

# Comune di San Pietro in Casale (BO)

**Piano Urbanistico Attuativo in variante al POC, ambito per nuovi insediamenti su area libera (ANS-C n.9) sub comparto 9.B.**

## **RELAZIONE PER IL PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)**

Bologna, Maggio 2023



*Ing. Marco Maglionico*  
Via della Beverara, 224/7  
40131 – Bologna  
Tel. 3482629797  
e-mail: [marco.maglionico@gmail.com](mailto:marco.maglionico@gmail.com)

*Ing. Margherita Altobelli*  
Via Panerazzi, 210  
40014 – Crevalcore (BO)  
Tel. 3408592783  
e-mail: [margherita.altobelli.bo@gmail.com](mailto:margherita.altobelli.bo@gmail.com)

---

**INDICE**

1. INTRODUZIONE.....	3
2. STATO DI FATTO.....	6
3. PARAMETRI IDROLOGICI DI PROGETTO .....	9
4. CONFORMITA' DELL'INTERVENTO RISPETTO AL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA .....	11
5. ANALISI IDROLOGICA.....	20
6. MODELLO IDRAULICO DI ALLAGAMENTO .....	29
7. CONCLUSIONI INERENTI IL PGRA.....	34







Figura 2 - Immagine aerea dell'area oggetto di intervento con individuati i principali corsi d'acqua.

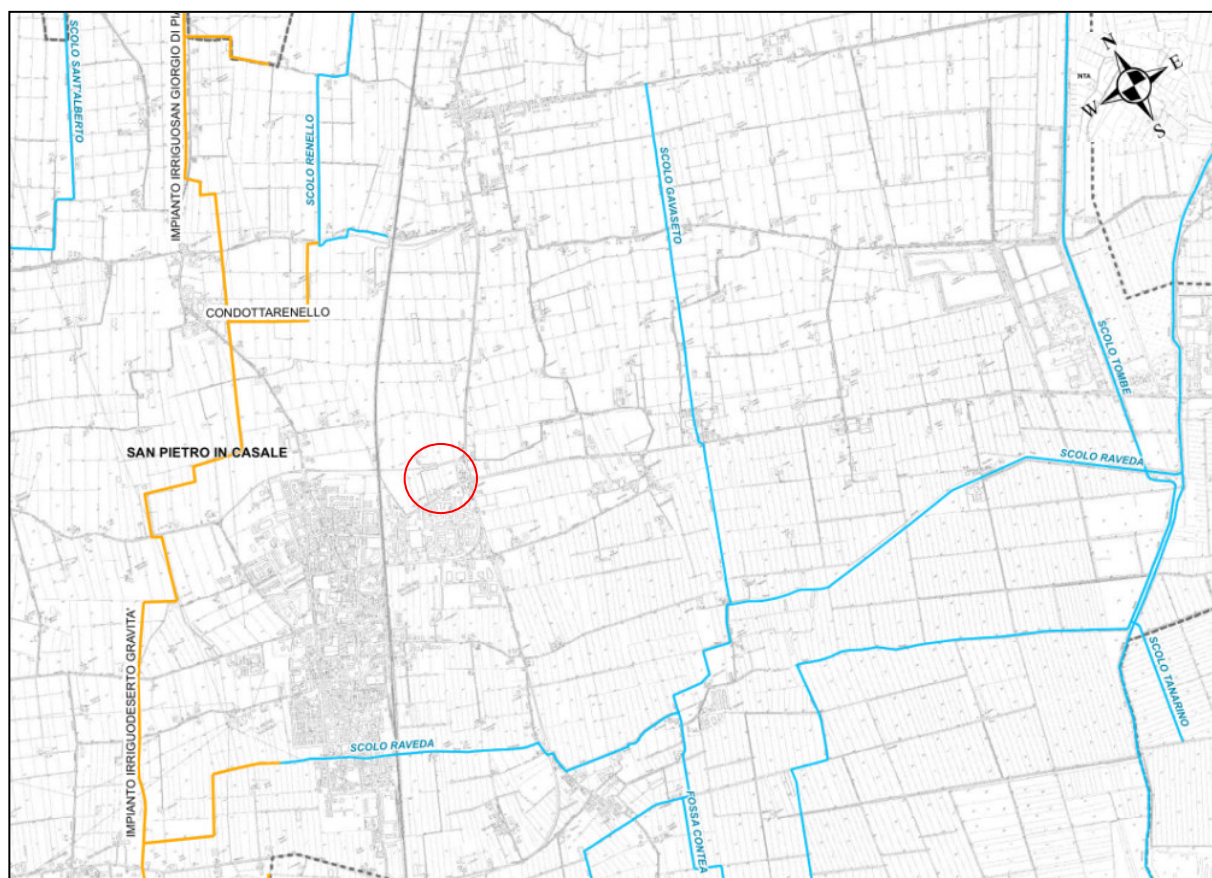
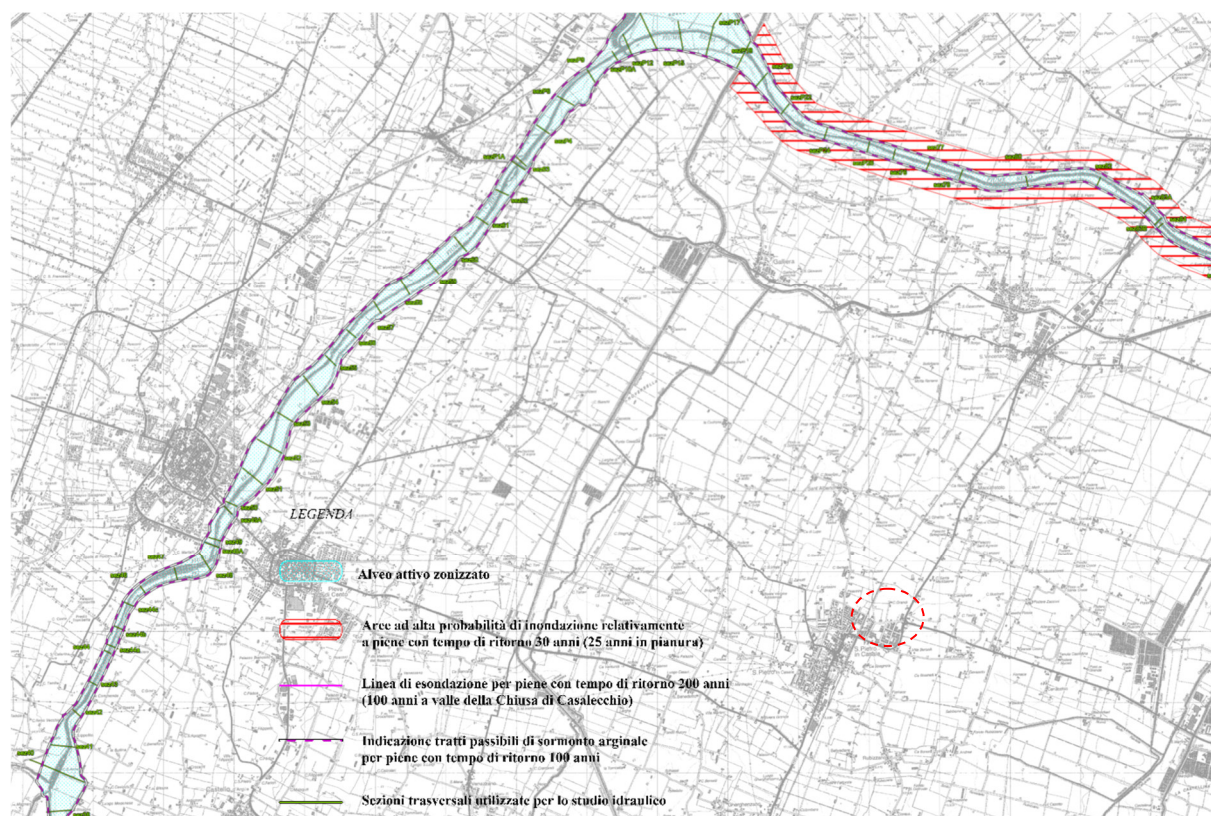


Figura 3– Rappresentazione dei canali principali gestiti dal Consorzio della Bonifica Renana e localizzazione dell'area di interesse.



Secondo quanto riportato dalla tavola B.3 allegata al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Reno, il tratto del fiume è passibile a possibile sormonto arginale per piene con Tempi di Ritorno pari a 100 anni e nel tratto più a nord dell'area il Reno presenta delle aree ad alta probabilità di inondazione relativamente a piene con TR pari a 25 anni in pianura.



*Figura 4 – Stralcio della Tavola 3.B allegata al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Reno con individuata l'area oggetto di intervento.*

La presente relazione riguarda gli aspetti inerenti al PGRA; nel seguito verranno evidenziati i vincoli normativi per quanto riguarda gli aspetti idraulici e le soluzioni progettuali adottate per non incrementare il rischio idraulico da alluvione.

## 2. STATO DI FATTO

È stato analizzato il LIDAR-DTM della Regione Emilia-Romagna dell'area oggetto di intervento in relazione ai principali corsi d'acqua presenti (tratti blu nell'immagine a seguire).

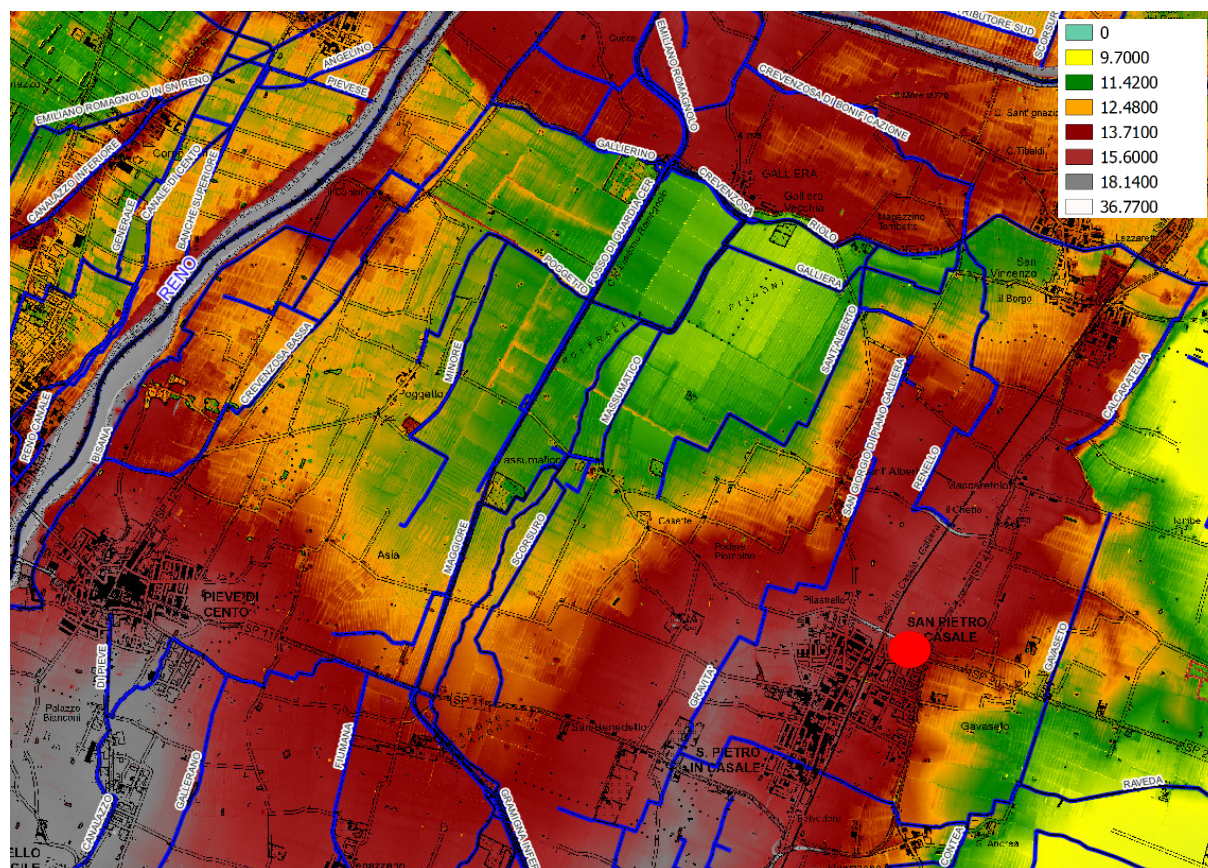


Figura 5 – LIDAR dell'area oggetto di intervento su base ctr.

Osservando l'andamento del terreno si può notare come tra il Fiume Reno e l'area in oggetto sia presente una zona ribassata alla quota di circa 11.50 m s.l.m. confinata nella parte a nord dallo scolo Cervenzosa e dallo scolo Riolo che evidenziano un innalzamento della quota del terreno di circa 3 metri.

Nel seguito si analizza l'andamento del terreno tra l'area di interesse e gli scoli di bonifica Gavaseto e Raveda.



