

**Luglio
2017**



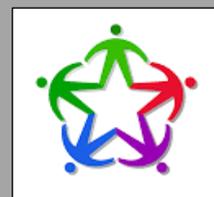
Analisi del rischio idraulico e ipotesi d'intervento Fosso San Galigano

Area Risorse Ambientali, Smart City e Innovazione

Dirigente: Dott. Vincenzo Piro

Dott.ssa Geol. Guendalina Antonini

Comune di Perugia – Servizio Civile Nazionale
Area Risorse Ambientali – Smart City ed Innovazione
Fagugli Giacomo
06/07/2017



Sommario

1. Premessa.....	2
2. Impostazione dello studio di valutazione del rischio idraulico	3
3. Inquadramento generale.....	5
3.1. Inquadramento territoriale	5
3.2. Cartografia di riferimento	8
3.3. Caratteristiche idro-geolitologiche del bacino.....	9
3.4. Rete di monitoraggio idro-pluviometrico	12
3.5. Eventi passati d'inondazione	13
3.5.1. Evento critico del 12/06/2016	13
4. Analisi idrologica.....	15
4.1. Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (L.S.P.P.)	15
4.2. Altezze di pioggia puntuali lorde.....	15
4.3. Altezze di pioggia lorde ragguagliate all'area del bacino	16
4.4. Altezze di pioggia efficaci	16
4.5. Durata critica delle piogge e tempi di corrivazione.....	17
4.6. Intensità di pioggia	17
5. Valutazione del rischio idraulico attuale.....	18
5.1. Valutazione della pericolosità idraulica	18
5.2. Individuazione dei beni esposti e valutazione della loro vulnerabilità.....	44
5.3. Valutazione del rischio idraulico	46
6. Analisi delle trasformazioni che hanno interessato il Fosso San Galigano e il suo bacino idrografico negli ultimi decenni.....	48
6.1. Situazione nell'anno 1932	49
6.2. Situazione nell'anno 1954	50
6.3. Situazione nell'anno 1968	51
6.4. Situazione nell'anno 1987	52
6.5. Situazione nell'anno 2005	53
6.6. Situazione nell'anno 2013	54
6.8. Focalizzazione sulle trasformazioni avvenute a valle dell'area verde di Rimocchi.....	55
7. Confronto tra la situazione nell'anno 1954 e la situazione attuale.....	60
7.1. Modifiche che hanno interessato l'alveo	60
7.2. Variazioni dell'uso del suolo	61
7.3. Valutazioni sull'incremento del rischio idraulico negli ultimi decenni	64
8. Ipotesi d'intervento per la mitigazione del rischio idraulico.....	66
9. Videoispezione nel tratto dell'area verde di Rimocchi.....	66

1. Premessa

Il territorio comunale di Perugia è percorso da un gran numero di corsi d'acqua minori e canalizzazioni artificiali che, interagendo con aree urbanizzate, rappresentano elementi di pericolosità idraulica. Da ciò appare evidente la necessità di una costante verifica dello stato manutentivo e delle condizioni del rischio collegato all'esondabilità del reticolo idrografico minore.

Lo scopo del presente studio è la valutazione del rischio idraulico nel bacino del Fosso San Galigano, affluente in sinistra idrografica del Torrente Genna, e l'individuazione d'ipotesi d'intervento per la mitigazione del rischio stesso.

L'area indagata è stata ripetutamente interessata negli anni da eventi alluvionali che hanno causato danni a strutture e infrastrutture e rappresentato un rischio per l'incolumità delle persone.

Si è operato nella presente relazione per individuare le cause che hanno comportato i suddetti eventi, per analizzare la probabilità che eventi simili si ripetano e per esaminare l'entità e la vulnerabilità dei beni esposti. Si è proceduto inoltre a verificare l'evoluzione del paesaggio attraverso la documentazione cartografica sia antica che recente, ed a valutarne le conseguenze in termini di rischio idraulico; il bacino in esame infatti, in seguito alla progressiva antropizzazione, ha subito negli ultimi decenni cambiamenti anche incisivi del reticolo fluviale e dell'uso del suolo.

2. Impostazione dello studio di valutazione del rischio idraulico

Il presente capitolo illustra i criteri e le metodologie utilizzati nello studio di analisi del rischio idraulico nel bacino idrografico del Fosso San Galigano.

Si richiamano innanzitutto alcuni concetti preliminari sulla definizione di rischio:

Il rischio (R) è definito come l'entità del danno atteso in una data area e in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un particolare evento calamitoso; in particolare il rischio idraulico da esondazione scaturisce dalla possibilità di danno a persone e/o beni connessa al trasporto di massa liquida.

Il rischio è traducibile nell'equazione $R = P \times E \times V$ dove:

- **P** è la pericolosità; è la probabilità che un fenomeno di determinata intensità si verifichi in un certo intervallo di tempo e in una data area.
- **E** è l'esposizione; indica l'insieme degli elementi (persone, beni economici e risorse ambientali) esposti al pericolo.
- **V** è la vulnerabilità; rappresenta la propensione degli elementi esposti a subire danneggiamenti in conseguenza di eventi di una certa intensità.

Le attività connesse all'analisi del rischio attuale sono espone nei capitoli 3, 4, e 5 e sono state articolate nelle seguenti fasi:

1. Una prima fase d'inquadramento e caratterizzazione dell'ambito oggetto di studio è finalizzata alla costruzione del quadro conoscitivo di base nonché alla predisposizione dei dati necessari alle elaborazioni previste nelle fasi successive.
2. Si è implementata l'analisi idrologica finalizzata alla determinazione delle portate al colmo per ciascuna delle sezioni d'interesse considerate, in corrispondenza degli eventi di pioggia riferiti a tre diversi tempi di ritorno pari rispettivamente a 50, 200, e 500 anni.
3. La pericolosità idraulica è stata valutata attraverso verifiche idrauliche locali delle sezioni di interesse in regime di moto uniforme; l'intubamento dell'alveo principale per la quasi totalità del suo corso rende infatti inopportuna una modellazione idraulica del fosso come asta fluviale.

Sono state definite tre classi di pericolosità:

- **Classe di pericolosità A:** in corrispondenza di sezioni incompatibili al transito della portata attesa per eventi di pioggia con tempo di ritorno di 50 anni;
- **Classe di pericolosità B:** in corrispondenza di sezioni compatibili al transito della portata attesa per eventi di pioggia con tempo di ritorno di 50 anni ma incompatibili al transito della portata attesa per eventi di pioggia con tempo di ritorno di 200 anni;
- **Classe di pericolosità C:** in corrispondenza di sezioni compatibili al transito della portata attesa per eventi di pioggia con tempo di ritorno di 200 anni.

Sulla base dei risultati delle verifiche idrauliche locali e delle informazioni cartografiche sono state quindi individuate le fasce di pericolosità idraulica.

4. Si sono individuati i beni esposti al pericolo e si è valutata la loro vulnerabilità. La stima del parametro complessivo $E \times V$ associato a un prefissato evento di pioggia è stata ponderata tenendo conto della tipologia degli elementi a rischio (persone, beni, attività), dell'entità o valore degli elementi (numero di persone, valore economico dei beni), della loro attitudine a subire danni per effetto dell'evento calamitoso.
5. Infine è stato determinato il rischio idraulico da esondazione nel bacino del Fosso San Galigano come combinazione della pericolosità, della vulnerabilità e dell'esposizione.

Nei capitoli successivi si è invece analizzata l'evoluzione che ha caratterizzato il bacino oggetto di studio dal 1932 a oggi, indicando i principali cambiamenti che hanno interessato l'alveo principale del Fosso San Galigano ed evidenziando la progressiva urbanizzazione che ha comportato negli anni un incremento sempre maggiore delle superfici impermeabili.

Si è poi valutato quanto le suddette trasformazioni abbiano contribuito ad aumentare il rischio idraulico nelle condizioni attuali, sia in termini di esposizione sia in termini di pericolosità.

Al capitolo 8 si è quindi formulata un'ipotesi di intervento per la mitigazione del rischio idraulico attuale.

3. Inquadramento generale

3.1. Inquadramento territoriale

Il bacino idrografico del Fosso San Galigano si estende all'interno del comune di Perugia per una superficie di 3.28 km², ed è localizzato ad ovest del centro storico di Perugia (Figura 3.1).

Il Fosso San Galigano è un affluente in sinistra del Torrente Genna, con confluenza in località Pian di Massiano.

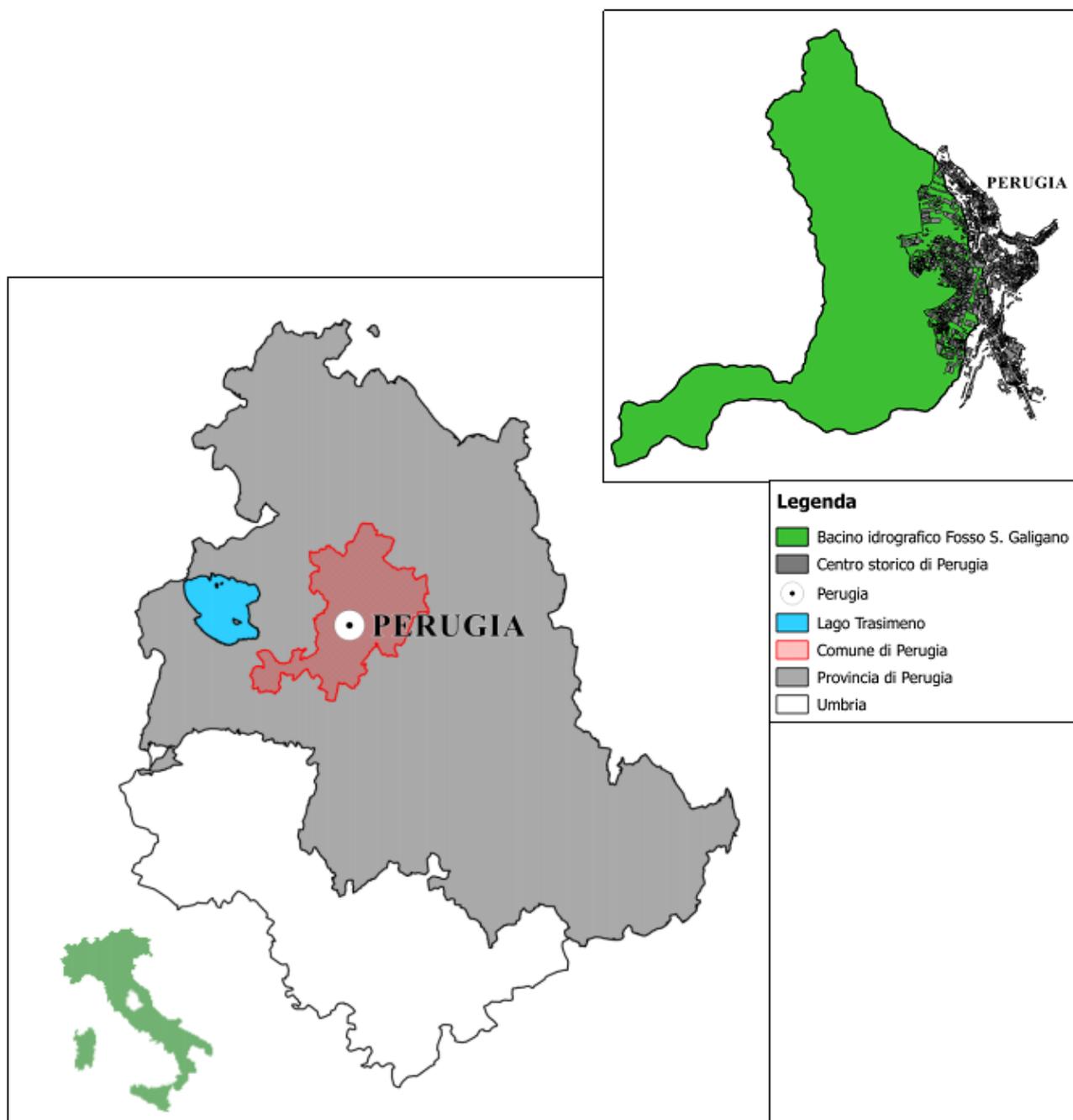


Fig. 3.1 – Posizione del bacino del Fosso San Galigano all'interno della provincia di Perugia; il bacino ha una superficie di circa 33 ettari e attraversa l'area verde di Rimocchi, la stazione di Perugia e parte dell'abitato di Madonna Alta per confluire nel Torrente Genna a Pian di Massiano.

Il bacino in esame è compreso nel box di coordinate geografiche 43° 07' e 43° 06' di latitudine Nord e 12° 21' e 12° 23' di longitudine Est da Greenwich ed è delimitato a Nord dall'abitato di Ponte d'Oddi, a Est dalla città di Perugia, a Ovest dal bacino idrografico del Fosso Santa Lucia Massiano e a Sud dalla località di Prepo.

Il Fosso San Galigano è stato nel tempo significativamente alterato rispetto alle condizioni originarie; attualmente, il corso d'acqua è intubato per la quasi totalità del suo tracciato.

Tale fosso nasce a valle dell'abitato di Ponte d'Oddi, dove il corso d'acqua si manifesta tutt'oggi allo stato naturale attraversando alcune aree agricole, per poi essere intubato nei pressi dell'attraversamento stradale di Strada Perugia – S. Marco.

Dall'attraversamento sopracitato il corso d'acqua procede verso valle intubato, per circa 6 chilometri, fino alla sua confluenza con il Torrente Genna in località Pian di Massiano nelle vicinanze dell'istituto Aldo Capitini.

Nel suo percorso attraversa da Nord a Sud l'area verde di Rimbocchi, Case Bruciate, la zona della Stazione di Fontivegge, l'abitato di Madonna Alta e infine il parco Chico Mendez di via Cortonese.

Allo stato attuale il tratto intubato funge da ramo principale della fognatura, raccogliendo le acque miste di tutto il settore occidentale dell'abitato di Perugia.

Il tracciato odierno del Fosso San Galigano, nonostante le alterazioni subite a causa dell'intubamento, ricalca quasi perfettamente la posizione planimetrica che aveva il corso d'acqua in condizioni naturali.

Le sezioni che costituiscono tale tratto intubato, da monte a valle, presentano forma e dimensioni variabili; nei pressi dell'area verde di Rimbocchi la tubazione si presenta con una sezione circolare di diametro 1200 mm; proseguendo verso valle è presente un breve tratto dove il diametro della sezione diminuisce fino a 1000 mm per poi ricollegarsi ad una tubazione, sempre a sezione circolare, con diametro di 1700 mm.

Le dimensioni del Fosso San Galigano restano invariate fino alla zona di Case Bruciate dove, probabilmente a causa della confluenza con il Fosso della Cupa, troviamo il passaggio da tubazione circolare a scatolare con dimensioni 3.2 metri (altezza) x 2.1 metri (larghezza), aumentando notevolmente l'area della sezione.

Nell'ultimo tratto, fino alla confluenza con il Torrente Genna, è mantenuta sempre la forma scatolare se pur con dimensioni variabili.

Uno schema riassuntivo è rappresentato in Figura 3.2:

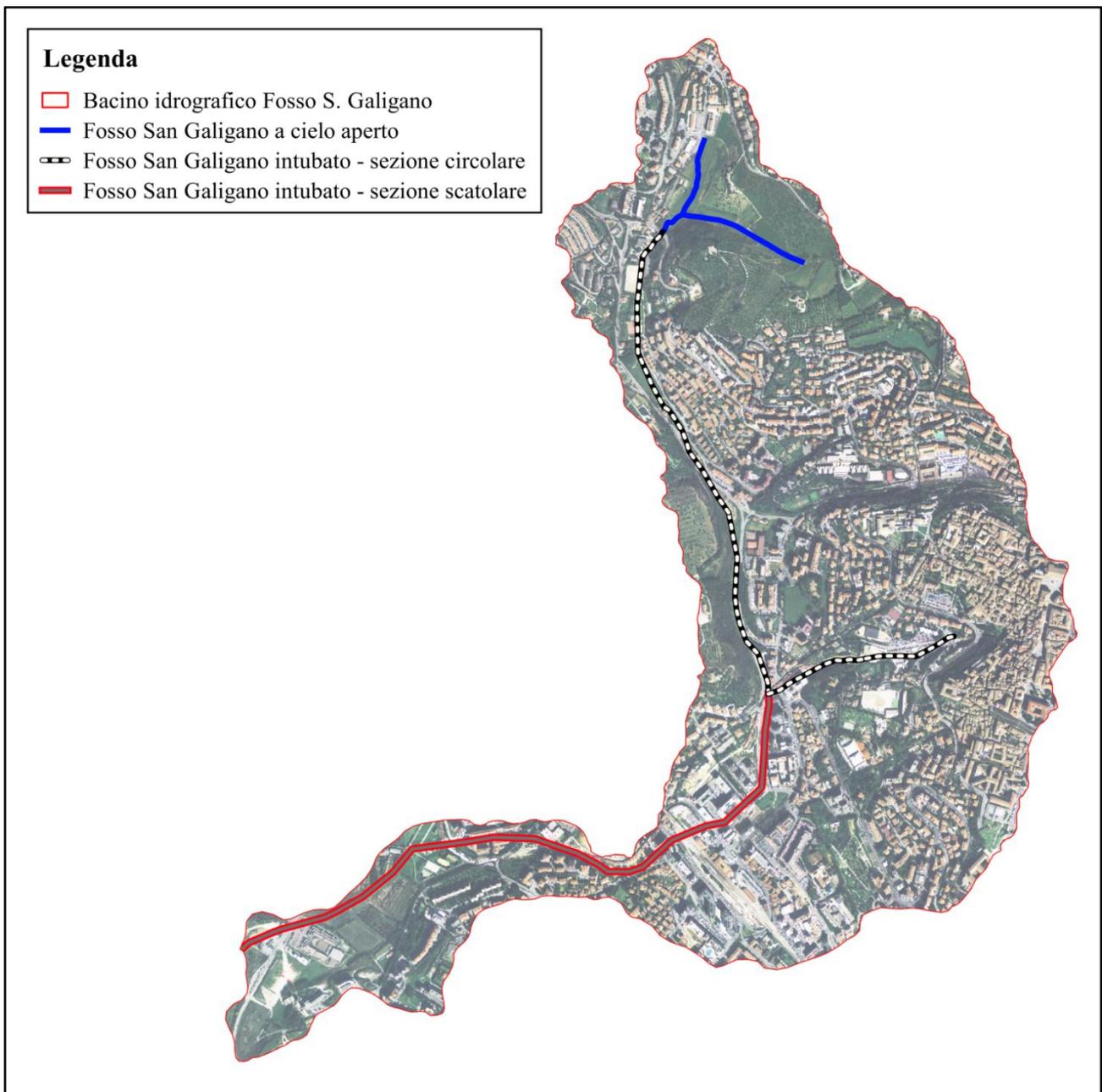


Fig. 3.2 – Inquadramento su Ortofoto del Fosso San Galigano

3.2. Cartografia di riferimento

L'analisi idraulica-idrologica per la valutazione del rischio idraulico, oggetto dello studio e relativa a eventi di piena di assegnato tempo di ritorno T_r , è stata sviluppata a partire dall'identificazione ed acquisizione di una base informativa territoriale idonea in termini di rappresentazione sia del reticolo idrografico sia del territorio da esso interessato.

