modello idrologico/idraulico con il piano degli interventi previsti;
  - 2.2 verifica e ottimizzazione degli interventi previsti.