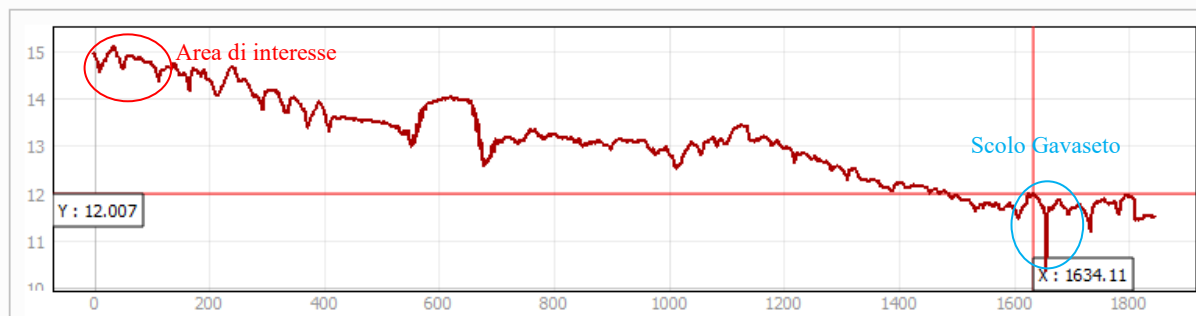
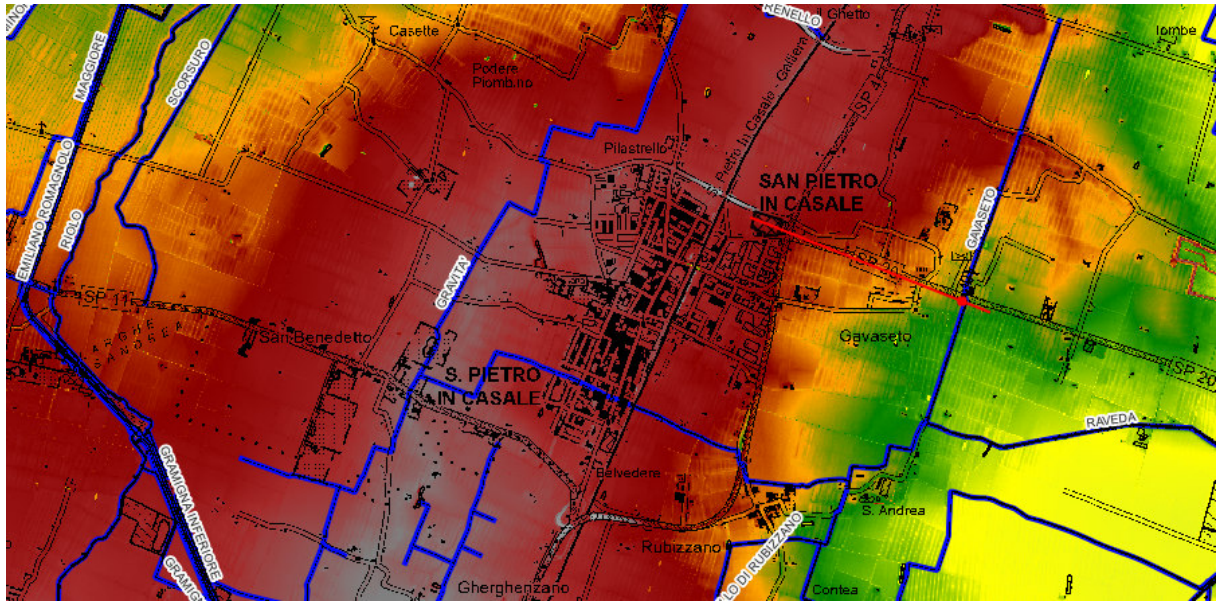


Figura 6 – Profilo del terreno in corrispondenza della sezione longitudinale tra l'area di interesse e lo scolo Gavaseto.

L'area di interesse si trova in posizione sopraelevata pari a circa 3 metri rispetto all'argine sinistro dello scolo Gavaseto pertanto tale scolo non rappresenta una potenziale fonte di rischio da allagamento per l'area di intervento.

Rispetto allo scolo Raveda l'area risulta pressoché pianeggiante; pertanto, sarà valutato il rischio da allagamento per l'area di interesse attraverso la modellazione idraulica.



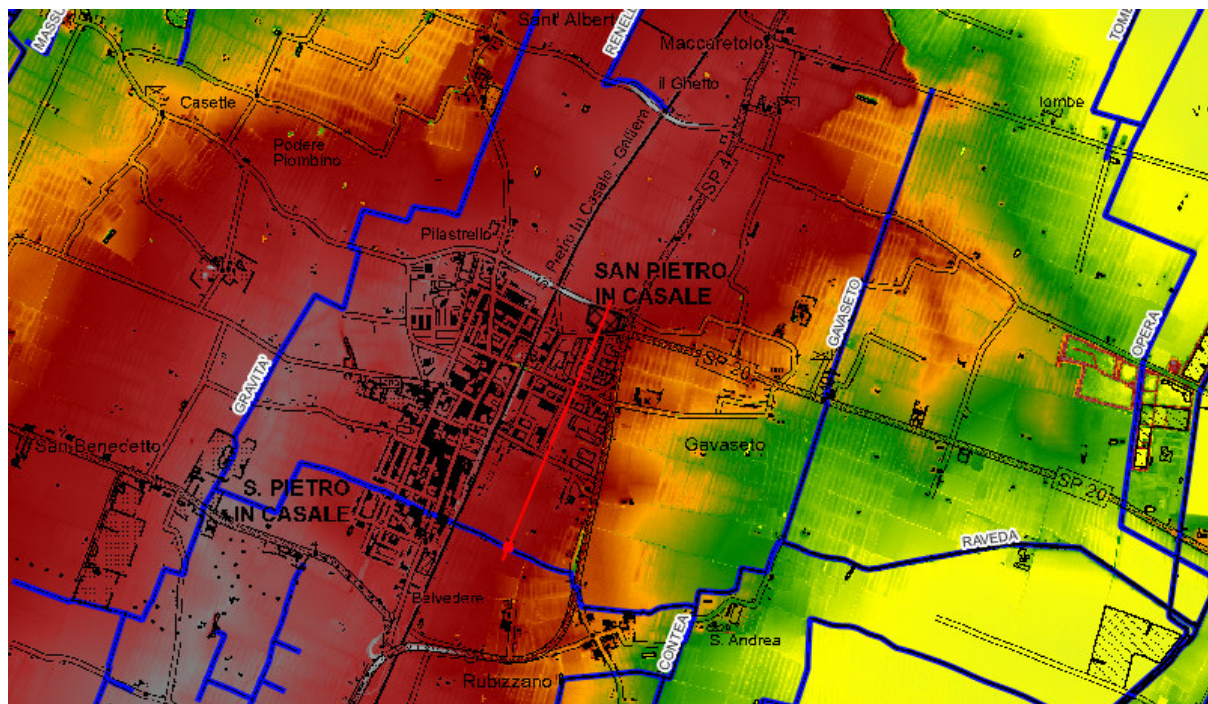


Figura 7 – Profilo del terreno in corrispondenza della sezione longitudinale tra l'area di interesse e lo scolo Raveda.

### 3. PARAMETRI IDROLOGICI DI PROGETTO

Per individuare le piogge di progetto è stata sviluppata una specifica e approfondita analisi delle precipitazioni di forte intensità e breve durata, responsabili dei massimi deflussi, per l'area del progetto e si è poi provveduto a definire la curva di possibilità pluviometrica.

Lo studio della pluviometria viene svolto facendo riferimento ai dati degli Annali Idrologici relativi alle precipitazioni registrate al pluviografo di Bologna.

Complessivamente erano disponibili 88 anni di dati, dal 1934 al 2021, da cui si sono selezionati gli eventi di breve durata e forte intensità di durata 10, 15, 20, 30, 45 minuti, e gli eventi di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Per l'analisi delle altezze di pioggia si è adottata la legge per i valori estremi di Gumbel:

$$P(h \leq \bar{h}) = e^{-e^{-\alpha(\bar{h}-u)}}$$

La Curva di Possibilità Pluviometrica è stata ottenuta suddividendo i dati in due gruppi, quelli di durata fino all'ora e quelli di durata da 1 ora a 24 ore.

Per la successiva verifica degli aspetti idraulici e relativamente alle soluzioni progettuali adottate per non incrementare il rischio idraulico da alluvione, si riporta la curva di possibilità pluviometrica che si ottiene con tempo di ritorno **200 anni** e durate **superiori all'ora**:

$$h = 60.048t^{0.268} \quad (\text{h in mm; t in ore}) \quad [1]$$

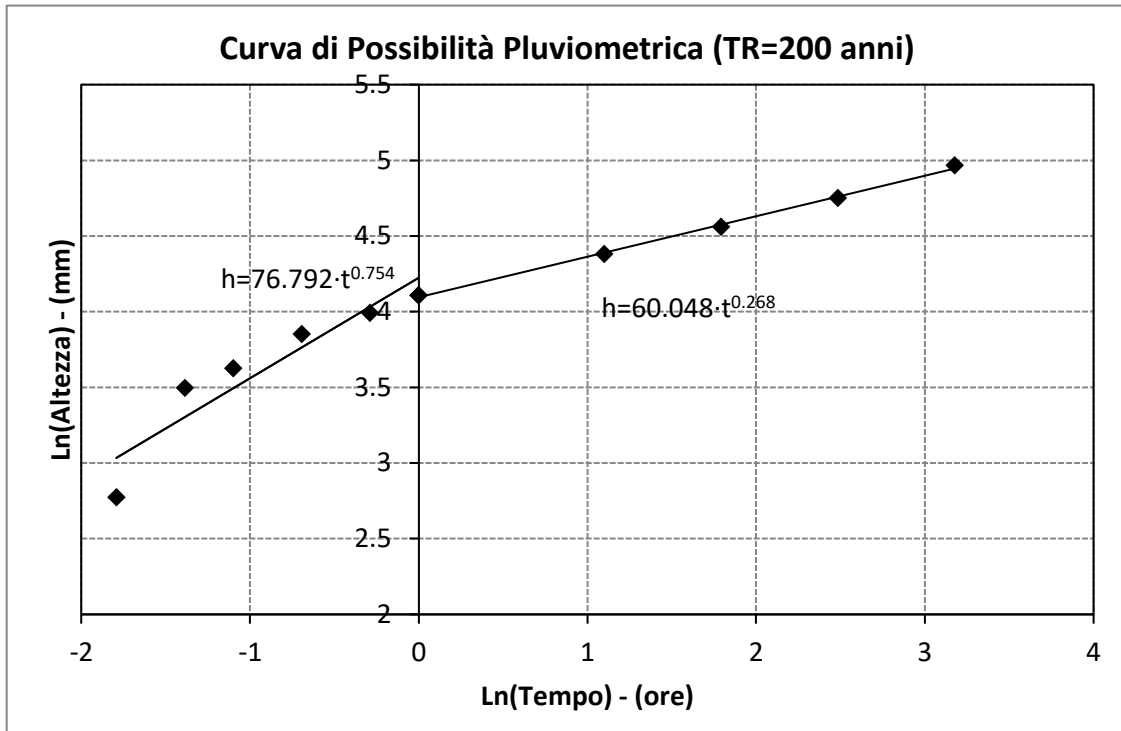


Figura 8 – Grafico della Curva di Possibilità Pluviometrica con TR pari a 200 anni



#### 4. CONFORMITA' DELL'INTERVENTO RISPETTO AL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.) è lo strumento di pianificazione previsto, nella legislazione comunitaria, dalla Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e gestione del rischio di alluvioni, recepita nell'ordinamento italiano con il D.Lgs. n. 49/2010.

I Piani di gestione del rischio di alluvioni (art. 7 Direttiva 2007/60/CE e D.Lgs. 49/2010), adottati il 17 dicembre 2015, sono stati approvati il 3 marzo 2016 dai Comitati Istituzionali delle Autorità di Bacino Nazionali.

A Dicembre 2021 è terminato il secondo ciclo di attuazione della Direttiva che ha portato all'aggiornamento del PGRA e delle relative mappe di pericolosità e del rischio di alluvioni.

Nel corso del 2021, contestualmente alla elaborazione del PGRA (secondo ciclo), sono stati svolti dall'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po importanti approfondimenti nelle APSFR distrettuali arginate, tra cui l'area del Reno, condotti attraverso modelli idraulici bidimensionali e simulazioni di scenari di allagamento conseguenti a processi di tracimazione e rottura arginale nel caso in cui i profili di piena non siano contenibili con franchi adeguati all'interno dei sistemi arginali.

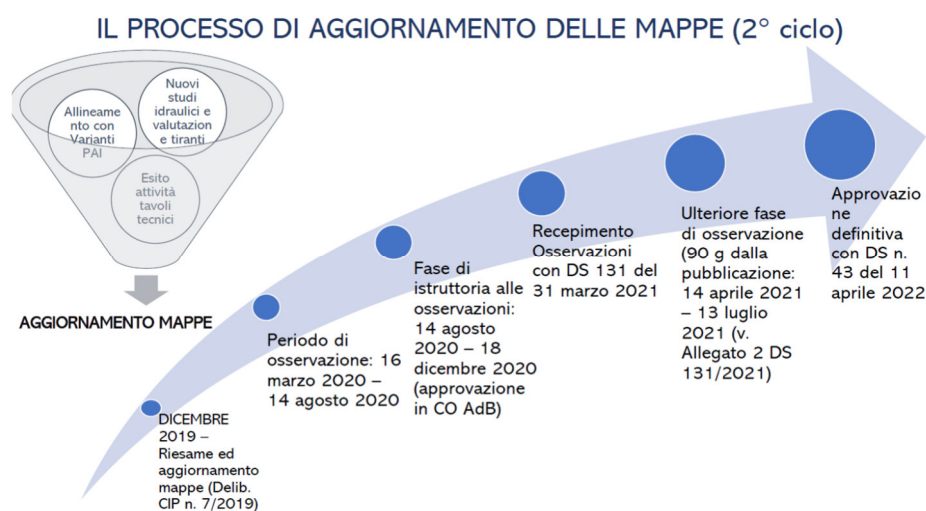


Figura 9 – Schema del processo di aggiornamento del PGRA (II ciclo).