In particolare, l'attività conoscitiva ha riguardato la caratterizzazione geomorfologica del bacino oggetto di studio mediante l'acquisizione di:

- Carta Geologica digitale del Comune di Perugia, scala 1:10000;
- Carta dell'uso del suolo del Comune di Perugia, scala 1:5000;
- Reticolo Idrografico da carte EIRA in scala 1:5000 e ortofoto in scala 1:10000;
- Bacino idrografico da carta EIRA in scala 1:5000 e curve di livello estratte dal DTM 3m x 3m;
- Modello Digitale del Terreno (DTM), 3m x 3m;
- Carta Tecnica Regionale (CTR), in scala 1:10000;
- Ortofoto 2013 da Regione Umbria.

Inoltre per comprendere i cambiamenti che si sono avuti negli ultimi decenni all'interno del bacino in esame in termini di uso del suolo e quindi di parametri idrologici, e le conseguenti variazioni in materia di rischio idraulico, è stata acquisita e utilizzata ulteriore cartografia storica (vedi capitolo 6).

3.3. Caratteristiche idro-geolitologiche del bacino

Le caratteristiche geolitologiche del bacino sono state acquisite estrapolando le informazioni litologiche dalla carta geologica digitale del Comune di Perugia con scala 1:10000 e vengono riportate in Figura 3.3 e in Tabella 3.1.

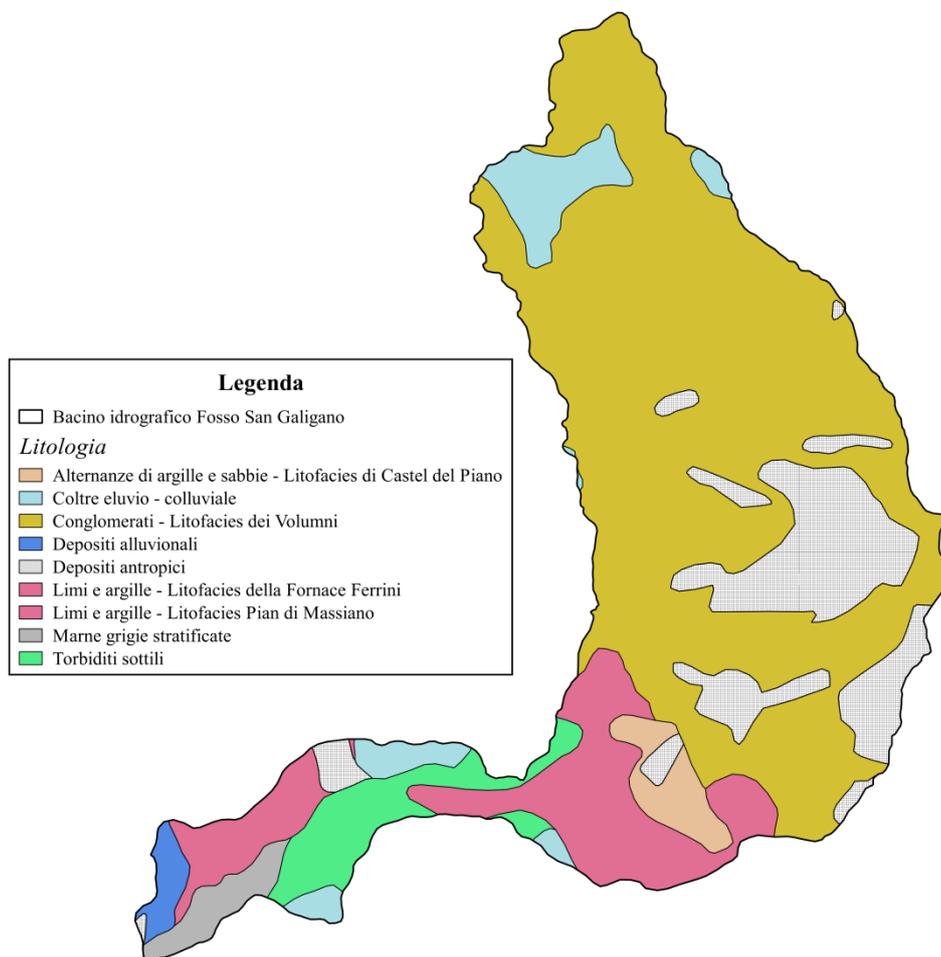


Fig. 3.3 – Bacino idrografico del Fosso San Galigano: litologia

	Litologia	Area (%)
	Coltre eluvio-colluviale	5.4
	Depositi alluvionali	1
	Depositi antropici	13.6
	Alternanze di argille e sabbie – Litofacies di Castel del Piano	2.5
	Limi argillosi – Litofacies di Pian di Massiano	3
	Limi argillosi – Litofacies della Fornace Ferrini	9.6
	Torbiditi sottili	5
	Conglomerati – Litofacies dei Volumni	58
	Marne grigie stratificate - Schlier	1.9

Tab. 3.1 – Caratteristiche litologiche del bacino del Fosso San Galigano

Le informazioni riguardanti l'uso del suolo sono state ricavate dalla carta dell'uso del suolo digitale del Comune di Perugia, sviluppata con uno studio di dettaglio tramite interpretazione foto-aerea. La superficie del bacino è ricoperta prevalentemente da aree urbane (77.7%). Le principali caratteristiche sono riportate in Tabella 3.2 e rappresentate in Figura 3.4.

Tab. 3.2 – Uso del suolo del bacino del Fosso San Galigano

Uso del suolo	Area (%)
Aree urbane	77.7
Aree agricole	6.5
Pascoli - prati - incolti	2.5
Colture specializzate	7.1
Aree boschive	3.7
Corridoi e formazioni arboree lineari	2.3

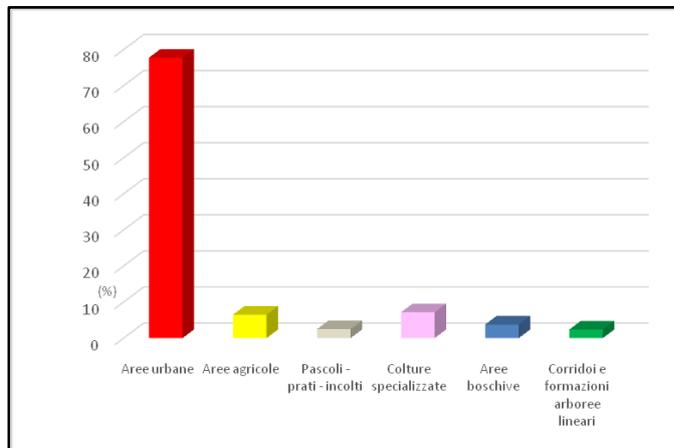


Fig. 3.4 – Uso del suolo del bacino del Fosso San Galigano

Una rappresentazione cartografica dell'uso del suolo è mostrata in Figura 3.5.

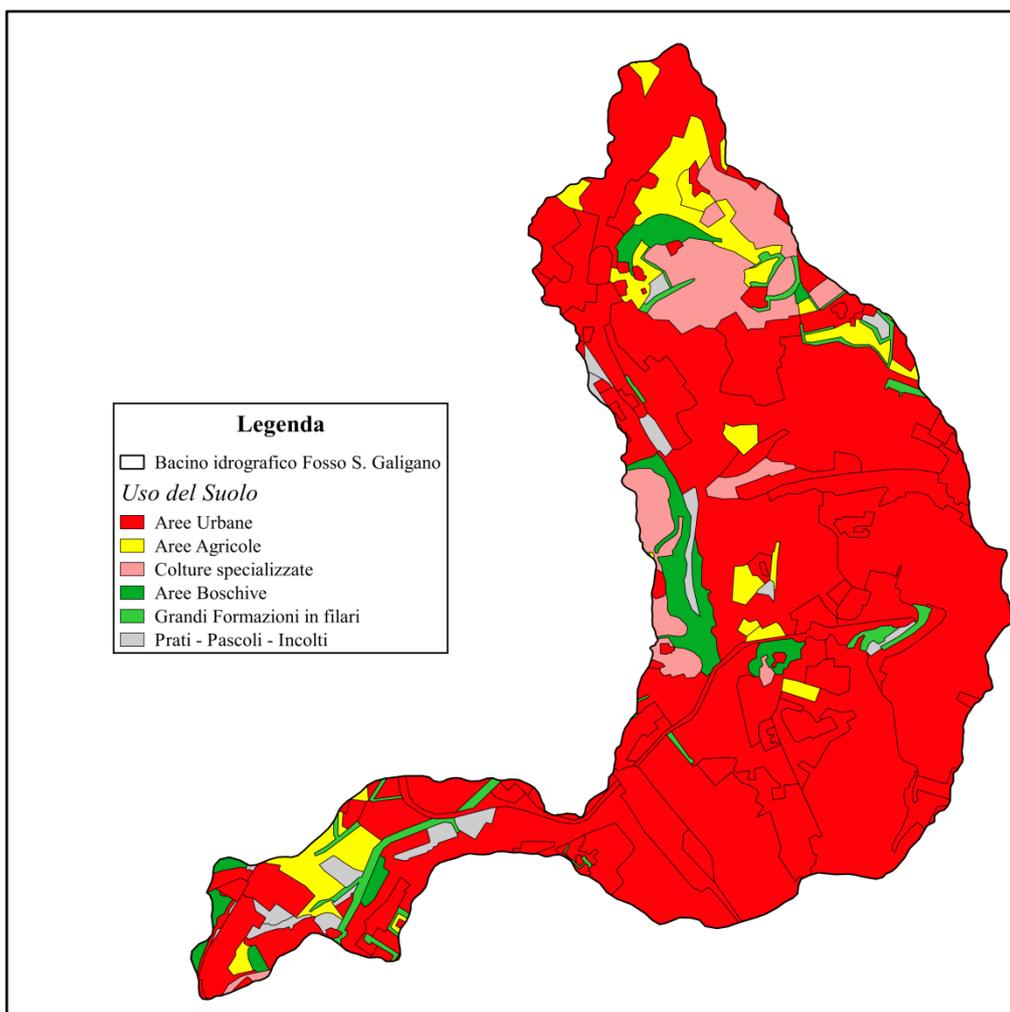


Fig. 3.5 – Bacino del Fosso San Galigano: uso del suolo

Sulla base dei dati geolitologici e di uso del suolo è stata elaborata la mappa relativa al parametro adimensionale CN (Curve Number) stimato secondo la procedura proposta dal Soil Conservation Service (SCS) e che determina la massima ritenzione potenziale del terreno.

La Figura 3.6 mostra la carta del CN per condizioni intermedie di umidità del suolo (CNII).

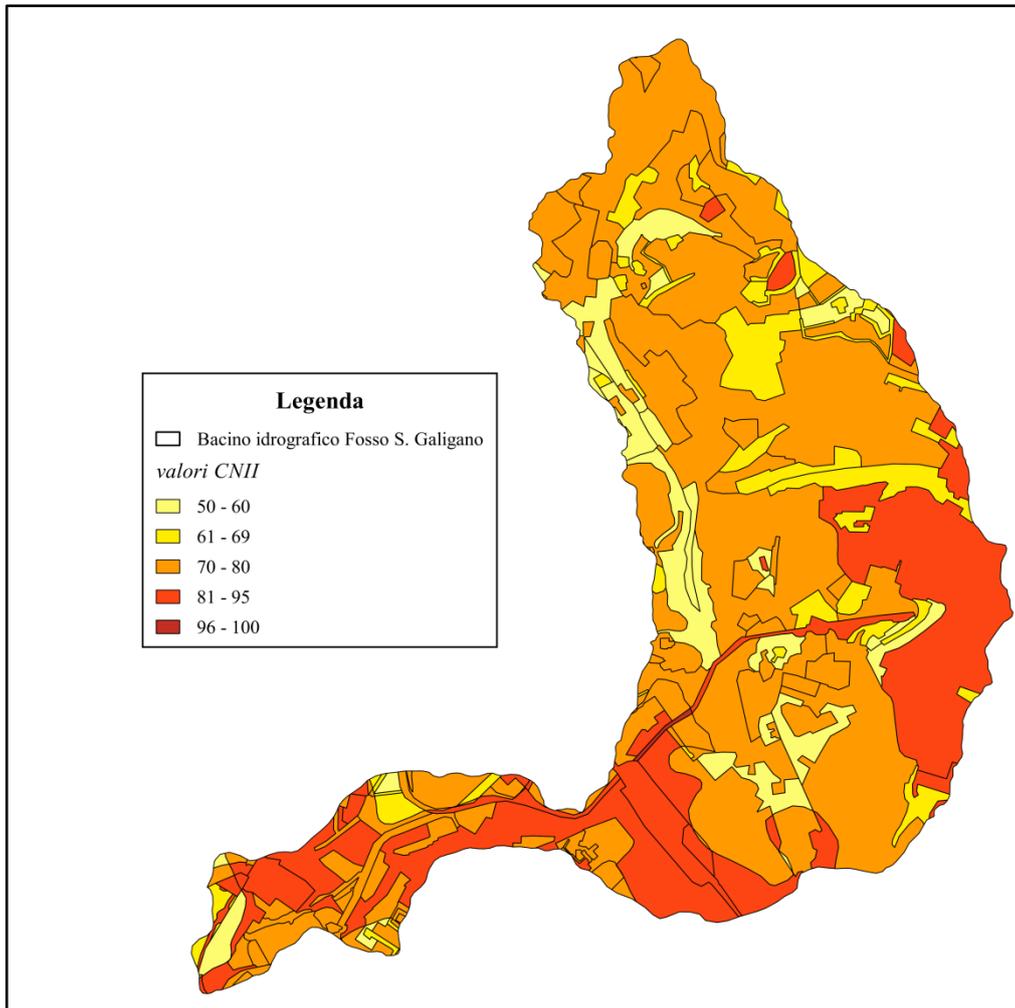


Fig. 3.6 – Bacino del Fosso San Galigano: Curve Number (CN) per condizioni di umidità del suolo intermedie

3.4. Rete di monitoraggio idro-pluviometrico

La rete idro-pluviometrica presente nell'area del bacino del Fosso San Galigano è mostrata in Figura 3.7.

Nella zona in esame e nelle immediate vicinanze sono localizzate diverse stazioni pluviometriche. Le principali caratteristiche della rete di monitoraggio sono sintetizzate in Tabella 3.3.

Tab. 3.3 – Caratteristiche delle stazioni di monitoraggio presenti nell'area del bacino del Fosso San Galigano

Stazione	Ente Proprietario	Strumento	Coordinate WGS84 - UTM33		Periodo di funzionamento
			X	Y	
Perugia	Regione Umbria	Pluviometro	288087	4775349	dal 16 maggio 1983
Perugia – Santa Giuliana	Regione Umbria	Pluviometro	287387	4775762	dal 6 maggio 2004
Perugia Sede	Regione Umbria	Pluviometro	286494	4775910	dal 23 settembre 2015; osservazioni dal 1994

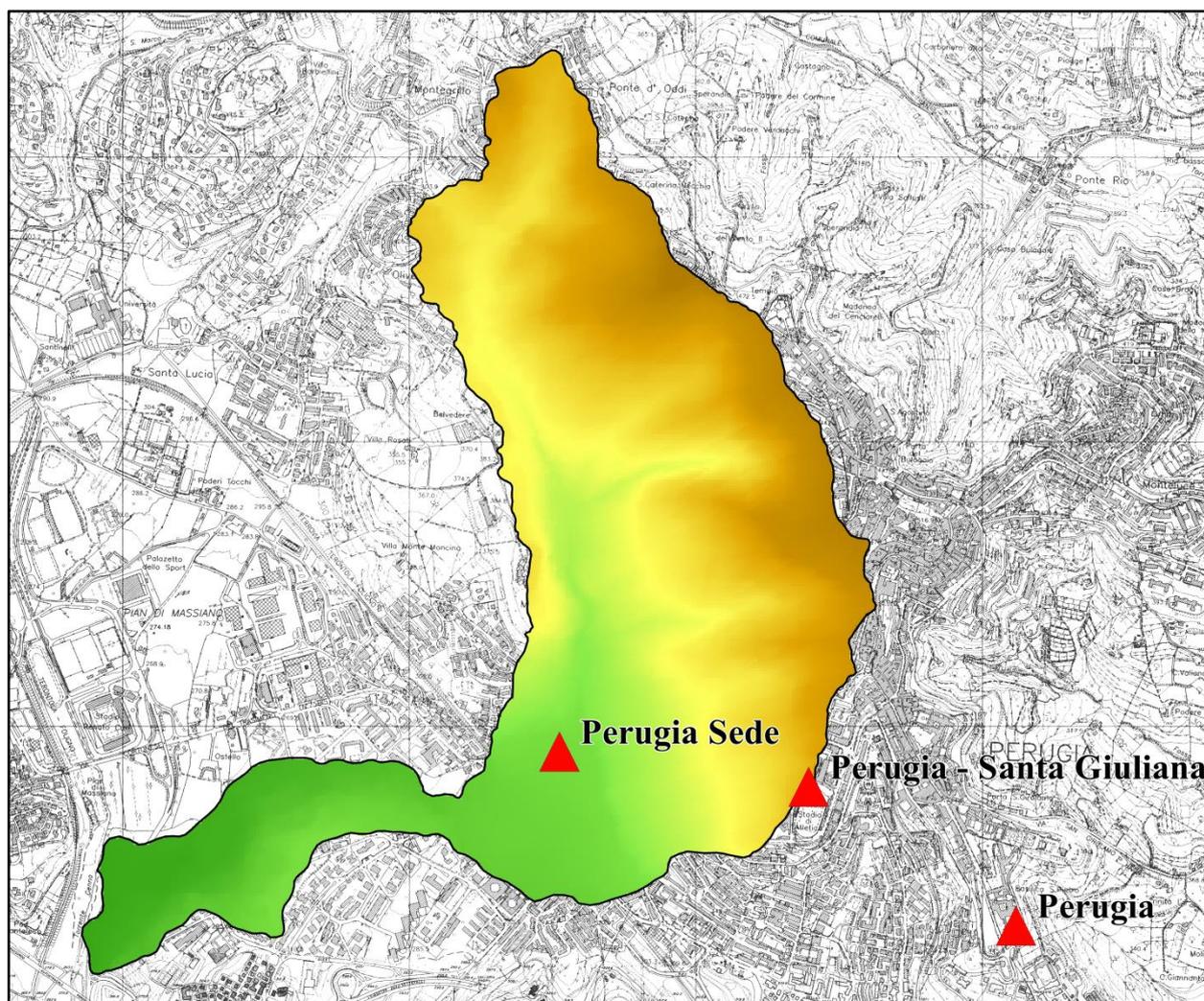


Fig. 3.7 – Bacino del Fosso San Galigano: stazioni idrometeorologiche presenti nelle vicinanze dell'area oggetto di studio

3.5. Eventi passati d'inondazione

La conoscenza degli eventi passati d'inondazione verificatisi lungo il Fosso San Galigano è di base per un'approfondita analisi della vulnerabilità idraulica del territorio.