Il territorio della Regione Emilia-Romagna è interessato da due nuovi Piani: il PGRA del distretto padano e del distretto dell'Appennino Centrale. L'edificio d'interesse rientra all'interno del Piano del Distretto Padano o "Distretto Fiume Po".

Il piano si compone di una parte cartografica, consistente nel quadro conoscitivo di settore costituito dall'insieme delle mappe di pericolosità e di rischio di alluvioni a scala di bacino, da una relazione generale (comprensiva di allegati) con le misure relative alle fasi del ciclo di

gestione del rischio di prevenzione e protezione, una parte specifica relativa alle misure di preparazione e ritorno alla normalità ed analisi (Parte B, art. 7, comma b del D.Lgs n. 49/2010) ed il rapporto ambientale.

I Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni sono predisposti sulla base delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni, che costituiscono, quindi, il quadro conoscitivo in riferimento al quale il PGRA individua i propri obiettivi di gestione del rischio e le misure per raggiungerli. Sono uno strumento di informazione e la base di conoscenze per definire le priorità di azione per la riduzione del rischio di alluvione.

Le mappe della pericolosità individuano le aree potenzialmente interessate da inondazioni in relazione a tre scenari:

- Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (P1, probabilità bassa);
- Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno di riferimento fra 100 e 200 anni (P2, media probabilità);
- Alluvioni frequenti: tempo di ritorno di riferimento fra 20 e 50 anni (P3, elevata probabilità).

Le mappe del rischio rappresentano le potenziali conseguenze negative delle alluvioni, espresse in relazione agli elementi potenzialmente coinvolti: popolazione, tipo di attività economiche, patrimonio culturale e naturale, impianti che potrebbero provocare inquinamento accidentale in caso di evento, ecc.. suddividendo il territorio in 4 classi di rischio, ottenute dalle mappe di pericolosità valutando i danni potenziali:

- R4 molto elevato
- R3 elevato
- R2 medio
- R1 moderato o nullo

In riferimento alla definizione di alluvione della Direttiva Alluvioni e del D.Lgs. 49/2010 (“allagamento temporaneo, anche con trasporto ovvero mobilitazione di sedimenti anche ad alta densità, di aree che abitualmente non sono coperte d’acqua. Ciò include le inondazioni causate da laghi, fiumi, torrenti, eventualmente reti di drenaggio artificiale, ogni altro corpo idrico superficiale anche a regime temporaneo, naturale o artificiale, le inondazioni marine delle zone costiere ed esclude allagamenti non direttamente imputabili ad eventi

meteorologici”), la Regione Emilia-Romagna ha predisposto le mappe di pericolosità e rischio in riferimento a tre tipologie di fenomeni:

- fenomeno delle inondazioni generate dai corsi d’acqua naturali (denominato nel PGRA “ambito Corsi d’acqua Naturali”)
- fenomeno delle inondazioni generate dal reticolo secondario di pianura (denominato nel PGRA “ambito Reticolo di Bonifica”)
- fenomeno delle inondazioni generate dal mare (denominato nel PGRA “ambito Costa”).

Le mappe del rischio individuate dai PGRA, sono state integrate negli strumenti di pianificazione di bacino vigenti (PAI), attraverso i quali sono stati configurati gli assetti idraulico-territoriali, che assicurano condizioni di equilibrio e compatibilità tra le dinamiche idrogeologiche e le attività di sviluppo sul territorio.

Le autorità di bacino competenti sulle UoM (Unit of Management) hanno infatti individuato nei loro rispettivi strumenti le situazioni a maggiore rischio, adottando criteri simili e paragonabili a quelli indicati nei PGRA, con riferimento alle aree di esondazione del reticolo principale e secondario di ciascun bacino.

La variante ai Piani Stralcio del bacino idrografico del Fiume Reno finalizzata al coordinamento tra i piani e il Piano Gestione Rischio Alluvioni è stata approvata con deliberazione n. 2111 del 05/12/2016 e aggiornata con deliberazione 7/2019 tramite decreto n. 292 del 10/09/2020. Gli aggiornamenti delle cartografie e le relazioni metodologiche per l’aggiornamento del Piano sono visionabili al sito: <https://pianoalluvioni.adbpo.it/>.



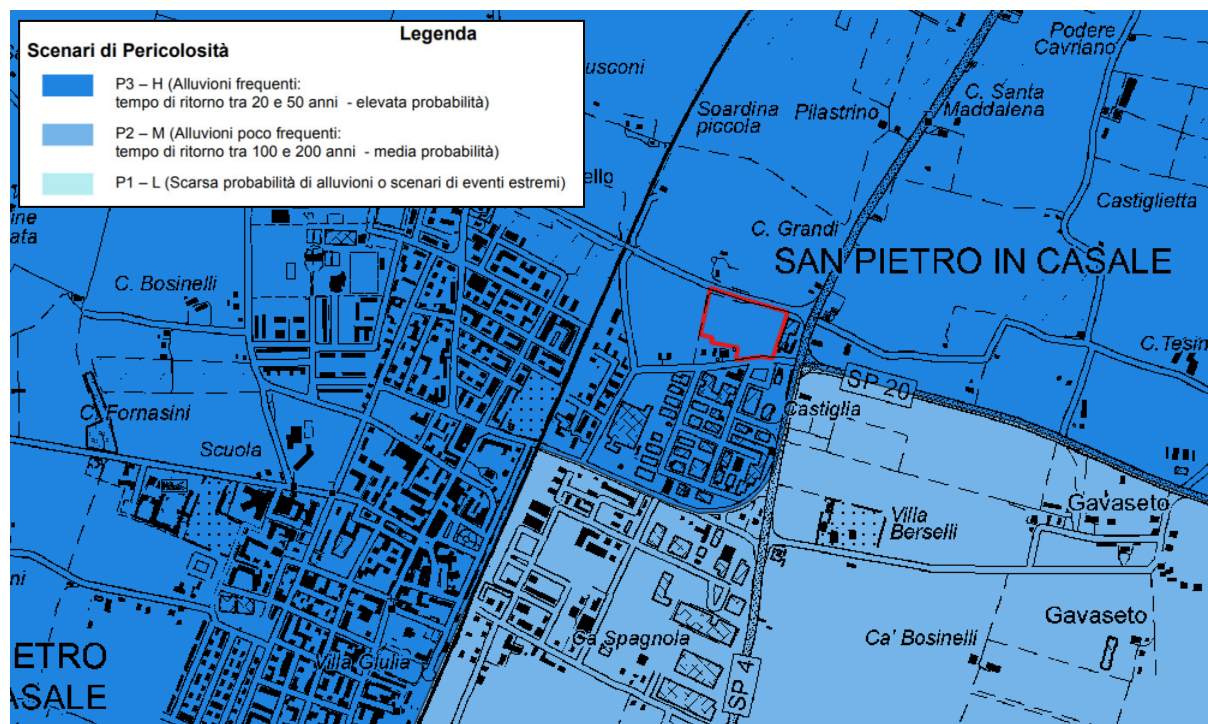


Figura 10 – Stralcio della cartografia relativa alla mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti per l'ambito territoriale relativo al reticolo naturale principale e secondario collinare montano del PGRA con evidenziato la posizione dell'area di interesse.

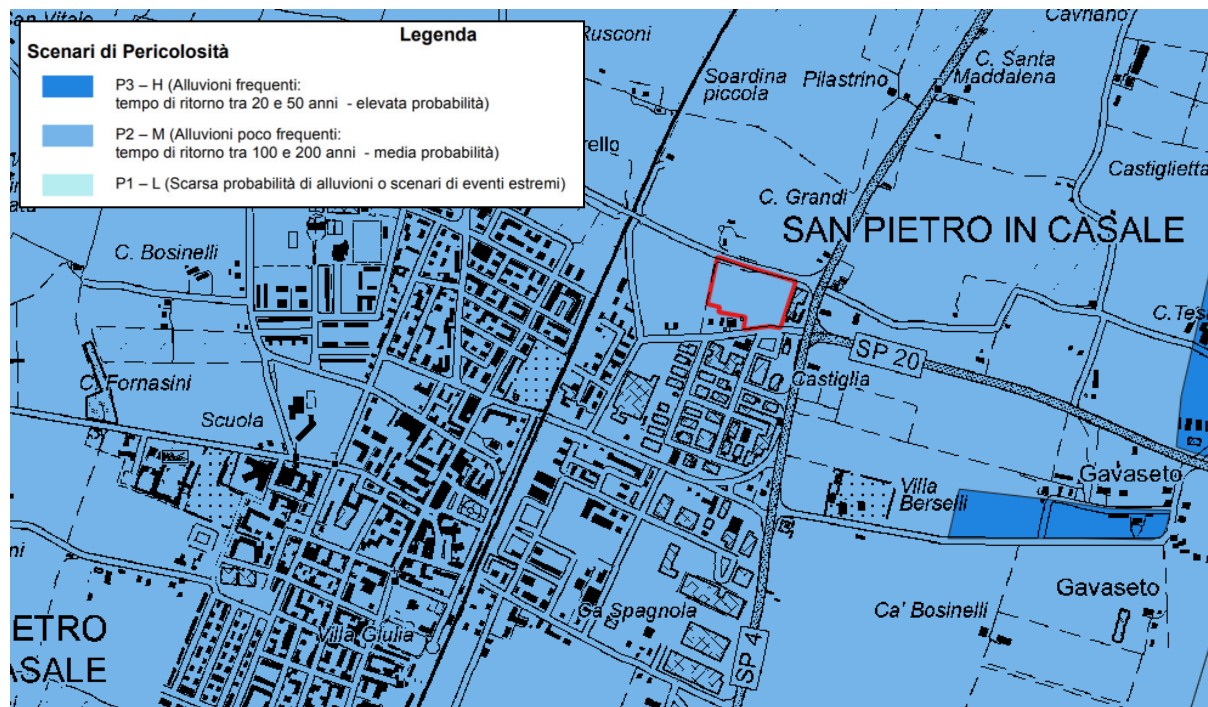


Figura 11 – Stralcio della cartografia relativa alla mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti per l'ambito territoriale relativo al reticolo secondario di pianura del PGRA con evidenziato la posizione dell'area di interesse.

Si evidenzia pertanto che il comparto di interesse, nell'ambito degli elaborati relativi alle mappe di pericolosità, risulta come area potenzialmente interessata da alluvioni frequenti (P3) nell'area di interesse per il reticolo naturale principale e da alluvioni poco frequenti (P2) nell'area di interesse per il reticolo secondario di pianura.

Oltre alle mappe di pericolosità si riporta la cartografia relativa alle mappe del rischio di alluvioni. Tali mappe, indicano le potenziali conseguenze negative derivanti dalle alluvioni in termini di:

- numero indicativo di abitanti potenzialmente interessati;
- tipo di attività economiche insistenti sull'area potenzialmente interessata;
- impianti di cui alla direttiva 96/61/CE che potrebbero provocare inquinamento accidentale in caso di alluvioni e aree protette (Dir. 2000/60/CE) potenzialmente interessate;
- altre informazioni utili quali aree in cui possono verificarsi alluvioni con elevato trasporto solido o colate detritiche e informazioni su fonti notevoli di inquinamento.

La valutazione del danno è stata svolta secondo la procedura MOVIDA (Modello per la Valutazione Integrata del Danno Alluvionale), descritta nel dettaglio nell'allegato al PGRA numero 4.1.

MOVIDA permette di valutare il danno atteso in caso di alluvione e la sua distribuzione spaziale, per tutte le categorie di elementi esposti, secondo due livelli di analisi: quantitativo e qualitativo.

Sono previste 4 classi di rischio, in particolare:

- R4 (rischio molto elevato): per il quale sono possibili perdite di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.
- R3 (rischio elevato): per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni relativi al patrimonio ambientale.
- R2 (rischio medio): per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.
- R1 (rischio moderato o nullo): per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono trascurabili o nulli.

In particolare la definizione del concetto di rischio si basa sulla seguente formula:

$$R = P \times E \times V = P \times Dp$$

dove:

- **P** (pericolosità): probabilità di accadimento, all'interno di una certa area e in un certo intervallo di tempo, di un fenomeno naturale di assegnata intensità;
- **E** (elementi esposti): persone e/o beni (abitazioni, strutture, infrastrutture, ecc.) e/o attività (economiche, sociali, ecc.) esposte ad un evento naturale;
- **V** (vulnerabilità): grado di capacità (o incapacità) di un sistema/elemento a resistere all'evento naturale;
- **Dp** (danno potenziale): grado di perdita prevedibile a seguito di un fenomeno naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità dell'elemento esposto;
- **R** (rischio): numero atteso di vittime, persone ferite, danni a proprietà, beni culturali e ambientali, distruzione o interruzione di attività economiche, in conseguenza di un fenomeno naturale di assegnata intensità.

In particolare la Regione Emilia-Romagna ha svolto l'analisi del rischio sovrapponendo, mediante procedure automatizzate su piattaforma GIS, alle mappe della pericolosità di alluvioni la cartografia degli elementi esposti distinti in 4 classi di danno potenziale (da D4 a D1), utilizzando l'algoritmo definito dagli "Indirizzi operativi" del Ministero dell'Ambiente, in particolare mediante la elaborazione di una matrice generale che associa le classi di pericolosità P1, P2, P3 alle classi di danno D1, D2, D3 e D4, declinata in funzione della specificità e dell'intensità dei processi attesi.

Pertanto, definiti i 3 livelli di pericolosità (P3, P2, P1) e i 4 di danno potenziale (D4, D3, D2, D1) sono stati stabiliti i quattro livelli di Rischio conseguenti R4, R3, R2 ed R1 e quindi redatte le mappe del rischio.

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

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 nuclei-forme	131	Cave	222	Fruteti e frutti minori	312	Boschi conifere
1123	Tessuto residenziale sparso	2113	Colture orticole	223	Oliveti	313	Boschi misti
11231	Cascine	2114	Colture floro-vivaistiche	3114	Castagne da frutto	314	Rimboschimenti recenti
1424	Aree archeologiche	2115	Orti familiari	213	Risale	331	Spiagge, 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 grei
12125	Aree militari oblitrate					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 nev perenni

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

Figura 12 – Classi di danno per gli elementi esposti censiti del Distretto fiume Po (aggiornamento 2021).

Per modulare l’attribuzione della classe di rischio, in relazione alla diversa intensità e modalità di evoluzione dei processi di inondazione che potenzialmente possono verificarsi nei diversi ambiti territoriali considerati (RP, RSCM, RSP, ACL e ACM), sono state utilizzate tre diverse matrici, riportate nella figura sottostante.

CLASSI DI RISCHIO	CLASSI DI DANNO	CLASSI DI PERICOLOSITA'		
		P3	P2	P1
CLASSI DI RISCHIO	D4	R4	R4	R2
	D3	R4	R3	R2
	D2	R3	R2	R1
	D1	R1	R1	R1

CLASSI DI RISCHIO	CLASSI DI DANNO	CLASSI DI PERICOLOSITA'		
		P3	P2	P1
CLASSI DI RISCHIO	D4	R4	R3	R2
	D3	R3	R3	R1
	D2	R2	R2	R1
	D1	R1	R1	R1

CLASSI DI RISCHIO	CLASSI DI DANNO	CLASSI DI PERICOLOSITA'		
		P3	P2	P1
CLASSI DI RISCHIO	D4	R3	R2	R1
	D3	R3	R1	R1
	D2	R2	R1	R1
	D1	R1	R1	R1

Matrice del rischio RP, RSCM alpino e RSP piemontese	Matrice del rischio ACL, ACM e RSCM appenninico	Matricce del rischio RSP
--	---	--------------------------

Figura 13 – Matrici del rischio Distretto fiume Po (aggiornamento 2021).



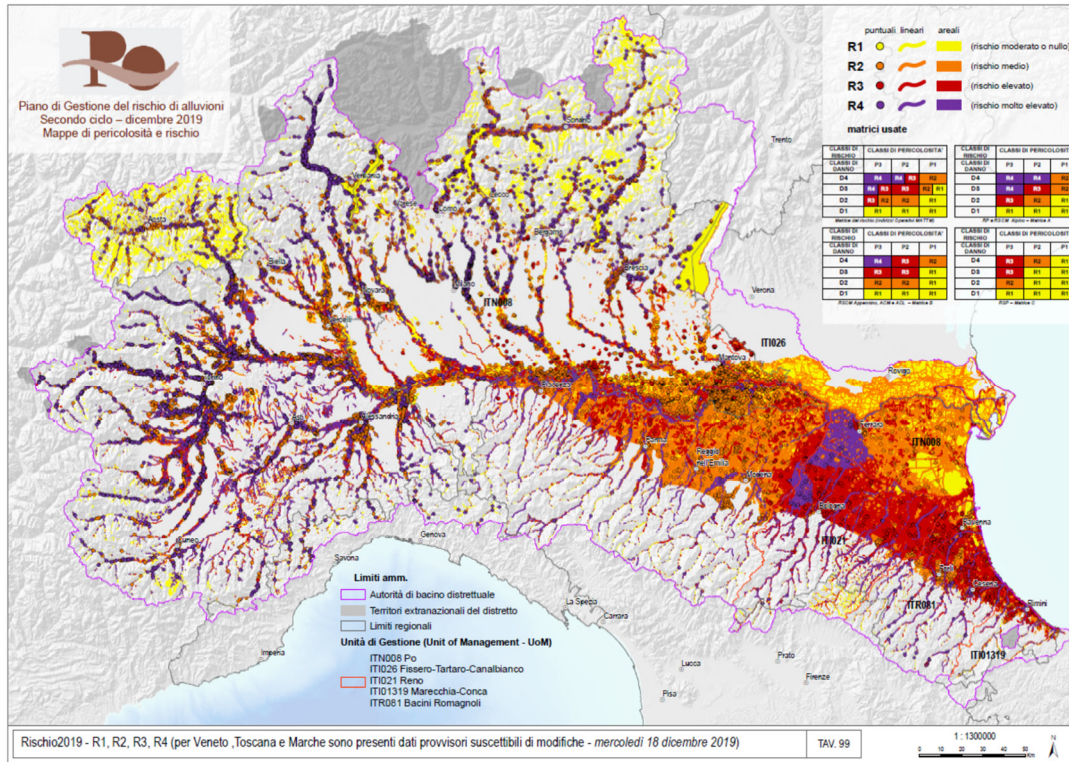


Figura 14: mappa del rischio aggiornata nel 2019 relativa al Distretto del fiume Po.

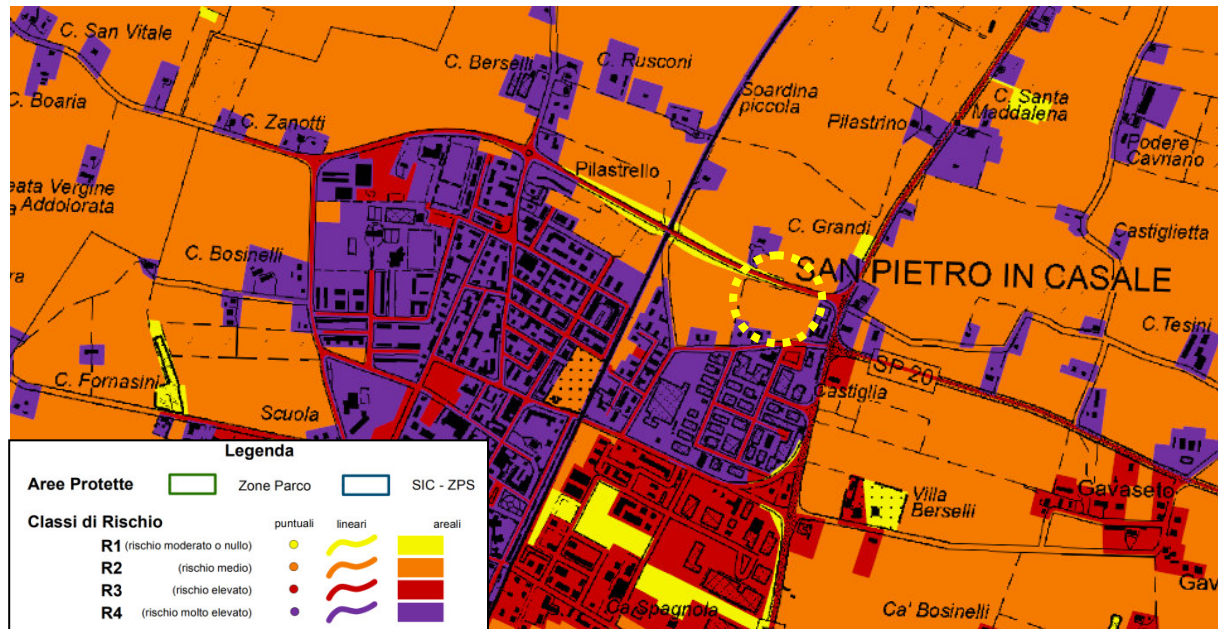


Figura 15 – Stralcio della cartografia relativa alla mappa del rischio potenziale per l'ambito territoriale relativo al reticolo naturale principale e secondario collinare montano del PGRA con evidenziato la posizione dell'area di interesse.



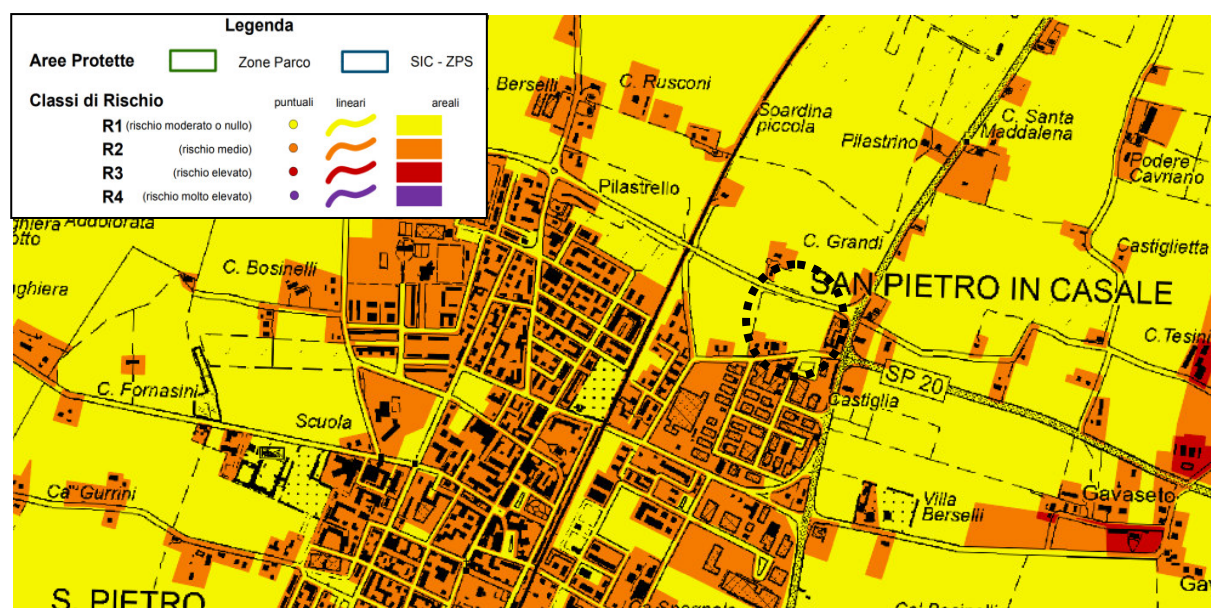


Figura 16 – Stralcio della cartografia relativa alla mappa del rischio potenziale per l'ambito territoriale relativo al reticolo secondario di pianura del PGRA con evidenziato la posizione dell'area di interesse.

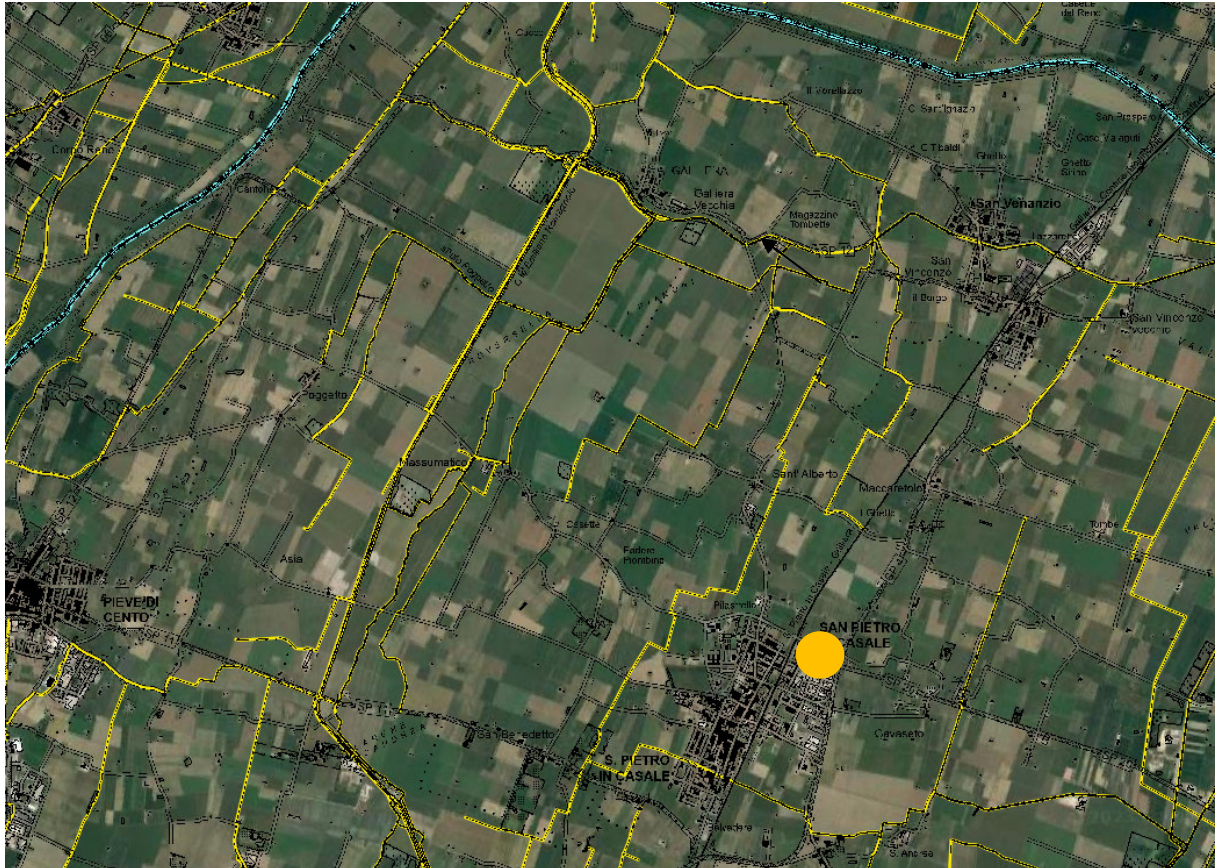
Sulla base delle cartografie relative alle mappe del rischio si evidenzia che il comparto di interesse ricade nella classe R2 (rischio elevato) per quanto riguarda l'ambito del reticolo principale e classe R1 (rischio moderato o nullo) per l'ambito del reticolo secondario di pianura.