Negli anni passati si sono verificati con frequenza significativa eventi di allagamento in vari tratti del Fosso San Galigano, principalmente a valle dell'area verde di Rimbocchi e a monte della sede succursale della scuola media Giovanni Pascoli.

Le aree interessate da eventi passati d'inondazione sono riportate in modo indicativo nella Figura 3.8.

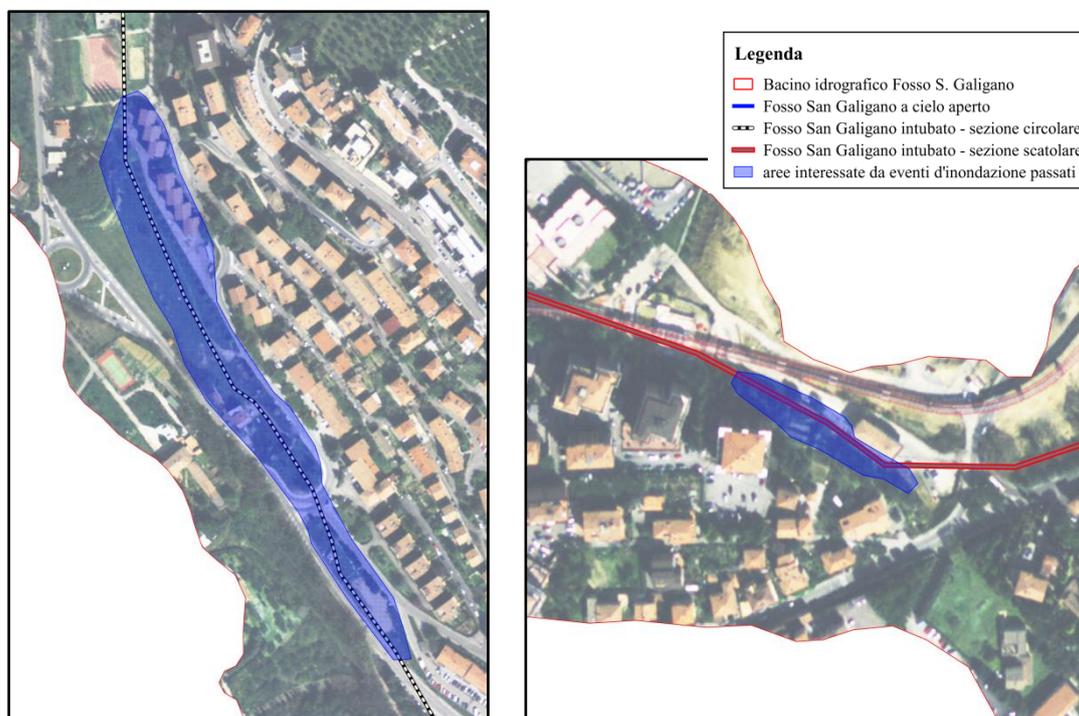
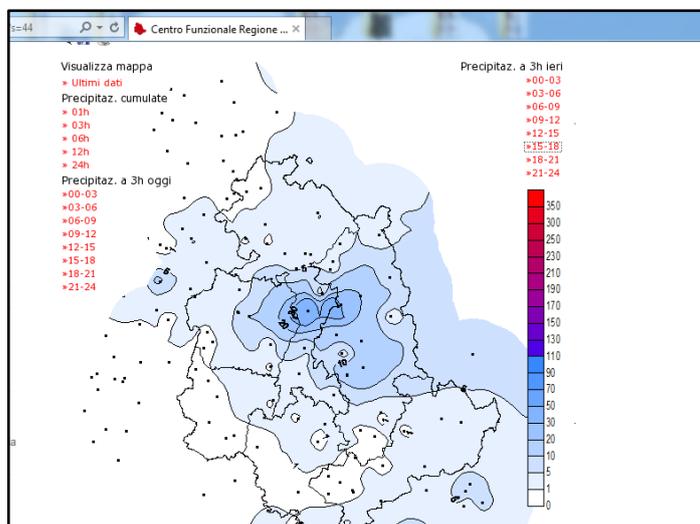


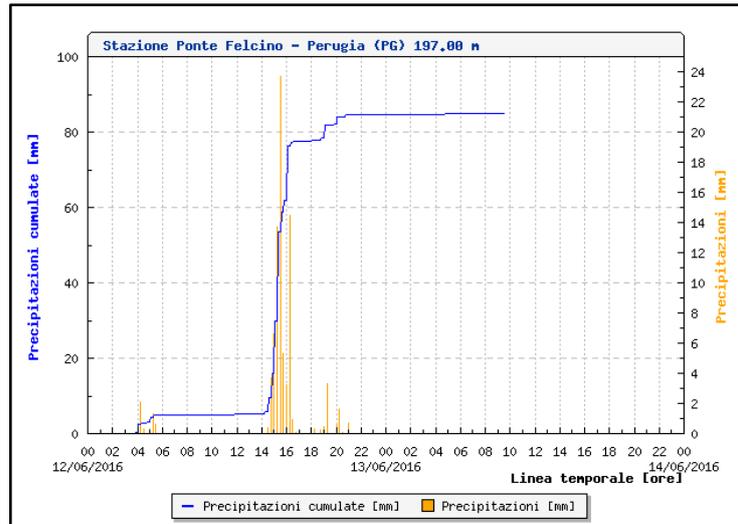
Fig. 3.8 – Localizzazione delle aree interessate da eventi d'inondazione passati: a sinistra l'area verde di Rimbocchi; a destra l'area a monte della sede succursale della scuola Giovanni Pascoli

3.5.1. Evento critico del 12/06/2016

Nell'evento meteo critico che ha interessato il territorio perugino il 12/06/2016, le piogge che si sono abbattute nel primo pomeriggio e hanno avuto un massimo tra le ore 15 e le ore 18, con un valore poco inferiore a 120 mm di accumulata in 2 ore, hanno comportato importanti eventi di allagamento. Il grafico sottostante indica con precisione la localizzazione e l'intensità delle piogge legate al suddetto evento.



Il Centro Funzionale Regionale di Protezione Civile ha riportato che, riferendosi alla stazione pluviometrica di Ponte Felcino, trattasi di un evento il cui tempo di ritorno corrispondente è pari a 200 anni.



Questo evento, come si può vedere dalle seguenti immagini, ha causato ingenti danni nel bacino idrografico oggetto di studio.



4. Analisi idrologica

La metodologia di calcolo adottata per la valutazione delle portate al colmo di acque bianche è quella del cosiddetto metodo razionale:

$$Q_c = i_{n,r} A_b$$

Dove:

- Q_c = portata al colmo nella sezione di chiusura del bacino considerato
- $i_{n,r}$ = intensità media di pioggia netta e raggugliata di assegnato tempo di ritorno
- A_b = superficie del bacino sotteso dalla sezione di chiusura del bacino

Il suddetto metodo richiede quindi una preliminare valutazione delle intensità di pioggia $i_{n,r}$; queste sono state calcolate applicando il metodo del Curve Number (CN) sviluppato dal Soil Conservation Service (SCS, 1975; 1985), il quale a sua volta richiede la conoscenza delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica valide nella località esaminata.

4.1. Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (L.S.P.P.)

Come linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per la località esaminata sono state utilizzate quelle ottenute dal recente studio “Analisi delle precipitazioni intense in Umbria”, Morbidelli (2016) dall’analisi dei massimi annui di piogge brevi e intense.

All’interno del bacino in esame e nelle immediate vicinanze sono localizzate diverse stazioni pluviometriche (vedi paragrafo 3.4); tra queste si è scelto di far riferimento alla stazione pluviometrica di Perugia Sede, in quanto posizionata all’interno del bacino idrografico e posta ad una quota di 345 m s.l.m. ragionevolmente assimilabile alla quota media del bacino.

Si riportano in Tabella 4.1 i parametri della LSPP per la stazione pluviometrica individuata:

Tab. 4.1 – Parametri delle LSPP per la stazione pluviometrica di Perugia Sede, rappresentativa dell’area del bacino del Fosso San Galigano

Tr (anni)	5	10	25	50	100	200
a	35.16	41.57	49.93	56.33	62.86	69.53
b'	0.577	0.577	0.577	0.577	0.577	0.577
b	0.260	0.261	0.264	0.267	0.272	0.276

4.2. Altezze di pioggia puntuali lorde

Una volta noti i parametri di interesse delle LSPP, le altezze di pioggia puntuali lorde sono state ricavate mediante le relazioni:

$$R_d(T_r) = ad^{b'} \quad (\text{in mm}) \quad \text{valida nell'intervallo di durate:} \quad 0 < d \leq 1 \text{ ora}$$

$$R_d(T_r) = ad^b \quad (\text{in mm}) \quad \text{valida nell'intervallo di durate:} \quad 1 \text{ ora} < d \leq 48 \text{ ore}$$

4.3. Altezze di pioggia lorde ragguagliate all'area del bacino

Osservando sperimentalmente le piogge intense è possibile affermare che, all'interno di una certa area, l'intensità di precipitazione durante l'evento piovoso varia da punto a punto, anche in maniera sensibile, e questa variazione è tanto maggiore quanto maggiore è l'estensione dell'area considerata. Per questo alla precipitazione lorda, calcolata rispetto alla sezione di calcolo, è stato applicato un coefficiente di ragguaglio dipendente dall'area del bacino e dalla durata dell'evento.

Per il coefficiente di ragguaglio è stata utilizzata in particolare l'espressione del Department of Environment Water Council (DEWC, 1981):

$$r(\tau, A_b) = 1 - f_1 \tau^{-f_2}$$

Con: $f_1 = 0.0394 A_b^{0.354}$
 $f_2 = 0.4 - 0.0208 \ln(4.6 - \ln A_b)$ se $A_b < 20 \text{ km}^2$
 $f_2 = 0.4 - 0.003832(4.6 - \ln A_b)^2$ se $A_b > 20 \text{ km}^2$

4.4. Altezze di pioggia efficaci

Per il metodo SCS, le altezze di pioggia efficaci possono essere valutate come:

$$P_e = \frac{P_n^2}{P_n + S}$$

Con $P_n = P - IA$
 $IA = k_{ia} S$

Dove:

- P = pioggia totale o altezze di pioggia lorde ragguagliate (mm)
- IA = perdite iniziali (mm)
- K_{ia} = coefficiente di perdite iniziali
- S = capacità idrica massima del suolo o volume specifico di saturazione (mm)
- P_n = altezza di pioggia netta (mm)
- P_e = altezza di pioggia efficace o deflusso diretto (mm)

Viene assunto un coefficiente di perdite iniziali pari a 0.1, compatibile con piccoli bacini per le condizioni italiane.

Il parametro S è ricavabile a sua volta, secondo il metodo SCS, come: $S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$

La determinazione del parametro S è stata condotta delimitando e misurando le aree aventi caratteristiche geologiche omogenee; per ciascuna di esse sono stati attribuiti i valori del CN(II) dedotti dalle tabelle redatte dal Soil Conservation Service per ognuna delle sotto-aree con usi del suolo omogenei. Quindi un valore S_i per ognuna delle aree a caratteristiche geologiche omogenee è stato calcolato in funzione del valore medio del CN(II) delle rispettive sotto-aree; infine è stato determinato il parametro S dell'intero bacino come media pesata tra i diversi S_i , dove il peso di ogni area è rappresentato dalla sua superficie A_i :

$$S = \frac{A_1 S_1 + \dots + A_n S_n}{\sum_i^n A_i}$$

4.5. Durata critica delle piogge e tempi di corrivazione

Si è assunto che la durata critica di pioggia (durata dell'evento di pioggia che comporta la massima portata al colmo) sia quella pari al tempo di corrivazione del bacino.

Per il calcolo del tempo di corrivazione si sono considerate le relazioni empiriche formulate da Giandotti e Ventura; in particolare si è ritenuto idoneo utilizzare la formulazione proposta da Ventura per bacini di superficie < 10 km²; si riporta inoltre la formulazione proposta da Giandotti per bacini di superficie > 10 km².

Formola di Giandotti:

$$t_c = \frac{4S^{0.5} + 1.5L}{0.8H^{0.5}}$$

Dove:

- **S** = area del bacino in km²
- **L** = lunghezza dell'asta principale in Km
- **H** = dislivello altimetrico tra gli estremi dell'asta in m

Formola di Ventura:

$$t_c = 0.1272 (S/i)^{0.5}$$

Dove:

- **S** = area del bacino in km²
- **i** = pendenza media dell'asta fluviale

4.6. Intensità di pioggia

Le intensità di pioggia, netta e ragguagliata, di assegnato tempo di ritorno, sono quindi state calcolate come rapporto tra gli spessori di pioggia efficace di durata pari alla durata critica e il tempo di corrivazione.

5. Valutazione del rischio idraulico attuale

5.1. Valutazione della pericolosità idraulica

Acquisite le informazioni cartografiche necessarie, analizzata e implementata l'idrologia del sistema, si è proceduto a valutare la pericolosità idraulica attraverso verifiche idrauliche locali di sezioni d'interesse in regime di moto uniforme. Infatti, come già citato al Capitolo 2, l'intubamento dell'alveo principale per gran parte del suo corso rende inopportuna una modellazione idraulica del fosso come asta fluviale.

Le sezioni critiche individuate sono riportate in Figura 5.1.

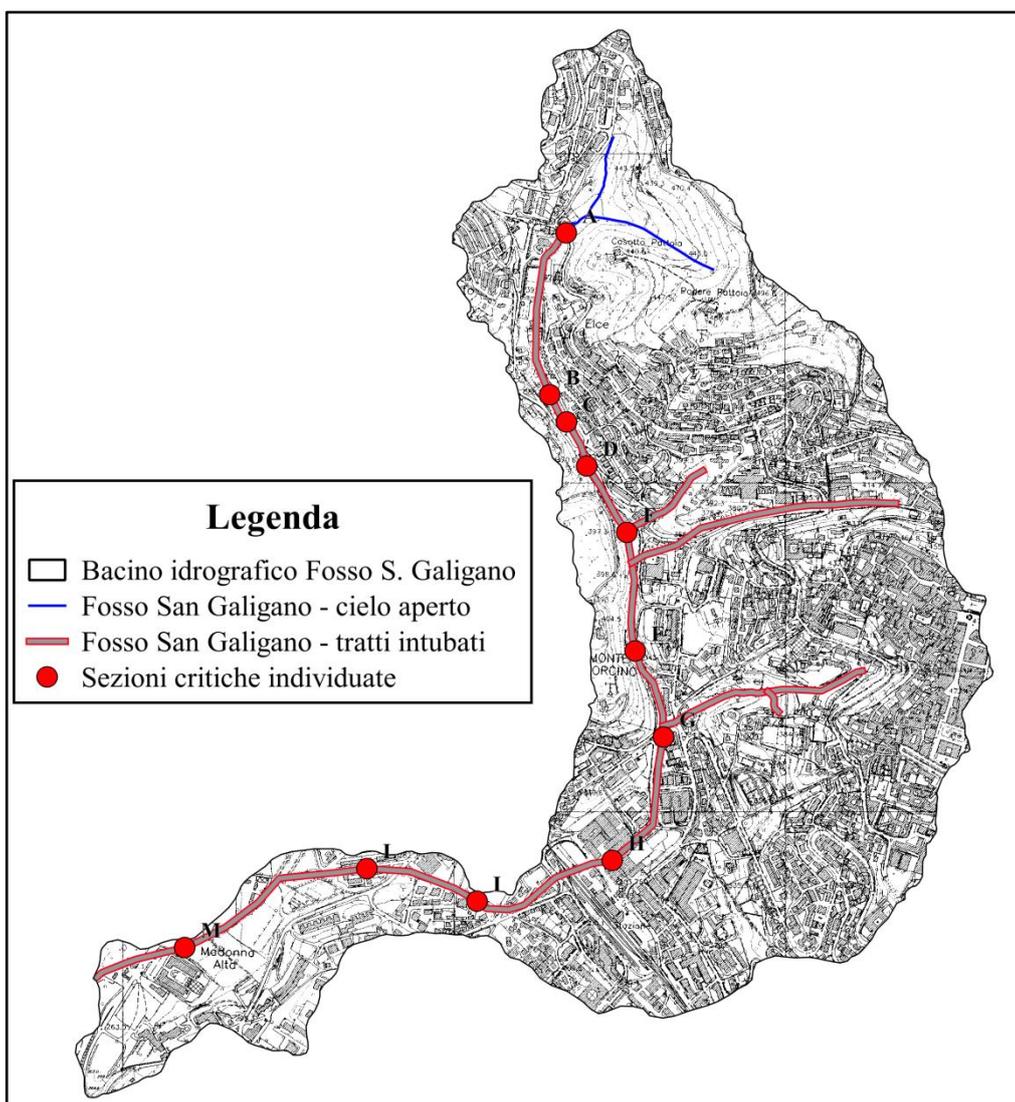


Fig. 5.1 – Localizzazione sezioni critiche nel bacino idrografico del Fosso San Galigano

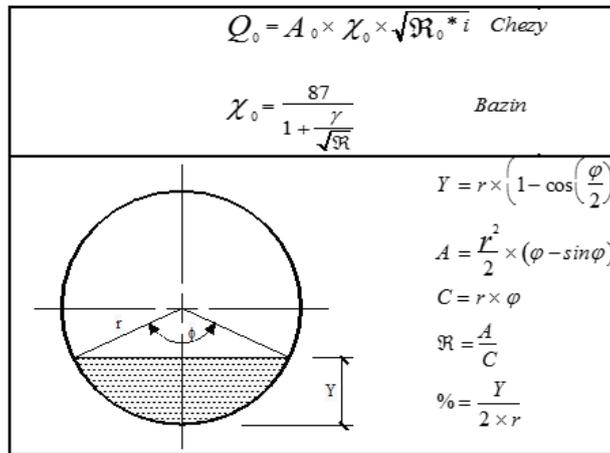
Il tratto intubato del Fosso San Galigano funge da fognatura mista, raccogliendo sia le acque bianche sia le acque nere dell'intero bacino idrografico.

Da precisare che per le fognature a sistema unitario di smaltimento, cioè miste, non occorre in sede di verifica far riferimento allo smaltimento delle acque nere. Infatti, è improbabile la coincidenza tra la portata di picco di acque bianche e la portata di picco delle nere; la verifica delle sezioni sarà allora condizionata dalle massime portate bianche: queste, infatti, possono oscillare da valori nulli a valori centinaia di volte superiori alle massime portate nere.

Per ciascuna delle sezioni individuate, sono state messe a confronto le portate massime smaltibili (Q_M) con le portate attese per eventi di pioggia di diversi tempi di ritorno (Q_C) ed assegnate quindi le seguenti classi di pericolosità:

	$Q_{C,50}$	$Q_{C,200}$	$Q_{C,500}$	Classe di Pericolosità
Q_M	<	<	<	A
	>	<	<	B
	>	>	<	C
	>	>	>	Nessuna

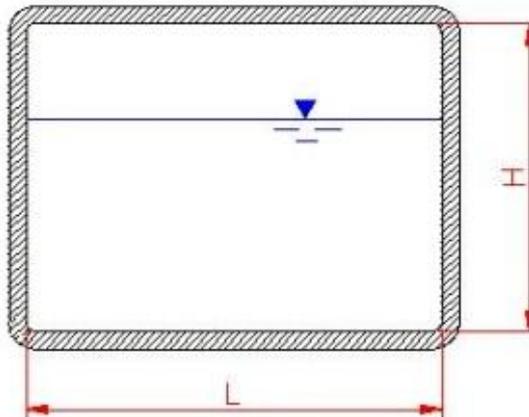
- La portata massima smaltibile Q_M per le sezioni di forma circolare in condizioni di moto uniforme è stata calcolata con le relazioni formulate da Chezy e Bazin:



- La portata massima smaltibile Q_M per le sezioni di forma scatolare in condizioni di moto uniforme è stata calcolata mediante la formula di Gauckler - Strickler:

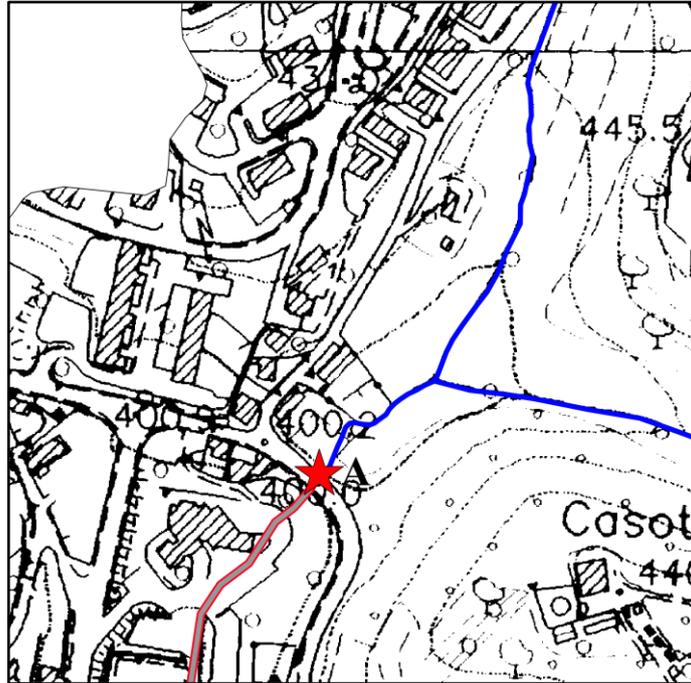
$$Q = K_s \times R_H^{2/3} \times i_f^{2/3}$$

Dove: Q = portata (m^3/s)
 K_s = coefficiente di scabrezza di Strickler ($m^{1/3}/s$)
 A = area bagnata (m^2)
 R_H = raggio idraulico (m)
 i_f = pendenza del fondo (m/m)



▪ **Sezione A – Galleria per attraversamento stradale**

Sezione in corrispondenza dell'attraversamento stradale di Strada Perugia – S.Marco - tratto intubato.



Materiale: *Pietrame in conci regolari*

Altezza: *1700 mm*

Larghezza: *1500 mm*

Area della sezione utile: *2.383 m²*

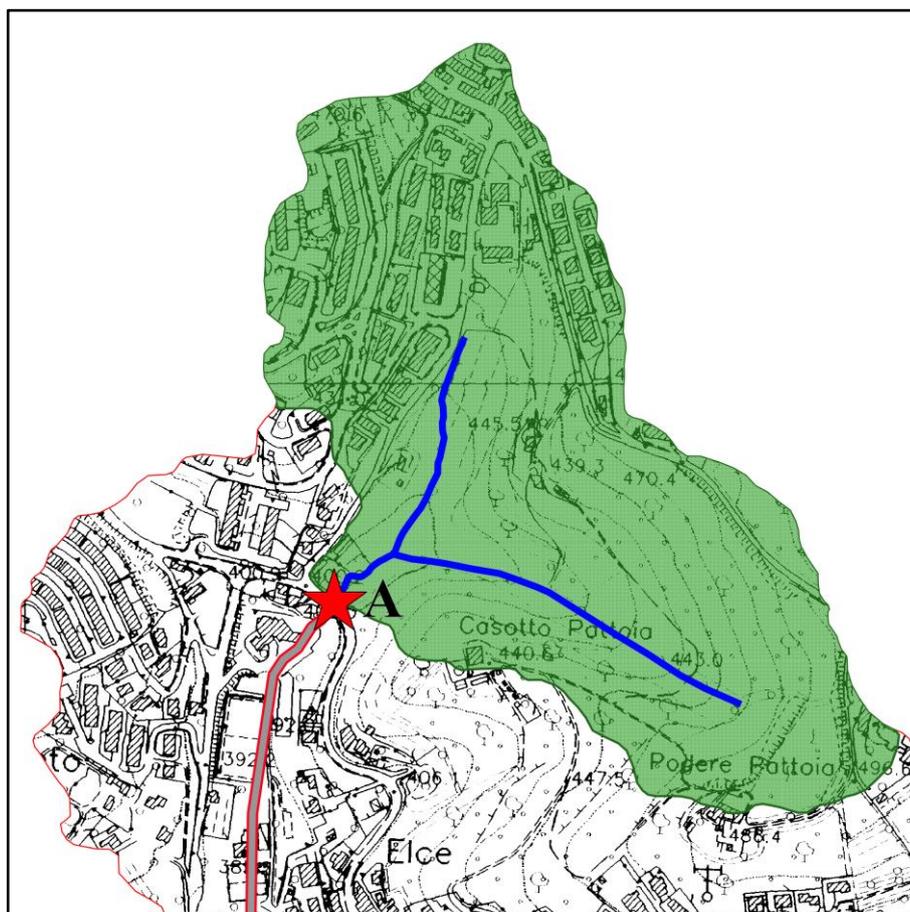
Pendenza locale dell'alveo: *0.015*

Coefficiente di scabrezza (Strickler): *30*

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: **$Q_m = 6.78 \text{ m}^3/\text{s}$**

Velocità della corrente al transito della massima portata: **$V_a = 2.84 \text{ m/s}$**

Questo primo tratto raccoglie le acque meteoriche della parte più a nord del bacino. Le portate attese si sono valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 4.



Il bacino idrografico sotteso dalla sezione A ha una superficie di circa 30 ettari ed è rappresentato in figura.

Le portate attese, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 4, risultano essere:

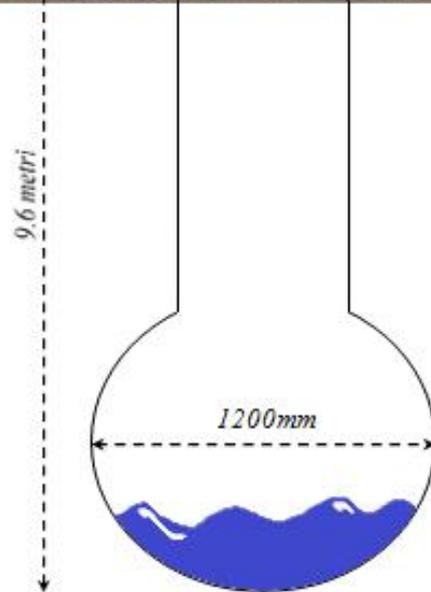
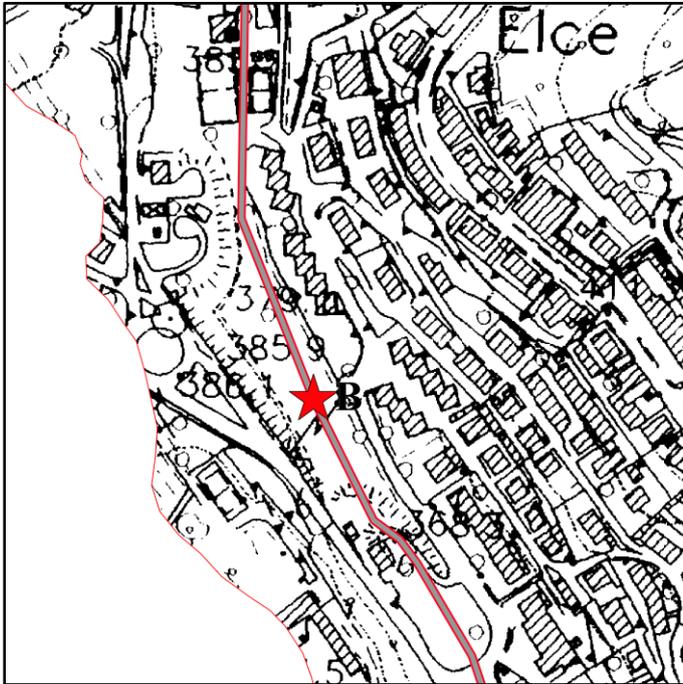
Tr = 50 anni	$Q_{c,50} = 2.13 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{c,200} = 3.27 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,200} < Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{c,500} = 4.12 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,500} < Q_m$

La sezione A risulta compatibile con il transito delle portate attese riferite ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Classe di pericolosità: **Nessuna**

▪ **Sezione B – Sezione circolare**

Sezione a monte dell'area sgambamento cani (area verde di Rimbocchi) – tratto intubato.



Materiale: *calcestruzzo*

Diametro: *1200 mm*

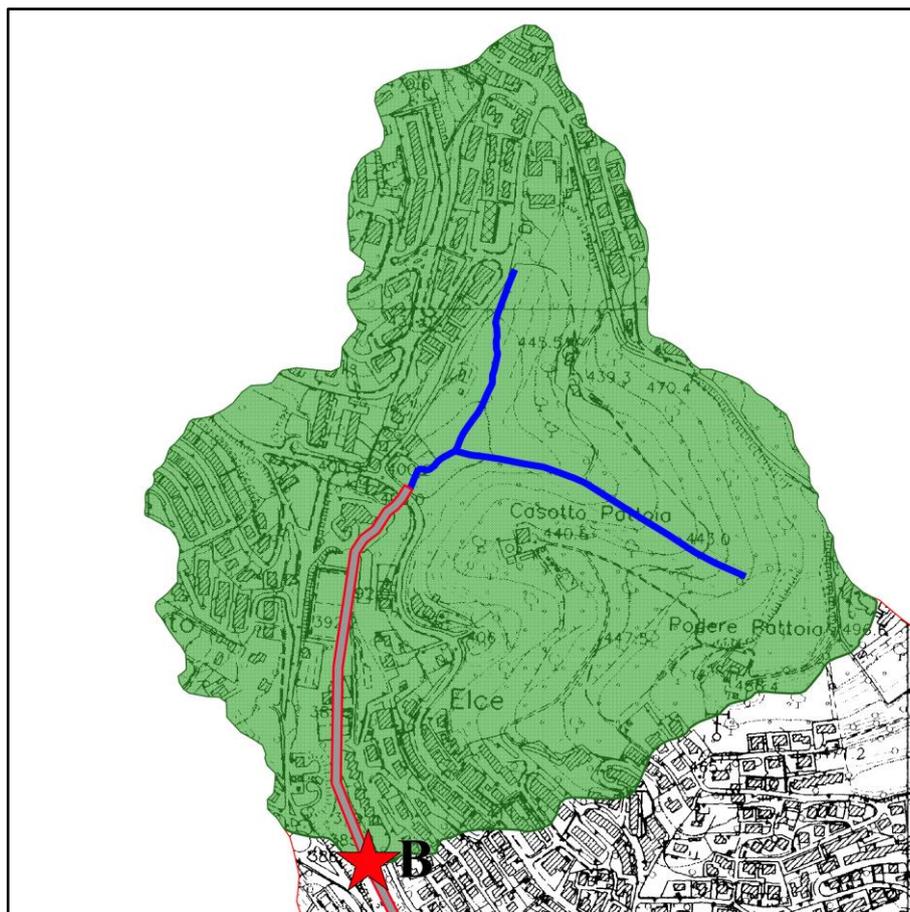
Area della sezione utile: *1.13 m²*

Pendenza locale dell'alveo: *0.015*

Coefficiente di attrito (Bazin): *0.23*

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: **$Q_m = 4.98 \text{ m}^3/\text{s}$**

Velocità della corrente al transito della massima portata: **$V_a = 4.49 \text{ m/s}$**



Il bacino idrografico sotteso dalla sezione B ha una superficie di 61 ettari ed è rappresentato in figura.

Le portate attese, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 4, risultano essere:

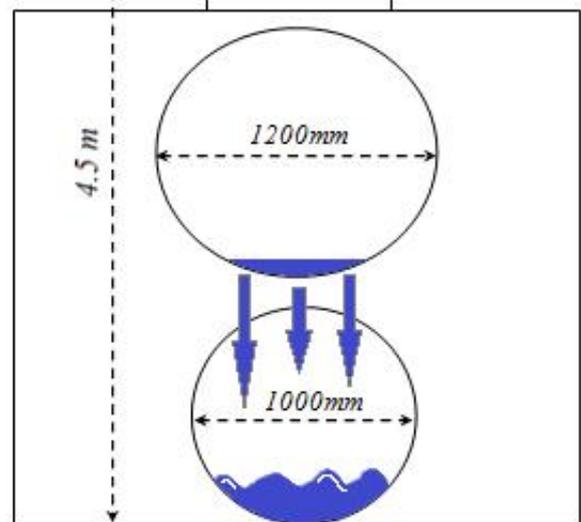
Tr = 50 anni	$Q_{c,50} = 3.51 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{c,200} = 5.36 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,200} > Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{c,500} = 6.69 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,500} > Q_m$

La sezione B risulta incompatibile con il transito delle portate attese riferite ai tempi di ritorno di 200 e 500 anni.

Classe di pericolosità: **B**

▪ Sezione C – Sezione circolare

Sezione localizzata nel piazzale del condominio di via delle Sorgenti – tratto intubato.