A sintesi della cartografia sopra riportata visto che il comparto si trova in area P3 per il reticolo principale e in area P2 per il Reticolo secondario, ossia in aree che possono risultare inondabili con Tempi di Ritorno tra 20 e 50 anni (elevata probabilità); pertanto, occorre mettere in atto provvedimenti al fine di non incrementare il rischio idraulico da allagamento dell'area.

Nel seguito della relazione si provvederà ad effettuare un approfondimento delle misure da adottare per il non incremento del rischio.

## 5. ANALISI IDROLOGICA

L'area oggetto dell'intervento si trova a circa 7 km a nord e ad est dal Fiume Reno ed è presente lo scolo Raveda a circa 1.5 km a sud.



*Figura 17 – Ortofoto su CTR con evidenziati i principali corsi d'acqua presenti nell'area di interesse.*

L'analisi idrologica per il Fiume Reno e per il canale di bonifica è stata condotta facendo riferimento allo scenario di pioggia con tempo di ritorno pari a 200 anni e durate dell'evento pari al tempo di corrivazione del bacino.

L'analisi idrologica volta a determinare l'idrogramma dei canali di bonifica è stata svolta con il software open source HEC-HMS, Hydrologic Modeling System, sistema di analisi dell'Istituto Hydrologic Engineering Center (HEC), sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, per simulare i processi idrologici che avvengono all'interno di un bacino idrografico mediante la definizione degli elementi concettuali che lo rappresentano e dei processi fisici che avvengono in essi.

All'interno del software sono implementate le principali formulazioni utilizzate nella pratica idrologica per la trasformazione afflussi-deflussi e per la valutazione delle perdite legate all'infiltrazione.

Per sviluppare il modello idrologico, il software prevede la definizione di quattro componenti principali:

- *Basin model*: è il modulo relativo alla descrizione topografica e morfologica del bacino idrografico e del reticolo drenante;
- *Meteorologic model*: consente di modellare i fenomeni meteorologici e climatici;
- *Control Specifications*: rappresentano l'arco temporale ed il passo temporale sul quale si vuole operare la modellazione idrologica;
- *Time Series Data*: costituiscono il set di dati di input del programma relativi ai dati meteorologici o idrometrici.

La modellazione della morfologia del bacino, all'interno del software, viene schematizzata attraverso una serie di elementi quali, ad esempio, i sottobacini, le confluenze, le aste fluviali, per ognuno dei quali è necessario l'inserimento dei dati relativi all'aspetto morfometrico e le informazioni relative al modello di analisi scelto per la rappresentazione dei fenomeni.

La modellazione dei processi idrologici dei sottobacini è distinta in principalmente in tre fasi: le perdite iniziali, la trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali ed, eventualmente, il deflusso di base. Per ogni fase vanno specificati i metodi di calcolo: *Loss Method*, *Transform Method* e *Baseflow Method*.

Per la valutazione degli idrogrammi di piena del canale in oggetto, sono stati esclusi dalla modellazione idrologica dei sottobacini i fenomeni legati all'intercettazione della precipitazione da parte della vegetazione (*Canopy Method*), l'accumulo nelle depressioni del terreno (*Surface Method*) e le perdite iniziali dovute all'infiltrazione (*Loss Method*), ossia quei volumi che si rendono indisponibili per lo scorrimento superficiale.

Nel modulo "*Transform Method*" il software rende conto di come gli afflussi meteorici sul bacino, depurati dalle frazioni infiltrate, iniziano a scorrere sulla superficie, raggiungendo il corpo idrico ricettore e determinando il conseguente idrogramma. I modelli utilizzabili sono: *Clark Unit Hydrograph*, *Kinematic Wave*, *Clark modificato*, *SCS Unit hydrograph*, *Snyder Unit hydrograph*, *User specified S-Graph*, *User specified unit Hydrograph*, *2D Diffusion Wave*.

Nel presente studio è stato utilizzato il metodo *SCS Unit Hydrograph* che si presta ad applicazioni più generalizzate in quanto necessita di un solo parametro per la sua definizione; il tempo di ritardo (*Lag Time*).

Il tempo di ritardo rappresenta la risposta media del bacino ossia lo sfasamento tra il centroide dell'idrogramma di pioggia e quello di deflusso. Per la determinazione di questo parametro è

necessario valutare il tempo di corrivazione del bacino, ossia, il tempo necessario perché la goccia caduta nel punto idraulicamente più lontano raggiunga la sezione di chiusura.

Dopo aver impostato il *basin model* si inseriscono i dati di pioggia impostando il modulo “*Time Series Data*”, è stata considerata la durata pari al tempo di corrivazione del bacino analizzato, considerando un tempo di ritorno pari a 200 anni. Per l’inserimento dai dati di pioggia nel software si utilizzano i valori delle altezze di precipitazione incrementali impostando la serie con passo temporale di 1 minuto.

Il modulo “*Meteorologic Model*” consente di associare gli ietogrammi, impostati in precedenza, al singolo bacino idrografico, in questo caso si è scelto di distribuirli in modo uniforme.

Il modulo “*Control Specification*” mette in relazione il “*Basin Model*” e il “*Meteorologic Model*” per effettuare la simulazione, definendo, quindi, l’intervallo di analisi e la discretizzazione temporale di calcolo.

Per il Fiume Reno si fa riferimento al Piano Stralcio del Fiume Reno, realizzato dall’Autorità di Bacino del Reno e disponibili sul sito della Regione Emilia-Romagna; il valore del picco dell’idrogramma risulta essere pari a 2280 m<sup>3</sup>/s in corrispondenza della Chiesa di Casalecchio; il tratto di pianura risulta completamente arginato e nel Piano Stralcio sono disponibili solo i valori di portata fino a 100 anni di Tempo di Ritorno.

La sezione di interesse (sez. 43) si trova a circa 30 km dalla sezione della Chiesa di Casalecchio, e tale tratto risulta arginato; pertanto, che il valore del picco di portata subisce un effetto di laminazione.

CODICE	SEZIONI			PORTATE E LIVELLI				FONDO
	Distanza Progr. [m]	Localizzazione	Descrizione	Lmax30 [m s.l.m.]	Qmax30 [m <sup>3</sup> /s]	Lmax200 [m s.l.m.]	Qmax200 [m <sup>3</sup> /s]	Quota del fondo (m s.l.m.)
0b	83422	Casalecchio	Chiusa	63.7	1541	64.4	2280	57.5

*Figura 18 – Stralcio della Relazione del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Reno relativamente alla tabella con la portata con TR200 alla Chiesa di Casalecchio.*



CODICE	Distanza Progr. [m]	SEZIONI		PORTATE E LIVELLI				MORFOLOGIA DELLA SEZIONE		
		Localizzazione	Descrizione	Lmax25 [m s.l.m.]	Qmax25 [m <sup>3</sup> /s]	Lmax100 [m s.l.m.]	Qmax100 [m <sup>3</sup> /s]	Quota sommità argine sx [m s.l.m.]	Quota del fondo [m s.l.m.]	Quota sommità argine dx (m s.l.m.)
0A	83496	Casalecchio		56.1	1477	57.3	1981		50.9	
40	112092	Bagnetto	confluenza Samoggia	27.8	1077	29.4	1518	28.4	13.2	28.5
41	112462			27.8	1073	29.4	1513	28.3	13.1	28.4
42	113012			27.6	1071	29.2	1510	28.3	12.7	28.2
43	113512			27.2	1069	28.8	1508	28.0	11.9	28.0
44	114017			26.8	1068	28.4	1507	27.8	11.1	27.8
44a	114129			26.7	1068	28.3	1506	27.8	11.1	27.7
44b	114400			26.6	1067	28.1	1504	27.7	13.2	27.6
44c	114763			26.4	1065	27.9	1503	27.6	13.1	27.6
46	115022			26.3	1064	27.8	1500	27.4	12.1	27.4
47	115542			26.2	1060	27.7	1496	27.1	12.5	27.2
48	115992	Cento		26.1	1056	27.6	1490	26.9	12.2	27.0
48a m	116292	Ponte S.P. Centese	m. ponte	26.0	1055	27.5	1488	26.9	11.0	26.9
48a v	116302	Ponte S.P. Centese	v. ponte	26.0	1055	27.5	1488	26.9	11.0	26.9
49	116402	Cento		26.0	1053	27.5	1485	26.8	11.2	26.9
49A m	116967	Cento	m. ponte	25.7	1051	27.2	1483	26.8	12.3	26.8
49A v	116977	Cento	v. ponte	25.7	1051	27.1	1483	26.8	12.3	26.8
50	117062	Cento		25.7	1049	27.1	1480	26.7	10.8	26.7
51	117577	Cento		25.6	1043	27.1	1470	26.6	11.0	26.6
52	117997	Cento		25.5	1037	27.0	1461	26.5	11.2	26.5

Figura 19 - Stralcio della Relazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Reno relativamente alla tabella con la portata con TR 100 per il tratto di pianura di interesse.

Per il Fiume Reno, è stata analizzata l'estensione del bacino, pari a circa 1021 km<sup>2</sup>, e dato il tempo di corrivazione di 16 ore in riferimento alla sezione di interesse, è stata modellata l'onda di piena attraverso il software Hec-Hms, tralasciando le perdite iniziali e utilizzando il metodo di calcolo SCS *Unit Hydrograph* che necessita di un solo parametro per la sua definizione; il tempo di ritardo (*Lag Time*) che risulta essere pari a 576 minuti.

Come pioggia è stata considerata la durata pari al tempo di corrivazione del bacino analizzato, ossia 16 ore (ipotizzando una velocità di 2 m/s e 30 km di distanza dalla sezione Chiusa di Casalecchio), considerando un tempo di ritorno pari a 200 anni.

Si riporta l'idrogramma ottenuto dalla modellazione con HEC-HMS per il bacino del Reno.

Il picco di portata alla sezione considerata, per il **Fiume Reno**, così calcolato si attesta pari a **1870 m<sup>3</sup>/s**.

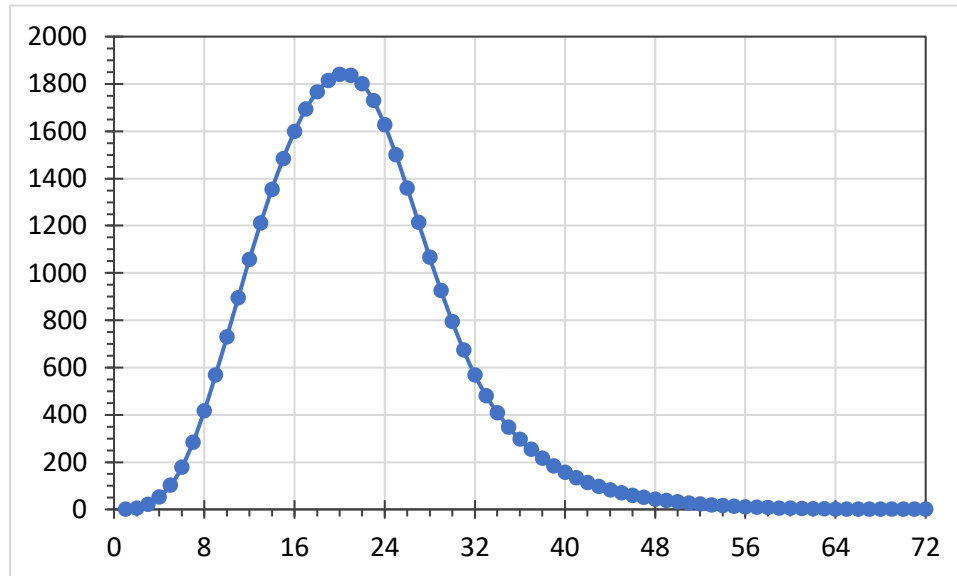


Figura 20 – Idrogramma del Fiume Reno ottenuto tramite la modellazione con HEC-HMS per il bacino analizzato e tempo di ritorno duecentennale

Per la stima della portata riferita allo scolo Raveda che sollecita, per assegnato tempo di ritorno, il sistema scolante viene effettuata mediante l'applicazione del metodo cinematico.

L'ipotesi adottata per il modello di calcolo è che il sistema idrologico sia lineare e invariante nel tempo ovvero che l'idrogramma, per assegnata precipitazione, dipenda dalle caratteristiche del bacino supposte stazionarie e indipendenti dall'evento considerato.

Il metodo cinematico o della corrivazione è basato sulle seguenti ipotesi:

- gocce d'acqua cadute contemporaneamente in punti diversi del bacino impiegano tempi diversi per giungere alla sezione di chiusura;
- il contributo di ogni singolo punto alla formazione della portata di bacino sia proporzionale all'intensità di pioggia in quel punto;
- il tempo impiegato dalle gocce per raggiungere la sezione di chiusura sia caratteristico di ciascun punto ed invariante nel tempo.

Il tempo di corrivazione caratteristico del bacino è il tempo necessario perché la goccia caduta nel punto idraulicamente più lontano raggiunga la sezione di chiusura. Il tempo di corrivazione  $t_c$  si può calcolare come somma di due termini:

$$t_c = t_a + t_r$$

$t_a$  rappresenta il tempo di accesso che la particella d'acqua impiega per raggiungere il sistema di scolo delle acque;

$t_r$  rappresenta il tempo di rete ed è quello impiegato dalla particella per raggiungere, dal punto in ingresso alla rete, la sezione di chiusura ed è il rapporto tra la distanza percorsa e la velocità impiegata per percorrerla.

Il tempo di accesso è di incerta determinazione variando infatti con la pendenza dell'area, con la natura delle superfici, con la tipologia dei drenaggi minori; esso viene assunto di valore pari a 15 minuti.

Il tempo di rete è dato dalla somma dei tempi di percorrenza della rete di canali seguendo il percorso più lungo e ottenuto come rapporto tra la lunghezza percorsa e la velocità effettiva determinata iterativamente in funzione della portata e del grado di riempimento effettivo.

La determinazione della pioggia netta avviene per depurazione della frazione lorda caduta sul terreno considerando che una parte di questa si perde per effetto di infiltrazione e detenzione superficiale. Il coefficiente di deflusso, definito come il rapporto tra il volume defluito nella sezione di chiusura e quello caduto sull'intero bacino, è definito sulla base dei seguenti valori di riferimento:

- |                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| - aree urbanizzate      | $\varphi = 0.70$ |
| - aree agricole o verdi | $\varphi = 0.30$ |

Pertanto, con il metodo cinematico la portata massima al colmo alla sezione di chiusura del bacino vale:

$$Q_{\max} = \varphi \cdot A \cdot a \cdot t_c^{n-1}$$

dove:

- $\varphi$  coefficiente di deflusso dell'area;
- $A$  superficie complessiva del bacino (m<sup>2</sup>);
- $a, n$  coefficienti della curva di possibilità pluviometrica;
- $t_c$  tempo di corrivazione del bacino (ore).

Secondo le indicazioni cartografiche fornite dal Consorzio della Bonifica Renana l'area drenata, in relazione alla sezione di chiusura in riferimento al punto 1 della figura a seguire, risulta di circa 4,87 km<sup>2</sup>, includendo quasi l'intero abitato di San Pietro in Casale e parte delle aree agricole adiacenti.

La sezione 1, fornita dal Consorzio di Bonifica è riportata nella Figura sottostante anche se, su stessa indicazione del Consorzio essa risulta datata e pertanto è opportuno fare riferimento ad un rilievo topografico aggiornato.

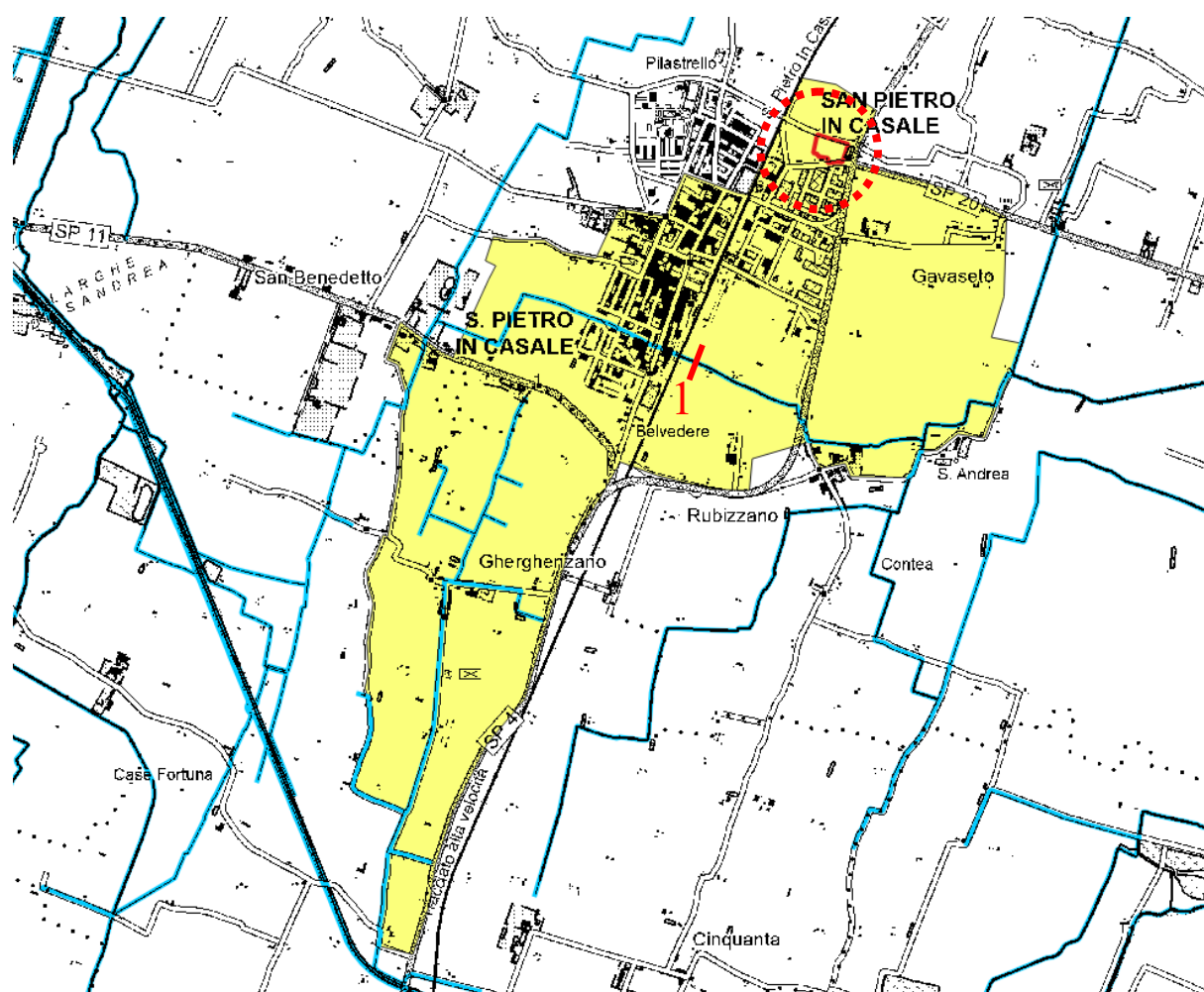


Figura 21 - Area drenata dallo Scolo Raveda (riprodotta secondo la cartografia fornita dal Consorzio della Bonifica Renana).



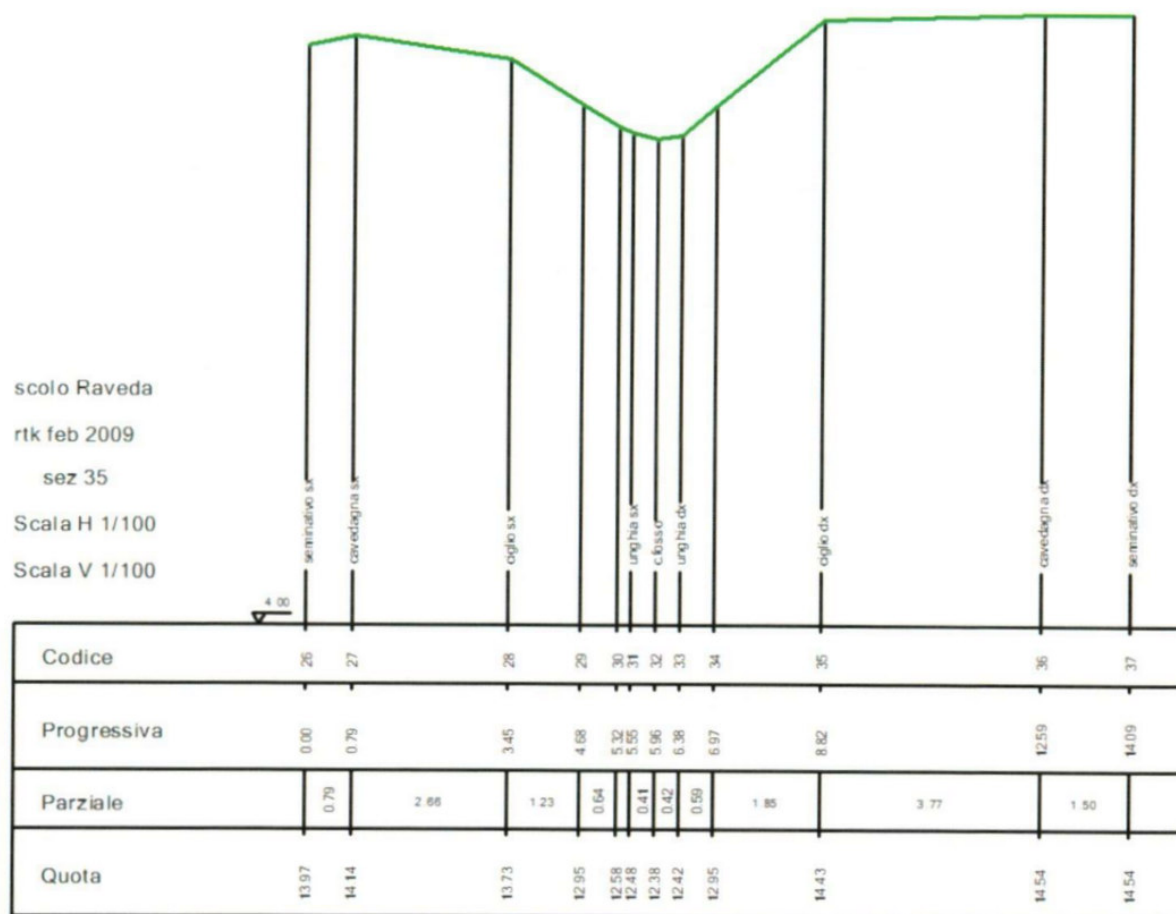


Figura 22 – Rappresentazione della sezione 1 (fornita dal Consorzio della Bonifica Renana).

Complessivamente la superficie drenata totale, come già evidenziato, risulta pari a circa 4,87 km<sup>2</sup> di cui circa 1,00 km<sup>2</sup> di superficie urbanizzata. Il coefficiente di afflusso medio complessivo, pesato tra le superfici, risulta pari a circa 0,38.

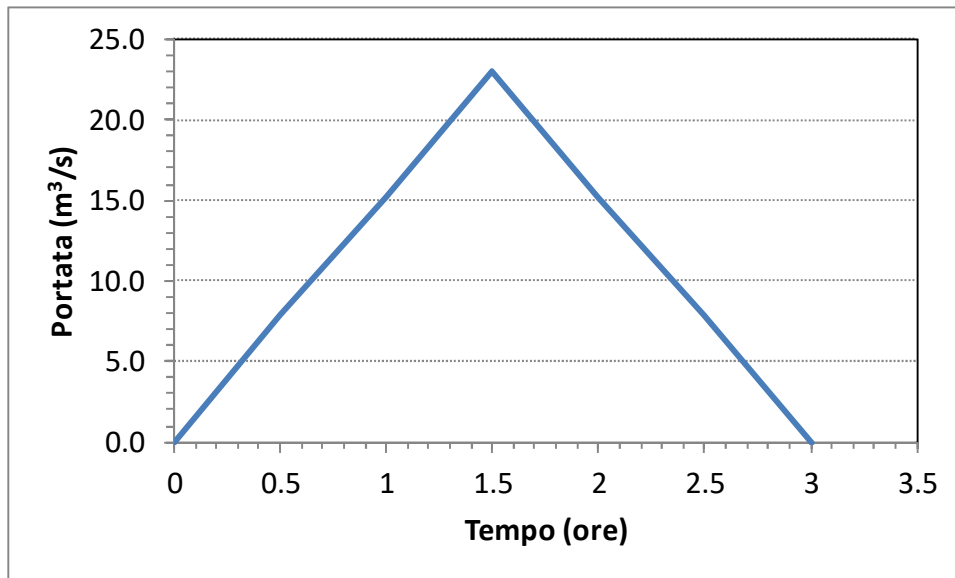
Il tempo critico del bacino si può stimare in circa 1,5 ore, considerando una lunghezza massima del percorso compiuto dall'acqua di circa 4,5 km.

Con il metodo cinematico la portata massima, con Tempo di Ritorno di 200 anni è quindi la seguente:

$$Q_{\max} = \varphi \cdot A \cdot a \cdot t_c^{n-1} = 23 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tale valore rappresenta un coefficiente udometrico pari a circa 48 litri/(s ha).

L'idrogramma di piena, in mancanza di dati più precisi, è stato assunto di forma triangolare di durata pari a 3 ore, pari a circa il doppio del tempo di corrivazione, e picco massimo di 23 m<sup>3</sup>/s, corrispondente ad un Tempo di Ritorno di 200 anni.