Materiale: *PVC corrugato*

Diametro: *1000 mm*

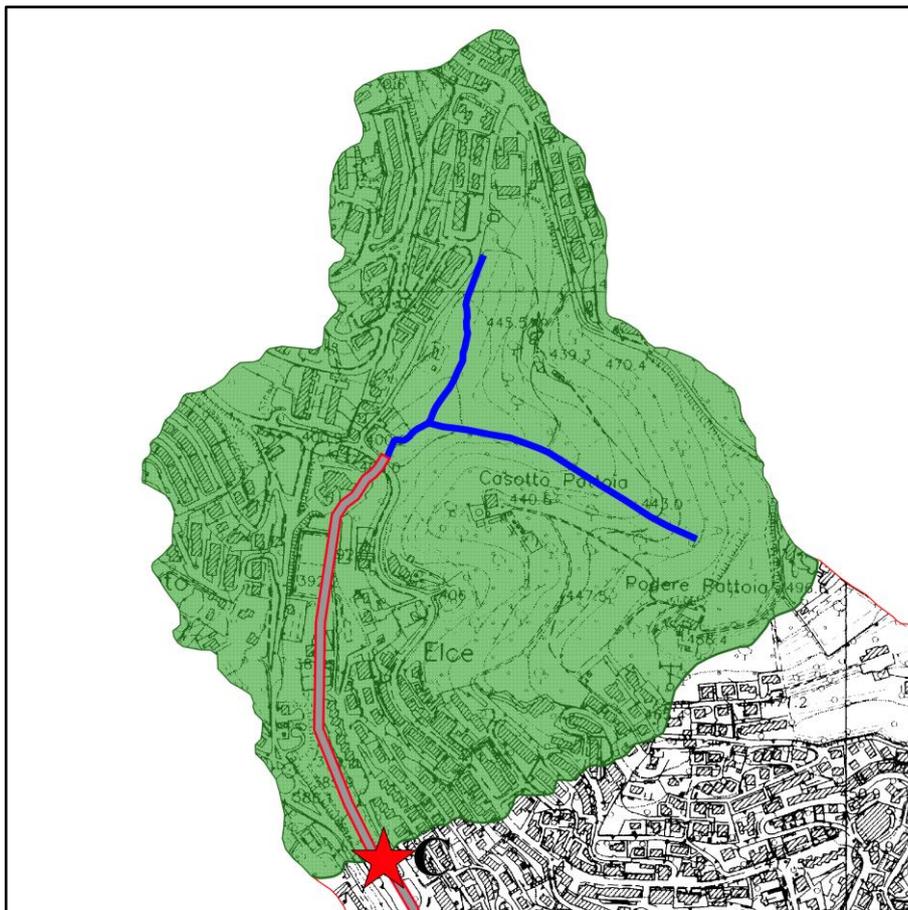
Area della sezione utile: *0.785 m²*

Pendenza locale dell'alveo: *0.015*

Coefficiente di attrito (Bazin): *0.15*

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 3.43 \text{ m}^3/\text{s}$

Velocità della corrente al transito della massima portata: $V_a = 4.45 \text{ m/s}$



Il bacino idrografico sotteso dalla sezione C ha una superficie di 65 ettari ed è rappresentato in figura.

Le portate attese, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 4, risultano essere:

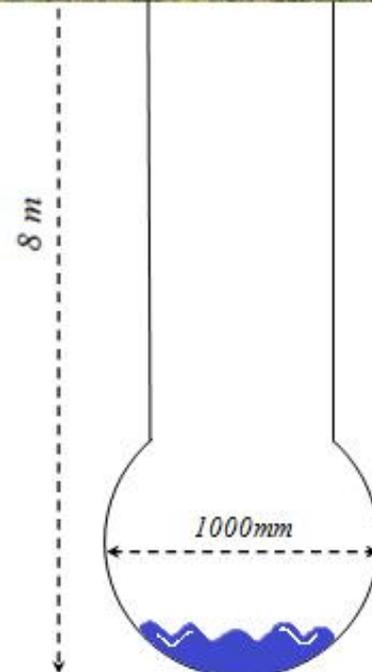
Tr = 50 anni	$Q_{c,50} = 3.65 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,50} > Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{c,200} = 5.57 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,200} > Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{c,500} = 6.95 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,500} > Q_m$

La sezione C risulta incompatibile con il transito delle portate attese riferite ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Classe di pericolosità: **A**

▪ **Sezione D – Sezione circolare**

Sezione a valle del condominio di via delle Sorgenti – tratto intubato.



Materiale: *PVC corrugato*

Diametro: *1000 mm*

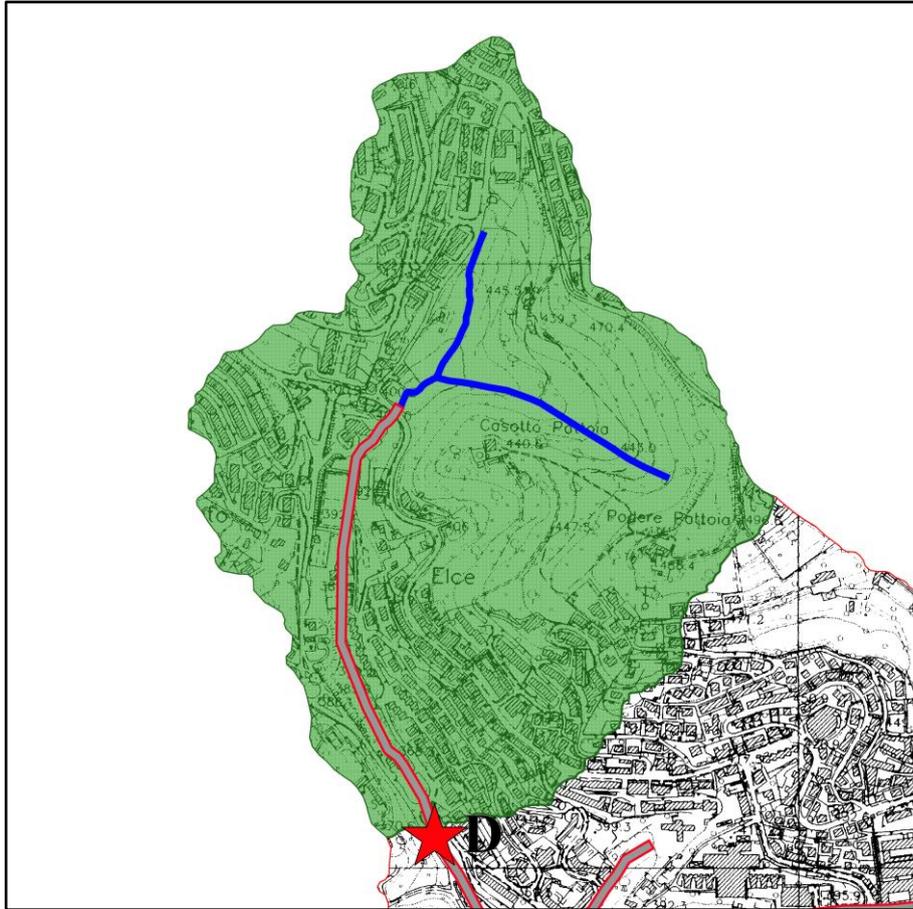
Area della sezione utile: *0.785 m²*

Pendenza locale dell'alveo: *0.015*

Coefficiente di attrito (Bazin): *0.15*

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 3.43 \text{ m}^3/\text{s}$

Velocità della corrente al transito della massima portata: $V_a = 4.45 \text{ m/s}$



Il bacino idrografico sotteso dalla sezione D ha una superficie di 73 ettari ed è rappresentato in figura.

Le portate attese, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 4, risultano essere:

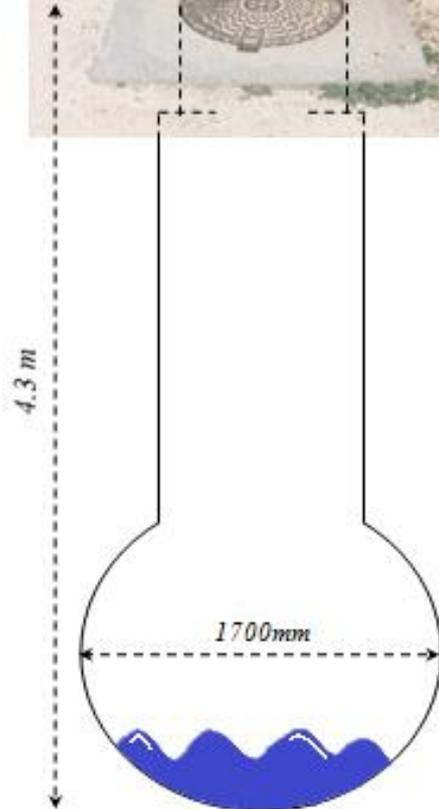
Tr = 50 anni	$Q_{c,50} = 4.24 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,50} > Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{c,200} = 6.48 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,200} > Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{c,500} = 8.10 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,500} > Q_m$

La sezione D risulta incompatibile con il transito delle portate attese riferite ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Classe di pericolosità: **A**

▪ **Sezione E – Sezione circolare**

Sezione posta di fronte al ristorante “Terme di San Galigano” – tratto intubato.



Materiale: *calcestruzzo*

Diametro: *1700 mm*

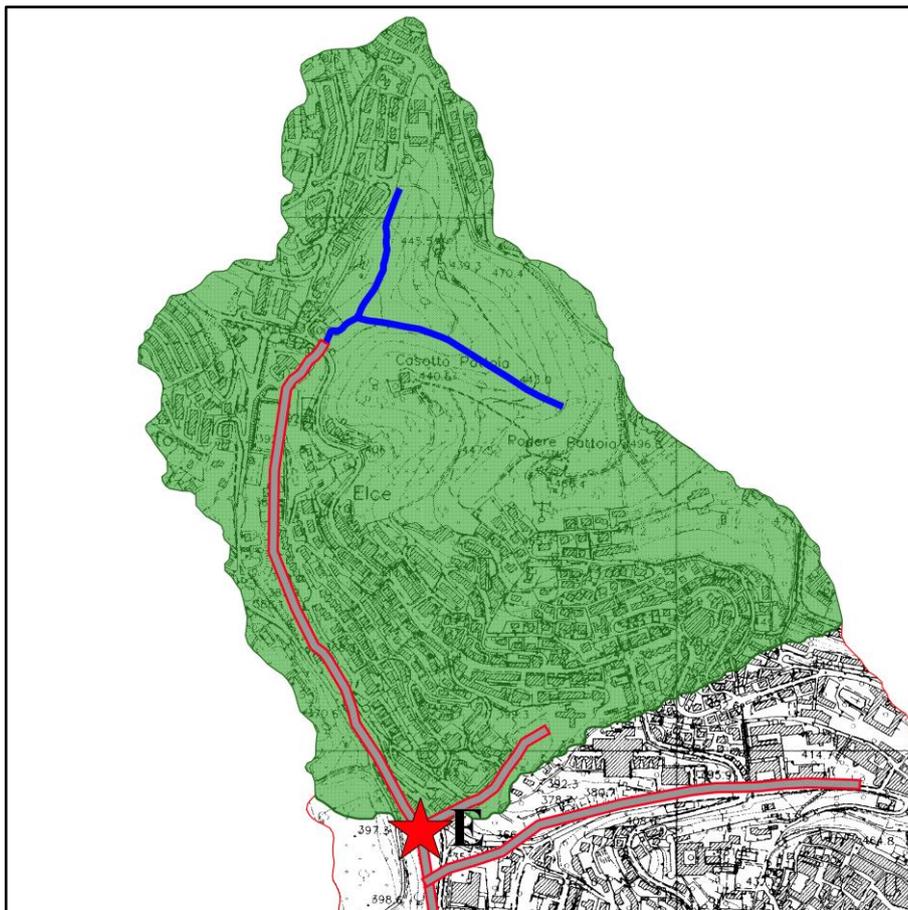
Area della sezione utile: *2.268 m²*

Pendenza locale dell'alveo: *0.015*

Coefficiente di attrito (Bazin): *0.23*

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: **$Q_m = 12.46 \text{ m}^3/\text{s}$**

Velocità della corrente al transito della massima portata: **$V_a = 5.59 \text{ m/s}$**



Il bacino idrografico sotteso dalla sezione E ha una superficie di 103 ettari ed è rappresentato in figura.

Le portate attese, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 4, risultano essere:

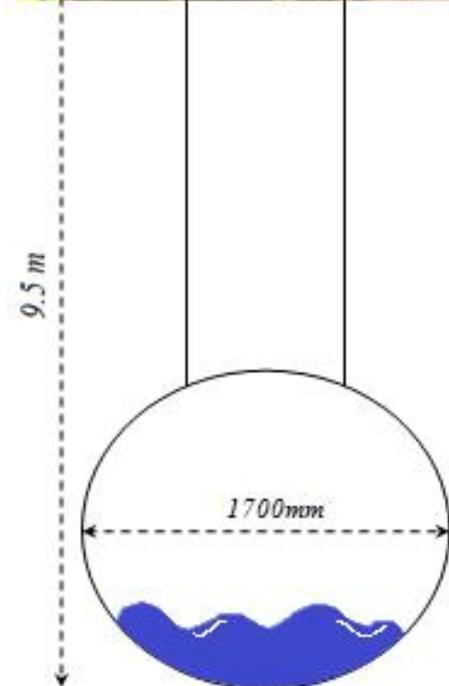
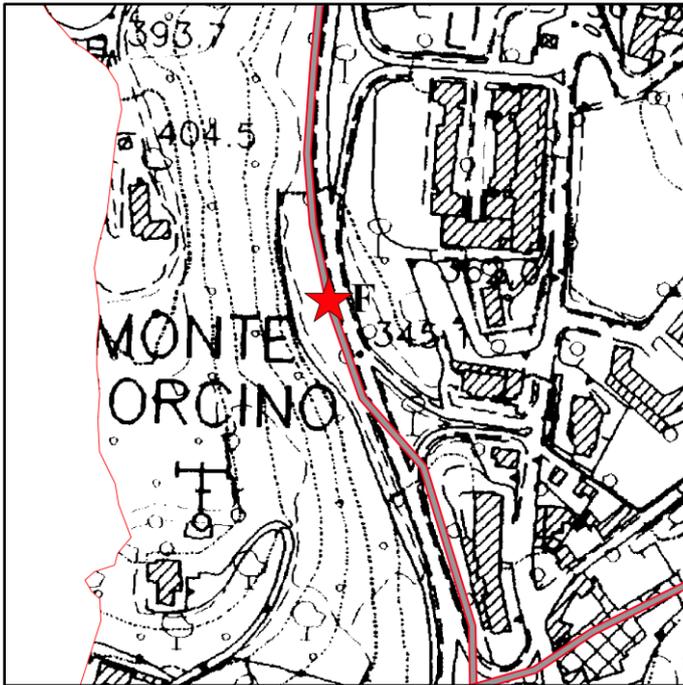
Tr = 50 anni	$Q_{c,50} = 5.32 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{c,200} = 8.08 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,200} < Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{c,500} = 10.05 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,500} < Q_m$

La sezione E risulta compatibile con il transito delle portate attese riferite ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Classe di pericolosità: **Nessuna**

▪ **Sezione F – Sezione circolare**

Sezione localizzata in destra rispetto al senso di marcia di via Raniero Fasani, prima del bivio con via Ruggero D'Andreotto – tratto intubato.



Materiale: *calcestruzzo*

Diametro: *1700 mm*

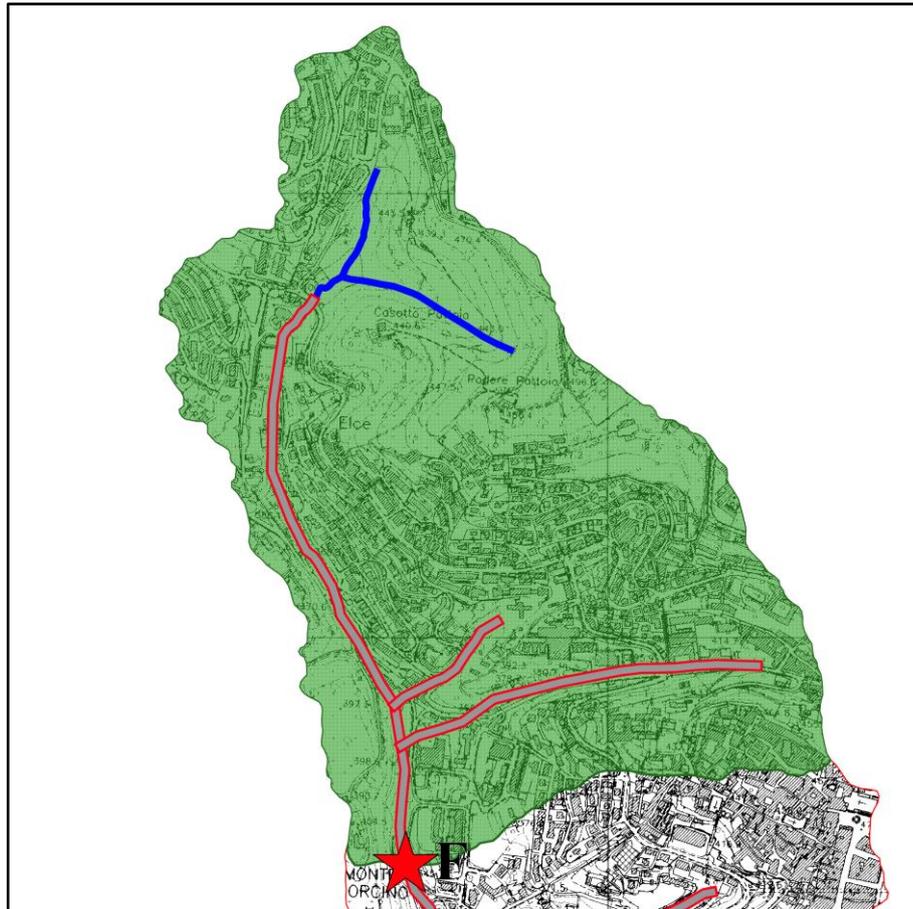
Area della sezione utile: *2.268 m²*

Pendenza locale dell'alveo: *0.015*

Coefficiente di attrito (Bazin): *0.23*

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 12.46 \text{ m}^3/\text{s}$

Velocità della corrente al transito della massima portata: $V_a = 5.59 \text{ m/s}$



Il bacino idrografico sotteso dalla sezione F ha una superficie di 149 ettari ed è rappresentato in figura.

Le portate attese, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 4, risultano essere:

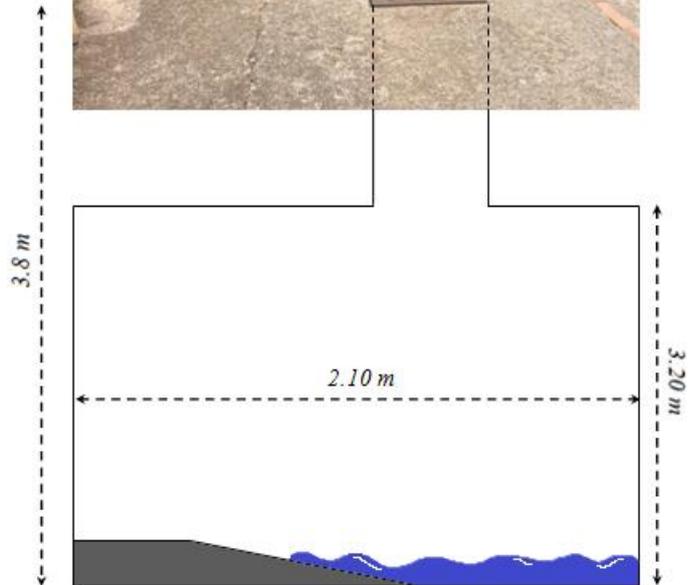
Tr = 50 anni	$Q_{c,50} = 7.25 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{c,200} = 10.88 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,200} < Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{c,500} = 13.41 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,500} > Q_m$

La sezione F risulta incompatibile con il transito della portata attesa riferita ad un tempo di ritorno di 500 anni.

Classe di pericolosità: C

▪ **Sezione G – Sezione scatolare**

Sezione posta di fronte al sottopassaggio pedonale della fermata del minimetrò di Case Bruciate in via Aldo Capitini – tratto intubato.



Materiale: *calcestruzzo*

Larghezza: *2100 mm*

Altezza: *3200 mm*

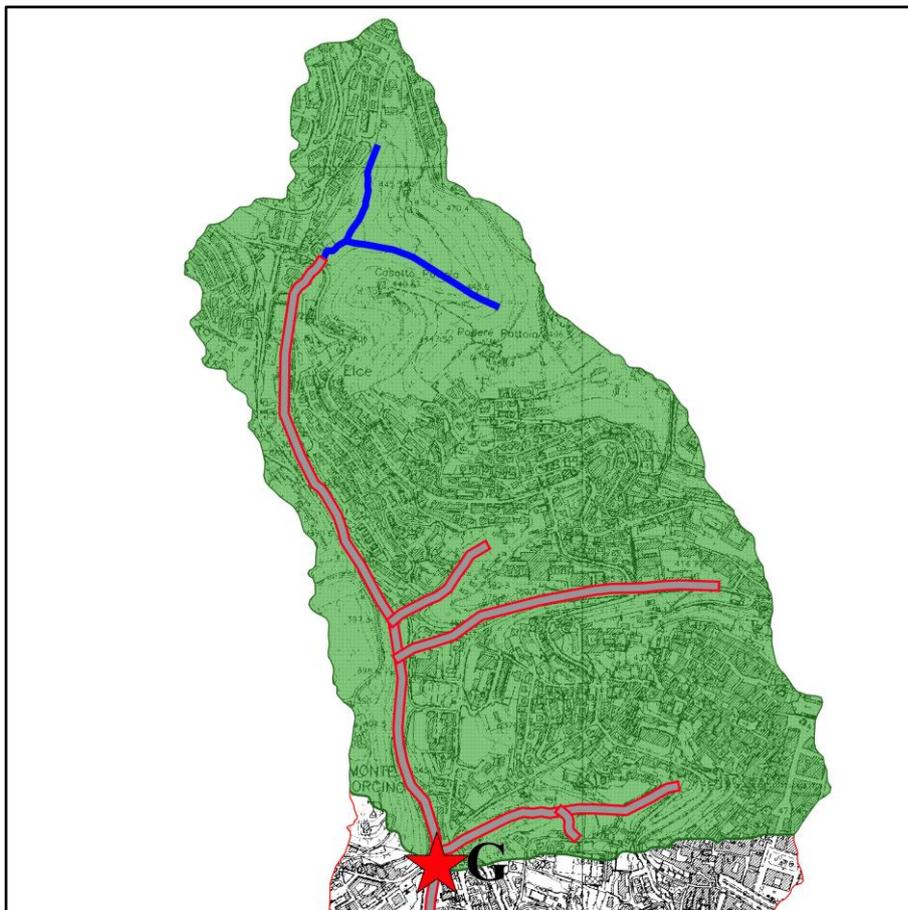
Area della sezione utile: *6 m²*

Pendenza locale dell'alveo: *0.015*

Coefficiente di scabrezza (Strickler): *35*

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 20.39 \text{ m}^3/\text{s}$

Velocità della corrente al transito della massima portata: $V_a = 3.40 \text{ m/s}$



Il bacino idrografico sotteso dalla sezione G ha una superficie di 191 ettari ed è rappresentato in figura.

Le portate attese, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 4, risultano essere:

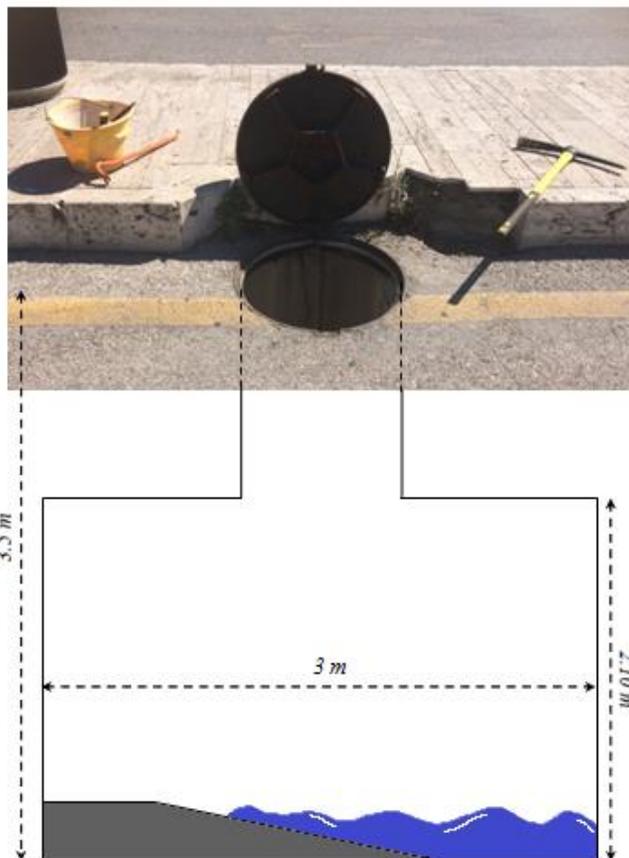
Tr = 50 anni	$Q_{c,50} = 9.68 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{c,200} = 14.36 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,200} < Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{c,500} = 17.6 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,500} < Q_m$

La sezione G risulta compatibile con il transito delle portate attese riferite ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Classe di pericolosità: **Nessuna**

▪ **Sezione H – Sezione scatolare**

Sezione localizzata all'interno del parcheggio riservato ai clienti della Coop, in zona Stazione Fontivegge – tratto intubato



Materiale: *calcestruzzo*

Larghezza: 3000 mm

Altezza: 2100 mm

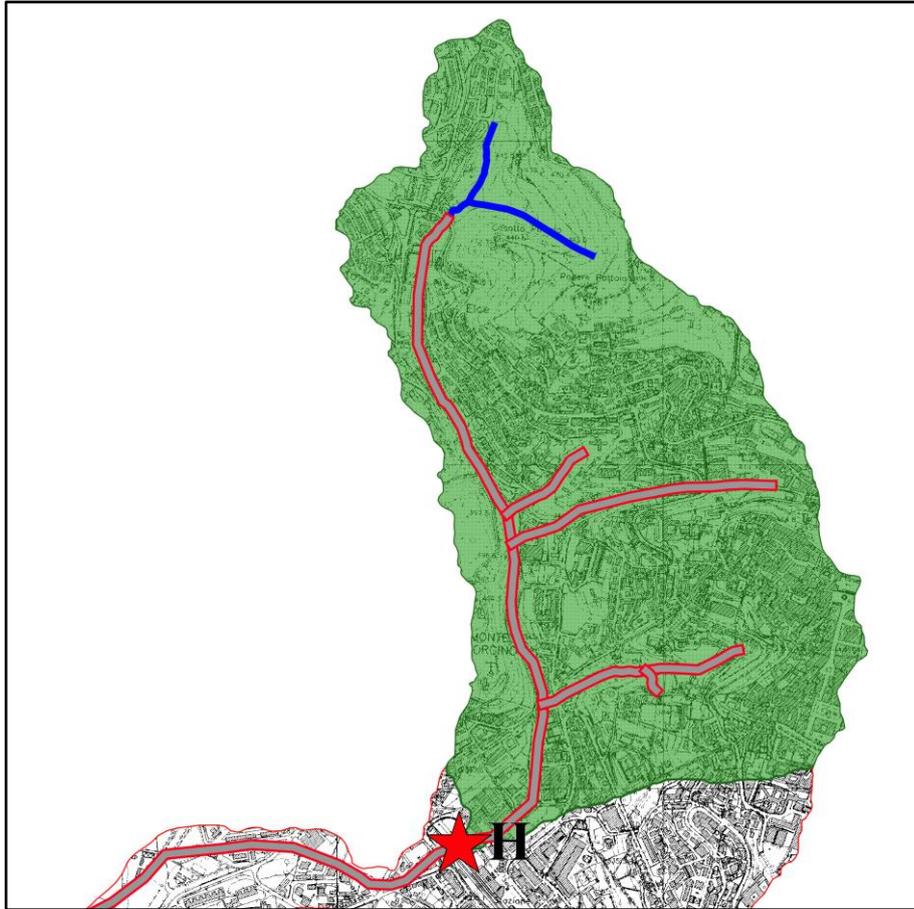
Area della sezione utile: 5.9 m²

Pendenza locale dell'alveo: 0.015

Coefficiente di scabrezza (Strickler): 35

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 22.15 \text{ m}^3/\text{s}$

Velocità della corrente al transito della massima portata: $V_a = 3.75 \text{ m/s}$



Il bacino idrografico sotteso dalla sezione H ha una superficie di 225 ettari ed è rappresentato in figura.

Le portate attese, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 4, risultano essere:

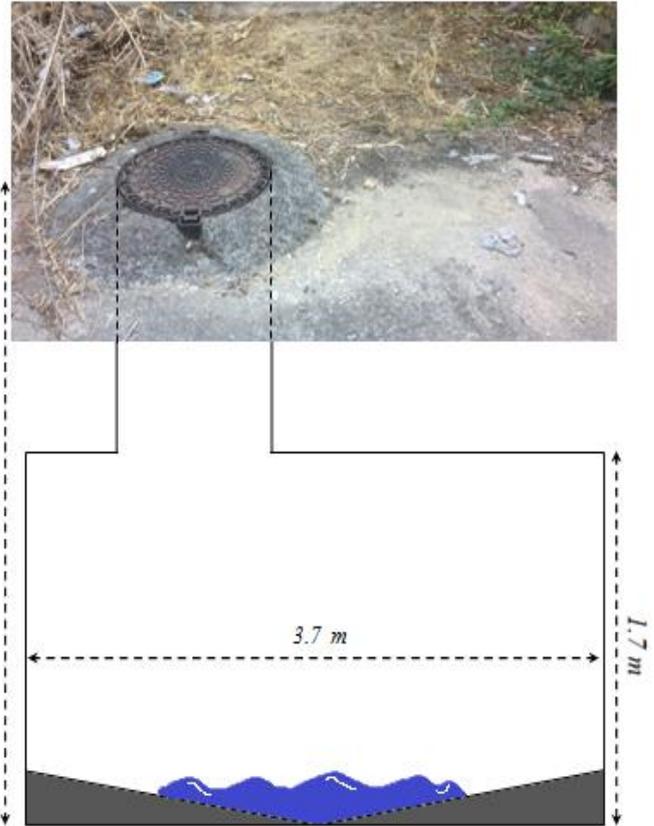
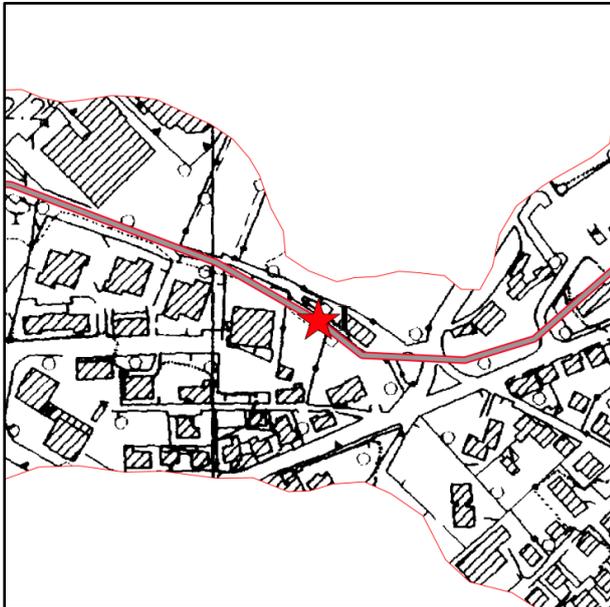
Tr = 50 anni	$Q_{c,50} = 11.21 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{c,200} = 16.54 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,200} < Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{c,500} = 20.18 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,500} < Q_m$

La sezione H risulta compatibile con il transito delle portate attese riferite ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Classe di pericolosità: **Nessuna**

▪ **Sezione I – Sezione scatolare**

Sezione localizzata in Strada Vicinale Bellocchio - tratto intubato.



Materiale: *calcestruzzo*

Larghezza: 3700 mm

Altezza: 1700 mm

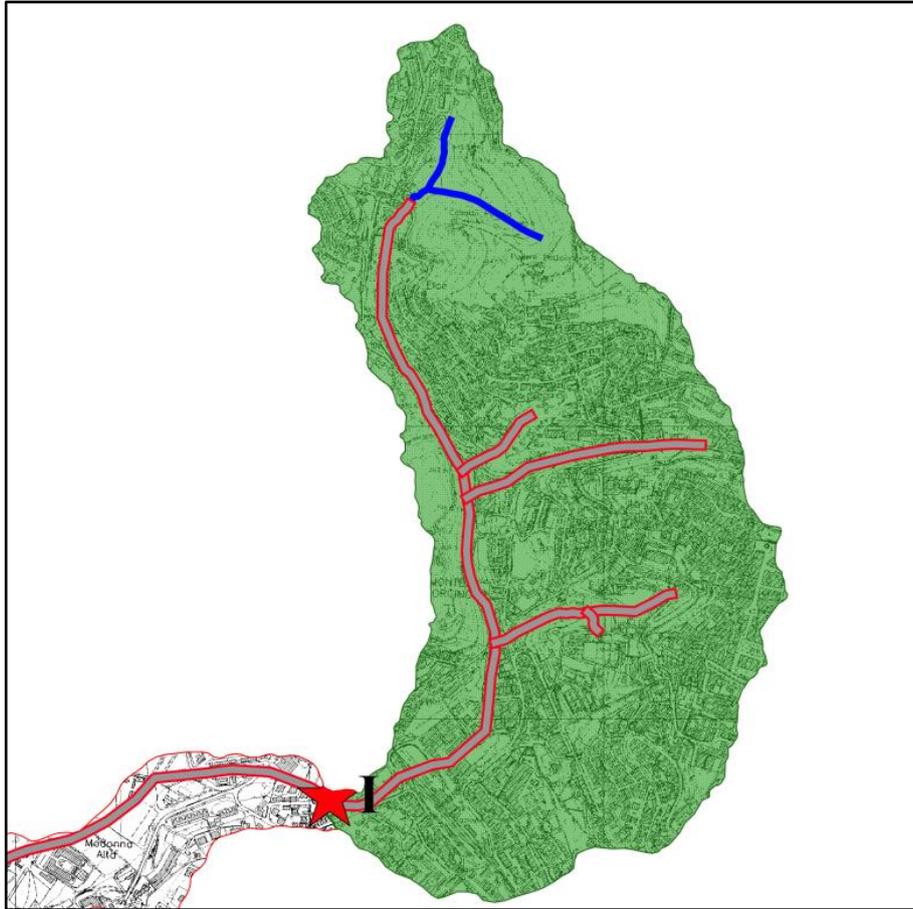
Area della sezione utile: 6.01 m²

Pendenza locale dell'alveo: 0.01

Coefficiente di scabrezza (Strickler): 35

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 18.84 \text{ m}^3/\text{s}$

Velocità della corrente al transito della massima portata: $V_a = 3.13 \text{ m/s}$



Il bacino idrografico sotteso dalla sezione I ha una superficie di 284 ettari ed è rappresentato in figura.

Le portate attese, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 4, risultano essere:

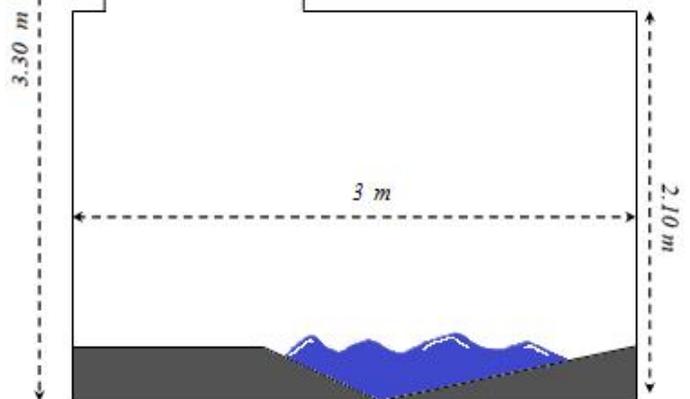
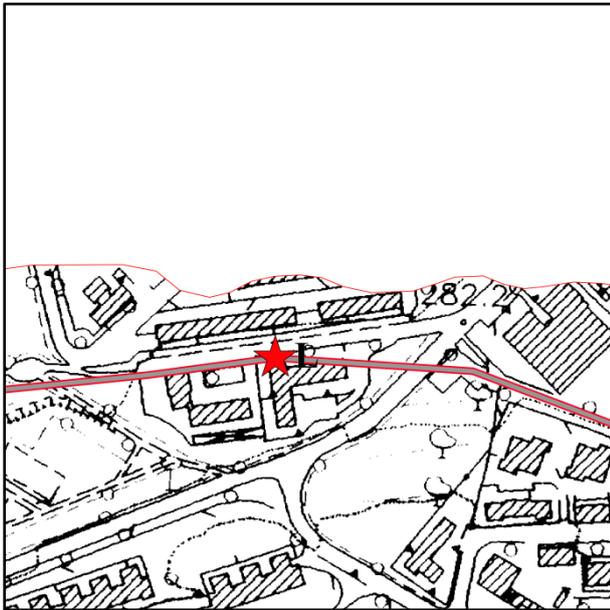
Tr = 50 anni	$Q_{c,50} = 13.63 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{c,200} = 19.98 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,200} > Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{c,500} = 24.29 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,500} > Q_m$

La sezione I risulta incompatibile con il transito delle portate attese riferite ai tempi di ritorno di 200 e 500 anni.