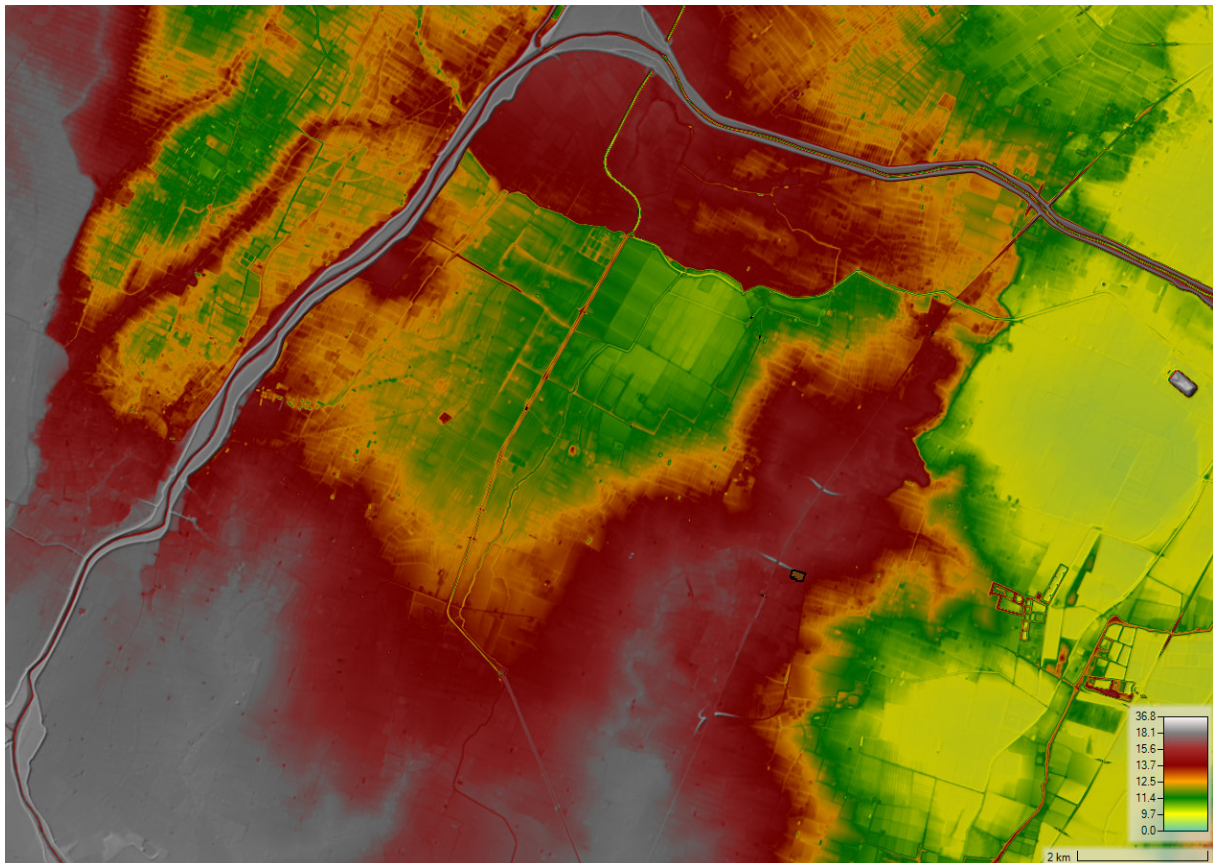


*Figura 23 – Rappresentazione dell'idrogramma di piena sintetico utilizzato per la simulazione numerica dello Scolo Raveda.*

## 6. MODELLO IDRAULICO DI ALLAGAMENTO

Lo studio idraulico viene realizzato utilizzando il rilievo di dettaglio del territorio di tipo LIDAR-DTM della Regione Emilia-Romagna.

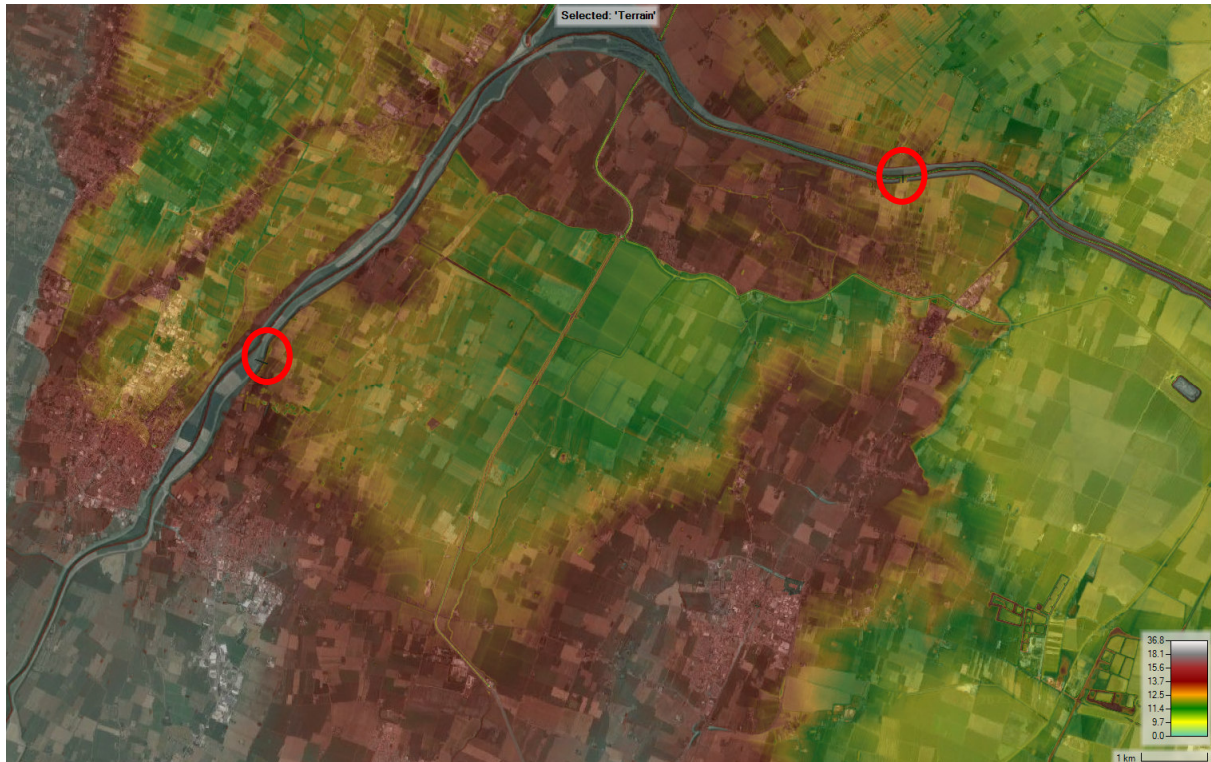
La modellazione dei corsi d'acqua e dell'esondazione sul territorio è stata eseguita tramite il software HEC-RAS 6 sviluppato dall'US-Army Corps of Engineering. Nella figura seguente è stata riportata l'immagine della base LIDAR-DTM utilizzata per la modellazione 2D.



*Figura 24 - Rappresentazione della cartografia LIDAR-DTM della Regione Emilia-Romagna.*

Essendo i tratti di interesse del Fiume Reno arginati, sono state ipotizzate due rotture complete di circa 100 metri dell'argine in destra idraulica, a ovest e a nord dell'area di interesse, al fine di porsi nella condizione più gravosa.

La posizione delle rotture viene riportata nella figura a seguire.



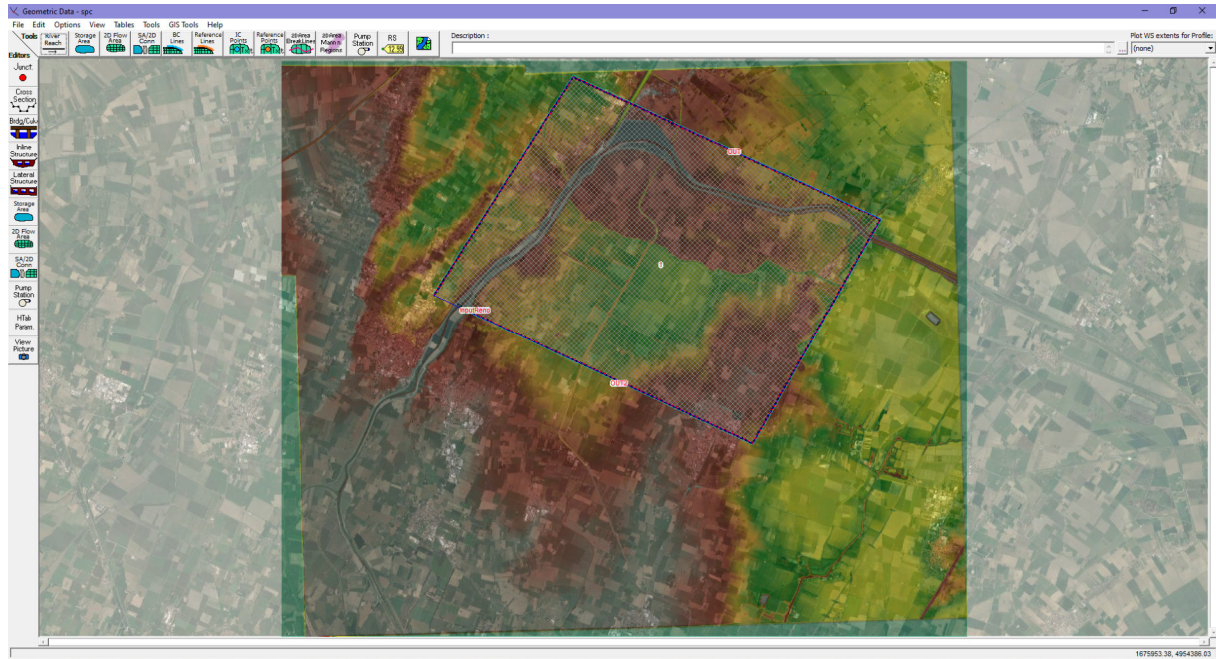
*Figura 25 - Rappresentazione della cartografia LIDAR-DTM della Regione Emilia-Romagna all'interno di HEC-RAS con evidenziate le posizioni delle rotture arginali.*

La scabrezza dell'alveo viene invece stimata sulla base delle condizioni dello stesso, si assume pertanto una scabrezza pari a circa 0,06 secondo Manning, corrispondente a circa  $16 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  secondo Gauckler-Strickler per quanto riguarda l'alveo inciso e per le parti esterne.

È stato realizzato un modello distinto per definire l'effetto dell'esondazione del Reno nella condizione gravosa ipotizzata, ossia con due rotture di 50 metri lungo l'argine destro ad ovest e a nord dell'area di interesse, e un secondo modello per valutare l'effetto dello scolo di bonifica.

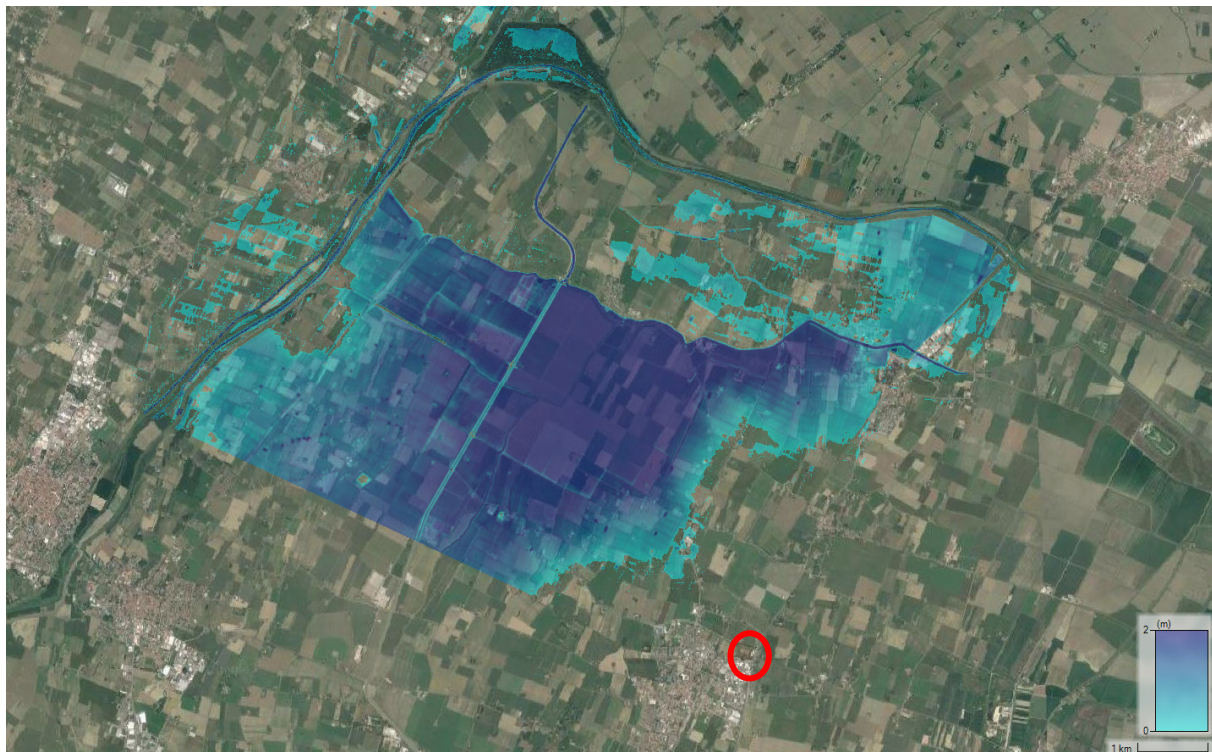
Si riporta nella figura a seguire l'estensione dell'area dello schema di calcolo, le cui celle hanno dimensioni 20 x 20 metri per la zona di esondazione e 5x5 metri in corrispondenza dell'alveo, per la modellazione del Fiume Reno.