Classe di pericolosità: **B**

▪ **Sezione L – Sezione scatolare**

Sezione in via Magno Magnini, Madonna Alta - tratto intubato.



Materiale: *calcestruzzo*

Larghezza: *3000 mm*

Altezza: *2100 mm*

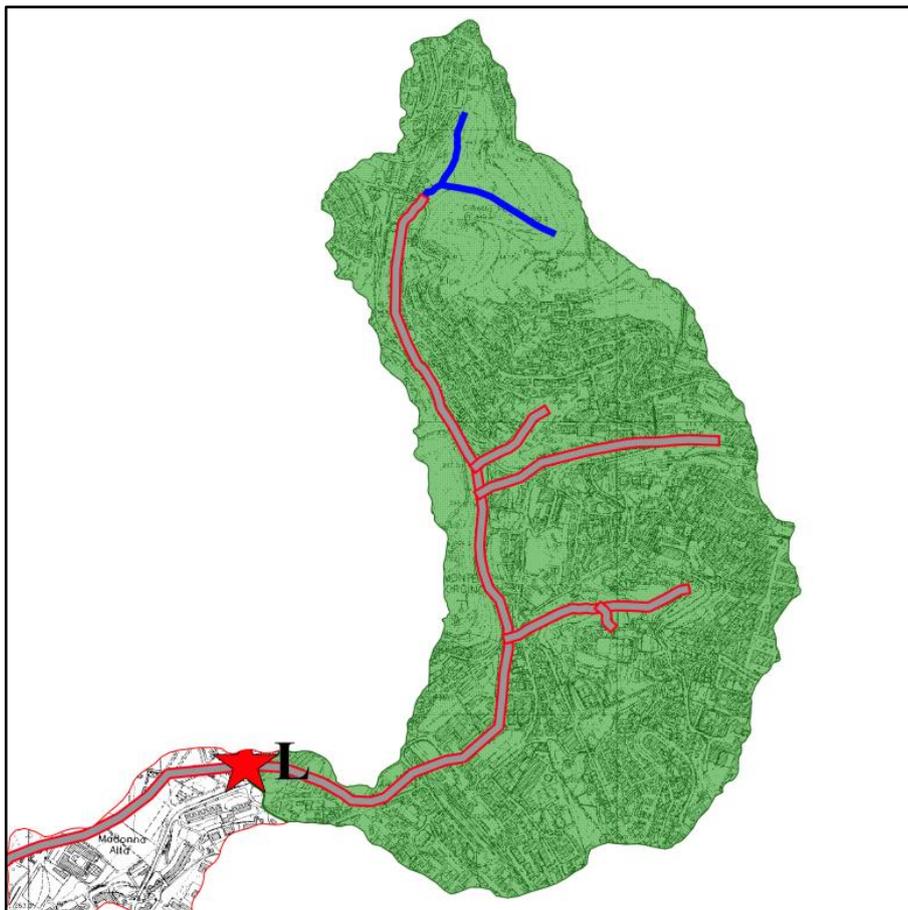
Area della sezione utile: *6.05 m²*

Pendenza locale dell'alveo: *0.01*

Coefficiente di scabrezza (Strickler): *35*

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 18.83 \text{ m}^3/\text{s}$

Velocità della corrente al transito della massima portata: $V_a = 3.11 \text{ m/s}$



Il bacino idrografico sotteso dalla sezione L ha una superficie di 300 ettari ed è rappresentato in figura.

Le portate attese, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 4, risultano essere:

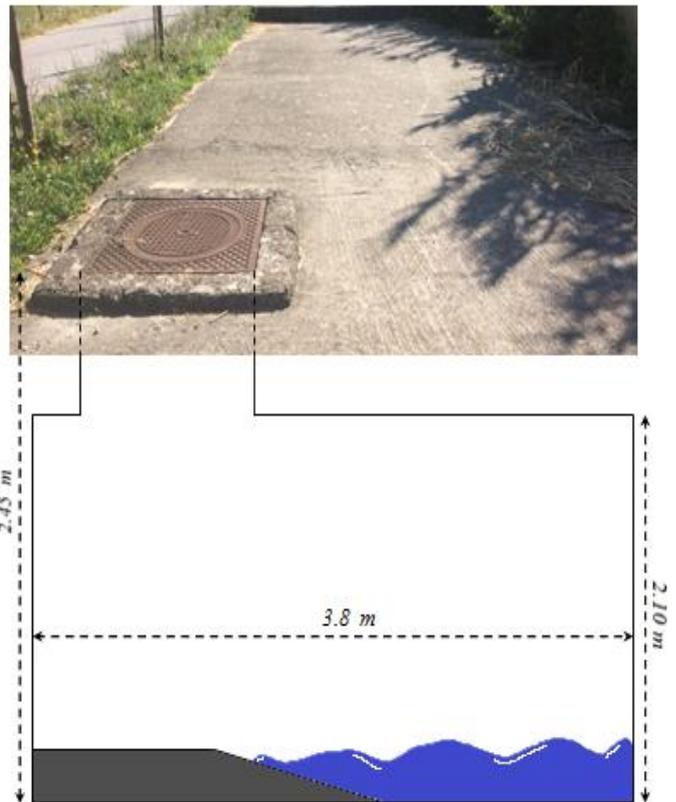
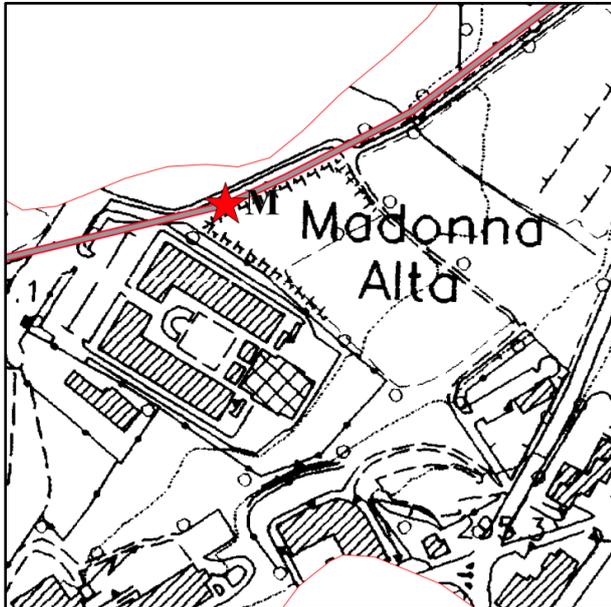
Tr = 50 anni	$Q_{c,50} = 13.72 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{c,200} = 20.08 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,200} > Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{c,500} = 24.4 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,500} > Q_m$

La sezione L risulta incompatibile con il transito delle portate attese riferite ai tempi di ritorno di 200 e 500 anni.

Classe di pericolosità: **B**

▪ **Sezione M – Sezione scatolare**

Sezione posta di fianco al percorso pedonale del parco Chico Mendez nei pressi dell'istituto Aldo Capitini - tratto intubato.



Materiale: *calcestruzzo*

Larghezza: *3800 mm*

Altezza: *2100 mm*

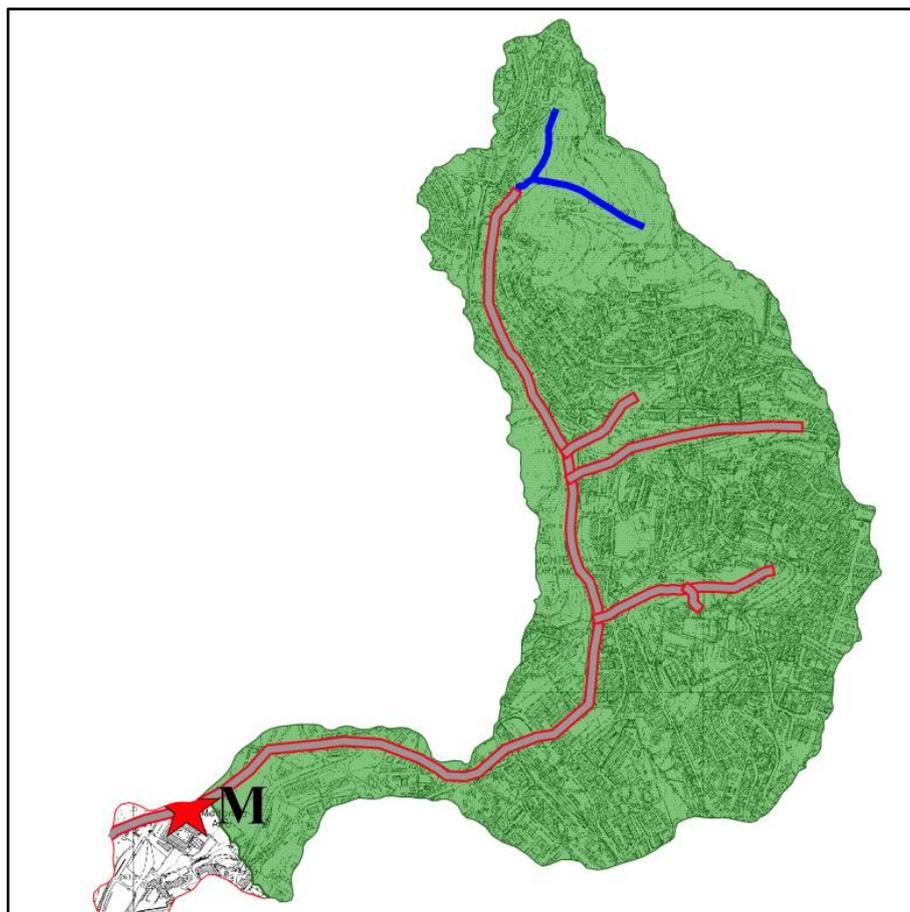
Area della sezione utile: *7.24 m²*

Pendenza locale dell'alveo: *0.01*

Coefficiente di scabrezza (Strickler): *35*

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 24.28 \text{ m}^3/\text{s}$

Velocità della corrente al transito della massima portata: $V_a = 3.34 \text{ m/s}$



Il bacino idrografico sotteso dalla sezione M ha una superficie di 311 ettari ed è rappresentato in figura.

Le portate attese, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 4, risultano essere:

Tr = 50 anni	$Q_{c,50} = 14.26 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{c,200} = 20.84 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,200} < Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{c,500} = 25.27 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,500} > Q_m$

La sezione M risulta incompatibile con il transito della portata attesa riferita ad un tempo di ritorno di 500 anni.

Classe di pericolosità: C

Si riepilogano in Tabella 5.1 i risultati delle verifiche idrauliche effettuate.

	Classe di Pericolosità			
	A	B	C	Nessuna
<i>Sezione A</i>				X
<i>Sezione B</i>		X		
<i>Sezione C</i>	X			
<i>Sezione D</i>	X			
<i>Sezione E</i>				X
<i>Sezione F</i>			X	
<i>Sezione G</i>				X
<i>Sezione H</i>				X
<i>Sezione I</i>		X		
<i>Sezione L</i>		X		
<i>Sezione M</i>			X	

Tab. 5.1 – Classi di pericolosità idraulica da esondazione delle sezioni analizzate

Sulla base di tali risultati, delle classi di pericolosità definite e delle informazioni cartografiche sono state quindi individuate le fasce di pericolosità idraulica (Figura 5.2):

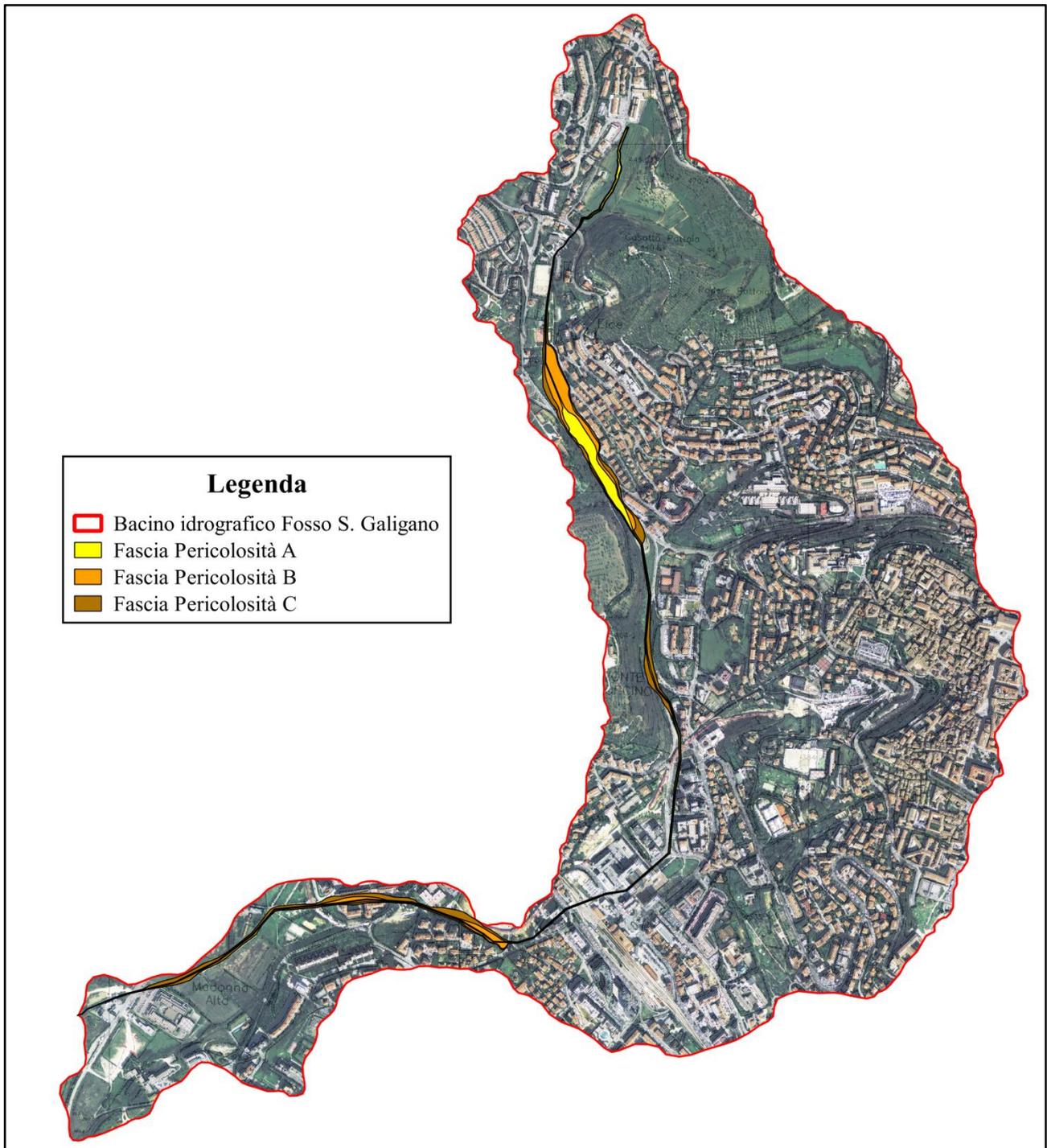


Fig. 5.2 – Mappa delle fasce di pericolosità idraulica nel bacino del Fosso San Galigano

5.2. Individuazione dei beni esposti e valutazione della loro vulnerabilità

Valutata la pericolosità idraulica da esondazione, si è proceduto ad individuare i beni esposti al pericolo presenti nell'area delimitata dalle fasce di pericolosità ed a valutarne l'attitudine a subire danneggiamenti in conseguenza degli eventi calamitosi.

Le seguenti tipologie di beni sono state individuate all'interno delle fasce di pericolosità:

- Edificato residenziale
- Aree produttive e commerciali
- Rete viaria e aree di parcheggio
- Aree verdi a uso pubblico

Per la valutazione della vulnerabilità dei beni, ovvero della propensione intrinseca degli stessi a subire un certo grado di danneggiamento, si è optato per metodi qualitativi piuttosto che analitici; infatti citando quanto scritto dall'Autorità di Bacino del Tevere nel Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico "Il concetto di vulnerabilità di un bene è estremamente puntuale e dipende da valori che, per la grande articolazione dei beni esposti individuata, non sono determinabili se non in modo ipotetico".

Ci si è quindi limitati a stimare qualitativamente le perdite conseguenti all'evento calamitoso in termini sia di vite umane sia economici (perdita di efficienza del sistema), basandosi sull'analisi del carico urbanistico inteso negli aspetti demografici, occupazionali, abitativi e dei servizi.