*Figura 26 - Rappresentazione dello schema di calcolo 2D in ambiente HEC-RAS per la modellazione del Fiume Reno.*

Di seguito si riporta la mappa dei tiranti idrici complessiva per l'area di interesse.



*Figura 27 - Rappresentazione delle aree allagate TR pari a 200 anni su foto aerea con evidenziata l'area di interesse.*

Si riporta la mappa di allagamento con i tiranti in termini di quote assolute.



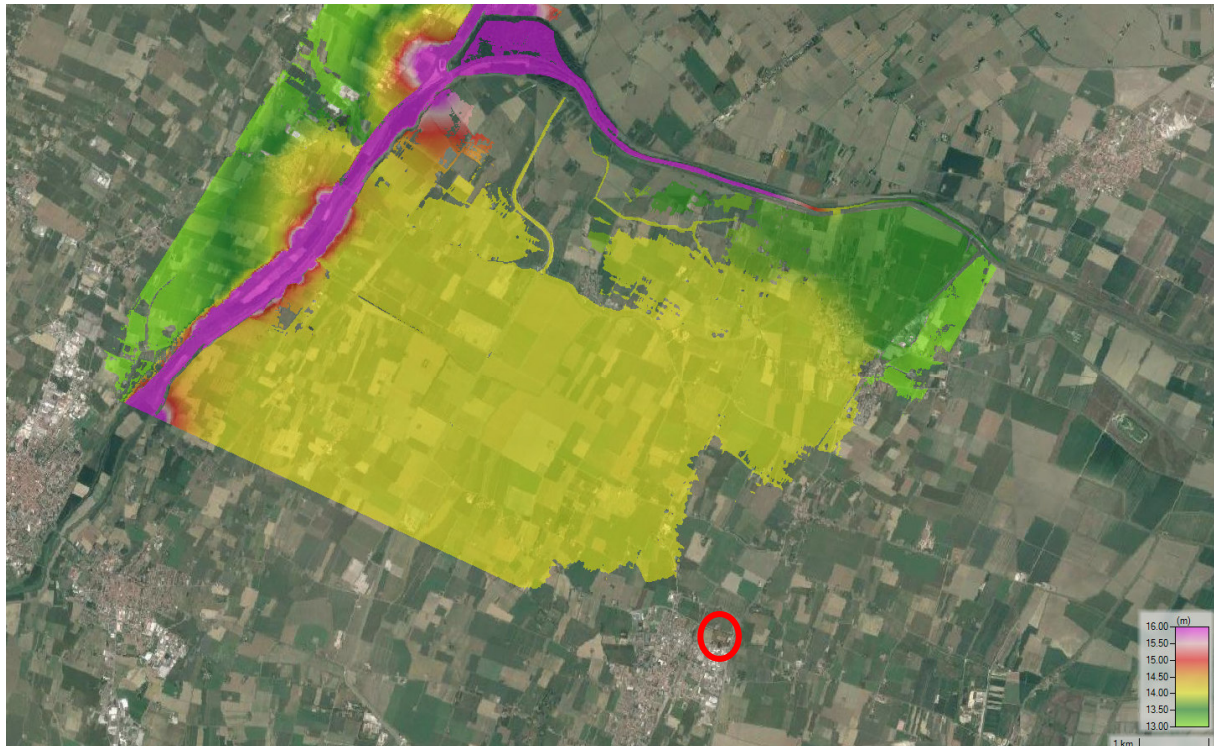


Figura 28 - Rappresentazione delle aree allagate con TR pari a 200 anni in prossimità dell'intervento progettuale con riferimento alle quote altimetriche assolute dell'acqua.

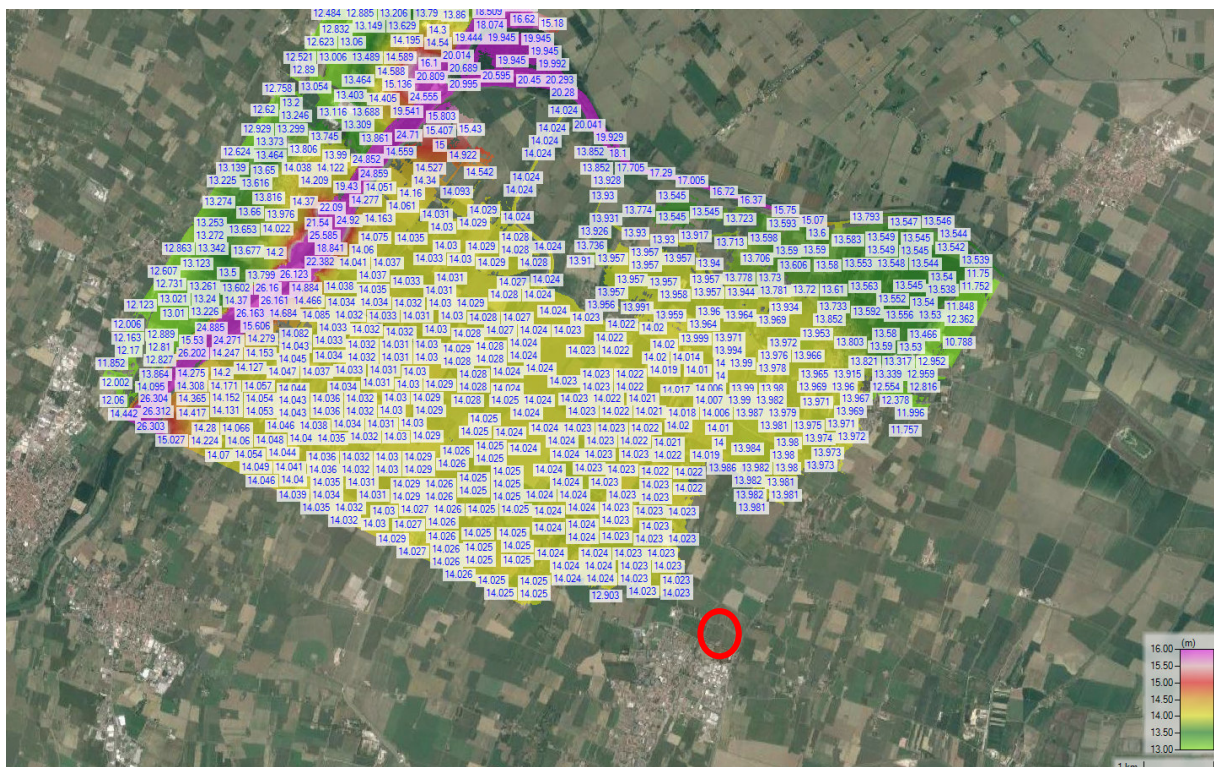


Figura 29 - Rappresentazione delle aree allagate con TR pari a 200 anni in prossimità dell'intervento progettuale con evidenziati i valori relativi alle quote altimetriche assolute dell'acqua.

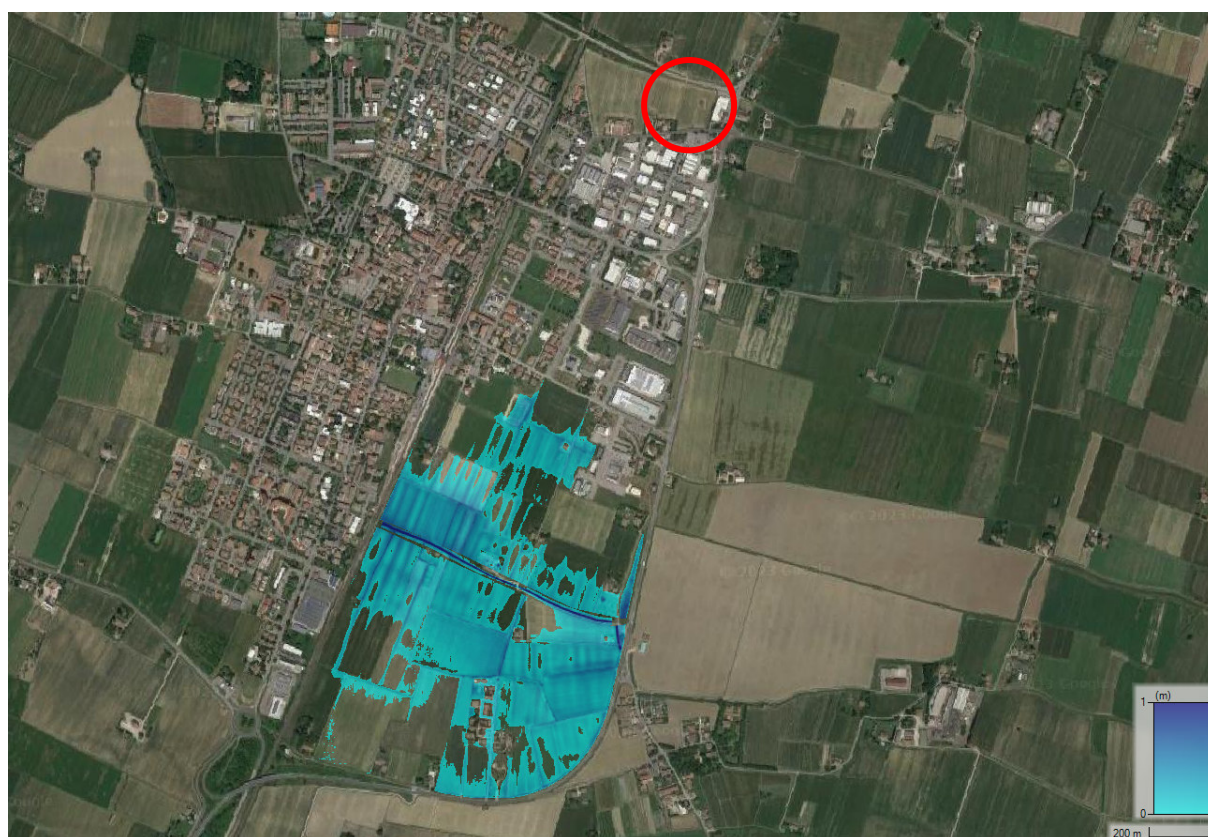


Pertanto, l'area di interesse non viene interessata da situazioni di allagamento superficiale dovute all'esonazione del Fiume Reno.

Data la presenza del canale di bonifica, è stato realizzato un secondo modello relativo allo Scolo Raveda.

Per valutare il rischio da allagamento derivante dallo scolo Raveda è stato implementato un modello con l'area dello schema di calcolo, le cui celle hanno dimensioni 5 x 5 metri, e input dell'idrogramma esposto in precedenza.

Di seguito si riporta la mappa dei tiranti idrici complessiva per l'area di interesse.



*Figura 30 - Rappresentazione delle aree allagate dallo scolo Raveda con TR pari a 200 anni su foto aerea nell'area oggetto di studio.*

Come si evince dalle immagini appena riportate, l'esonazione della piena duecentennale dello scolo Raveda interessa l'area più a sud ma non provoca allagamento nell'area di intervento.

## 7. CONCLUSIONI INERENTI IL PGRA

Nel presente documento sono state valutate le condizioni di rischio idrologico per l'area relativa all'intervento di nuova costruzione di 15 lotti a destinazione residenziale nell'ambito per nuovi insediamenti su area libera (ANS-C n.9) sub comparto 9.B del PUA in variante al POC nel Comune di San Pietro in Casale, in provincia di Bologna, nei pressi di via Stangolini.

A circa 7 km ad ovest e a nord dell'area si trova il Fiume Reno mentre a circa 1.5 km a sud dall'area oggetto di intervento è presente lo scolo Raveda e a 1.5 km a est si trova lo scolo Gavaseto.

Dato l'andamento del terreno dell'area, lo scolo Gavaseto non rappresenta una potenziale fonte di rischio da allagamento per l'area di intervento.

Dall'analisi del PGRA si evince che il comparto in oggetto risulta come area P3 per il reticolo principale e in area P2 per il Reticolo secondario, ossia in aree che possono risultare inondabili con Tempi di Ritorno tra 20 e 50 anni (elevata probabilità); pertanto, occorre mettere in atto provvedimenti al fine di non incrementare il rischio idraulico da allagamento dell'area.

Sono stati realizzati i modelli idraulici bidimensionali per verificare l'erosione sul territorio conseguente alla rottura dell'argine del Fiume Reno e quella relativa al canale di bonifica Raveda, utilizzando il rilievo di dettaglio del territorio di tipo LIDAR-DTM della Regione Emilia-Romagna e gli idrogrammi di piena dei corsi d'acqua considerando un tempo di ritorno duecentennale.

Con le ipotesi assunte per le valutazioni idrauliche, ossia una portata con TR=200 anni e le due rotture dell'argine destro del Fiume Reno, si evidenzia che l'area non è soggetta ad allagamento, pertanto, **non si rileva un incremento del rischio idraulico** per l'intervento urbanistico; a titolo cautelativo **gli edifici dovranno comunque avere una quota superiore di almeno 50 cm rispetto al piano stradale circostante di via Stangolini a sud del comparto.**