Complessivamente, si è determinato il parametro d'insieme $E \times V$ articolandolo in quattro gradi:

- **ME** – molto elevato
- **E** – elevato
- **M** – medio
- **Ba** – basso

I risultati di questa fase sono riportati in Figura 5.3:

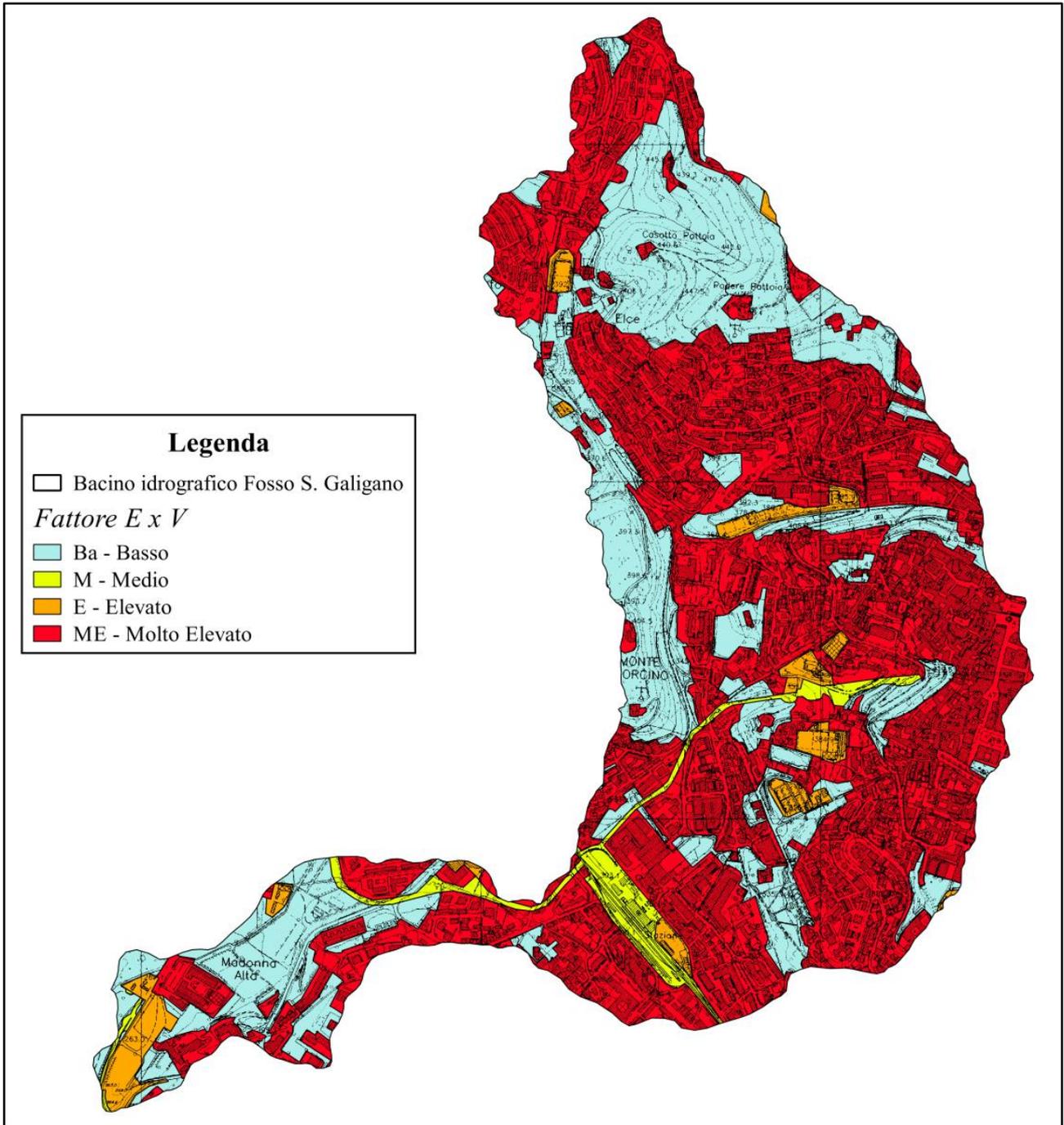


Fig. 5.3 – Mappa del parametro di esposizione e vulnerabilità all'interno del bacino idrografico del Fosso San Galigano

5.3. Valutazione del rischio idraulico

Il rischio è un concetto probabilistico che caratterizza la possibilità che una certa sorgente di pericolo si trasformi in un danno per beni o persone.

È misurato in base alla nota equazione $R = P \times E \times V$ come combinazione della pericolosità, della vulnerabilità e dell'esposizione.

Sono definite quattro diverse classi di rischio:

<i>Rischio moderato</i>	R1
<i>Rischio medio</i>	R2
<i>Rischio elevato</i>	R3
<i>Rischio molto elevato</i>	R4

Dalla combinazione della mappa del parametro P (pericolosità) redatta al paragrafo 5.1 e della mappa del parametro $E \times V$ (esposizione e vulnerabilità) redatta al paragrafo 5.2, è stata ricavata la mappa del rischio idraulico da esondazione all'interno del bacino del Fosso San Galigano (Figura 5.4), assegnando le classi di rischio alle singole aree secondo la matrice riportata in tabella 5.2:

		Classe di Pericolosità (P)		
		A	B	C
Parametro di esposizione e vulnerabilità ($E \times V$)	ME	R4	R4	R2
	E	R4	R3	R2
	M	R3	R2	R1
	Ba	R1	R1	R1

Tab. 5.2 – Classi di rischio idraulico in funzione della classe di pericolosità e del parametro d'esposizione e vulnerabilità

È da sottolineare che le condizioni di rischio idraulico all'interno del bacino idrografico del Fosso San Galigano sono aggravate dal fatto che il corso d'acqua è totalmente intubato; questa condizione infatti, nel caso di eventi di piena eccezionale con conseguente esondazione, non permetterebbe all'acqua fuoriuscita di rientrare all'interno della reticolo idrografico, vista l'assenza di un alveo a cielo aperto.

Da quanto detto, è ipotizzabile che le aree a rischio possano essere più ampie di quelle individuate in Figura 5.4.

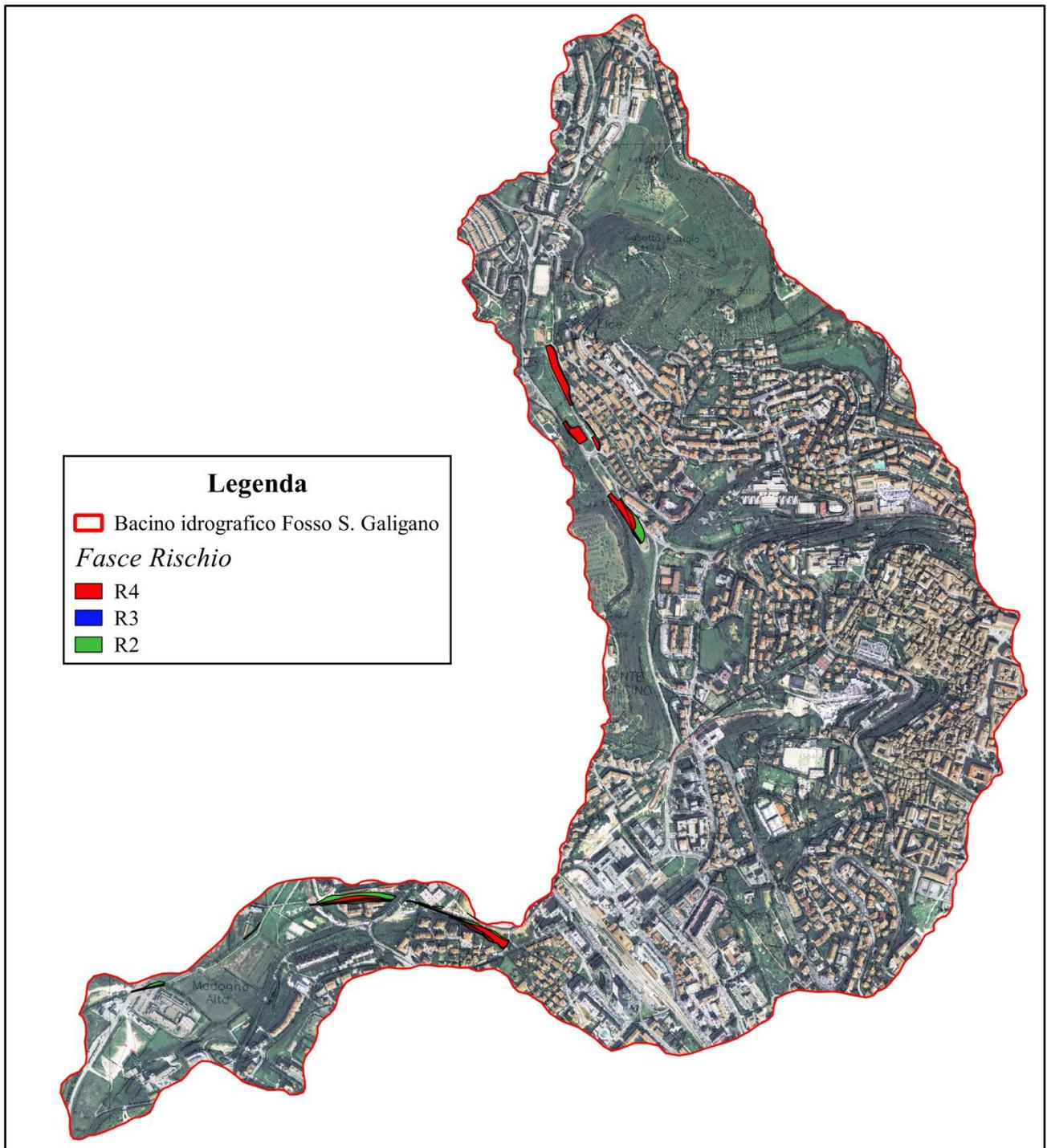


Fig. 5.4 – Mappa del rischio idraulico nel bacino del fosso San Galigano

6. Analisi delle trasformazioni che hanno interessato il Fosso San Galigano e il suo bacino idrografico negli ultimi decenni

Si è effettuato uno studio multi temporale del bacino idrografico del Fosso San Galigano al fine di identificare le trasformazioni del tracciato del corso d'acqua e la variazione dell'uso del suolo. Quest'evoluzione, negli anni tendente a un eccessivo consumo del suolo, ha contribuito a creare le condizioni di rischio attuale.

Al fine di eseguire lo studio sopraccitato sono state utilizzate cartografie riferite a periodi storici differenti, che coprono un range temporale che va dal 1932 ai giorni d'oggi, dalle quali è stato tracciato il corso d'acqua e dove sono state individuate ed evidenziate le costruzioni e le aree impermeabilizzate all'interno del bacino idrografico in quei determinati periodi storici.

Tali cartografie sono:

- IGM del 1932;
- Foto aeree del 1954;
- EIRA in scala 1:5000 del 1968;
- Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10000 del 1987;
- Ortofoto del 2005;
- Ortofoto del 2013.

6.1. Situazione nell'anno 1932

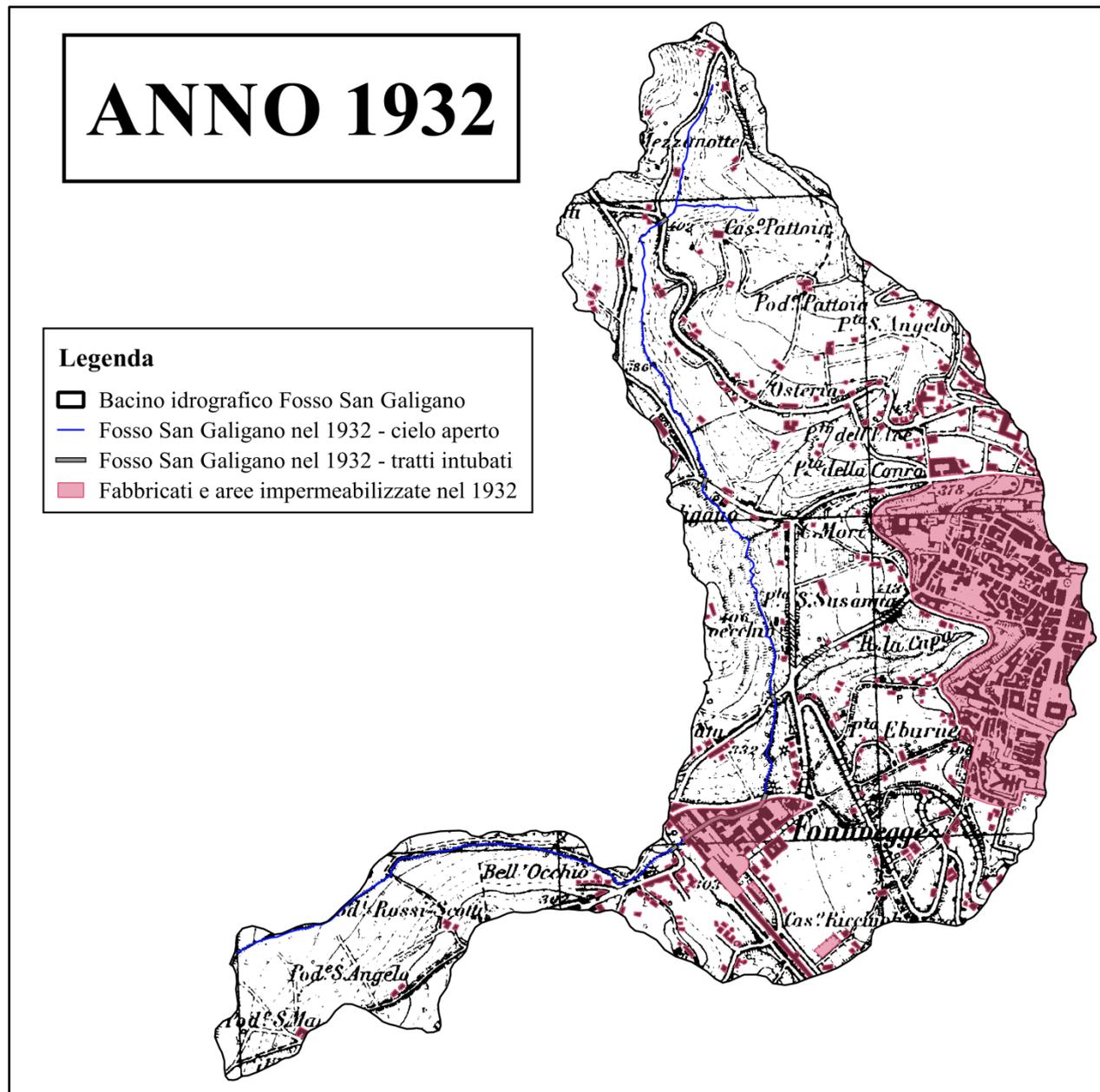


Fig. 6.1 – Bacino del Fosso San Galigano: IGM del 1932 con fabbricati e tracciato del Fosso San Galigano

Nella Figura 6.1 si può vedere la posizione del Fosso San Galigano nel 1932.

Il corso d'acqua defluisce naturalmente a cielo aperto per la maggior parte del suo tracciato ad eccezione del tratto in corrispondenza della stazione Fontivegge dove il Fosso è intubato per circa 450 metri, e di brevi tratti intubati in corrispondenza di tre attraversamenti stradali.

Il bacino idrografico includendo parte del centro storico di Perugia e l'area della stazione Fontivegge, già nel 1932, presenta una consistente percentuale di aree impermeabilizzate, pari a circa il 17 % dell'area totale del bacino; al di fuori delle zone precedentemente citate, le aree impermeabilizzate sono limitate e rappresentate da abitazioni isolate intervallate da estesi terreni agricoli.

Percentuale aree impermeabilizzate all'interno del bacino: 17 %

6.2. Situazione nell'anno 1954

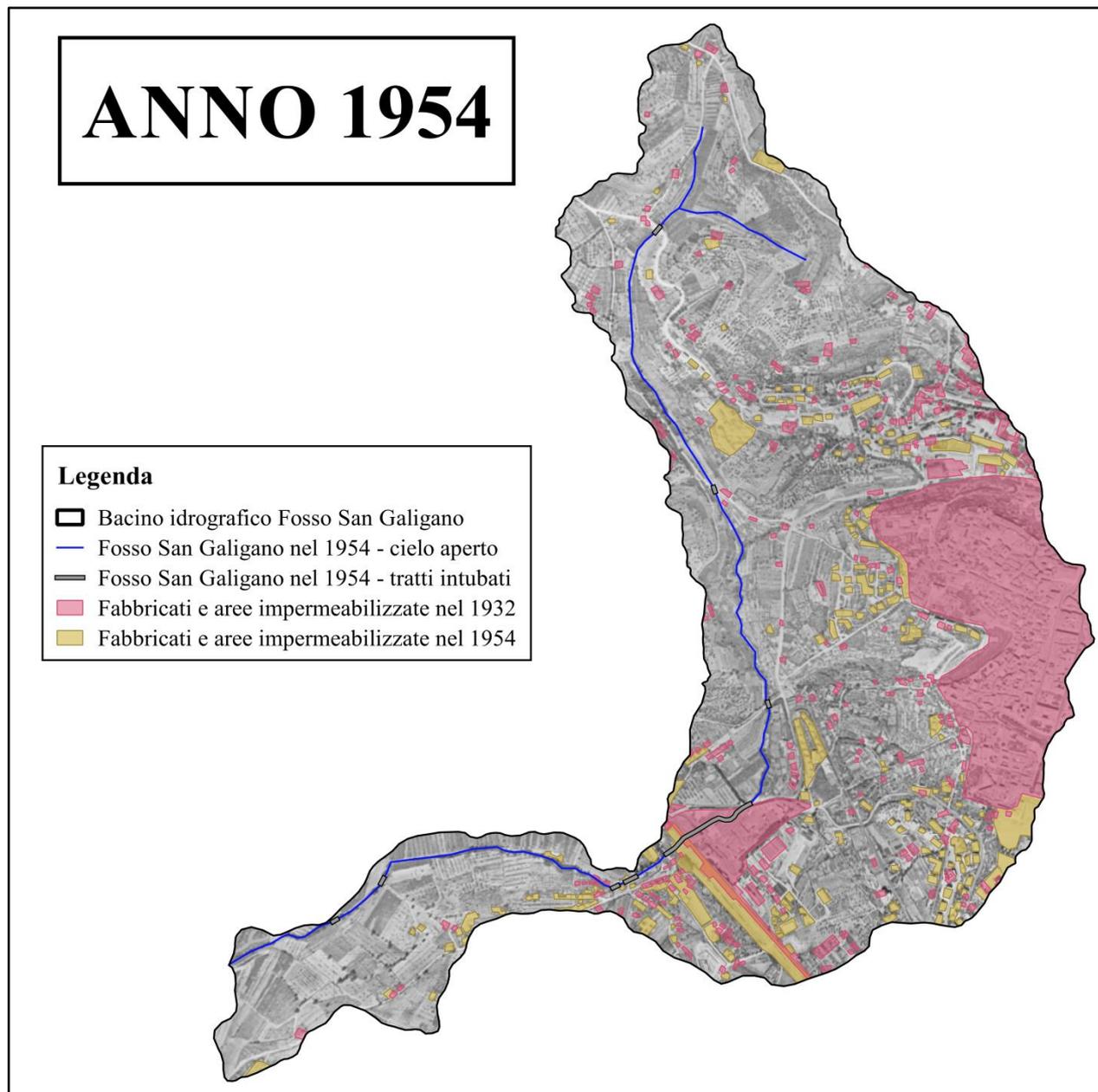


Fig. 6.2 – Bacino del Fosso San Galigano: ortofoto del 1954 con fabbricati e tracciato del Fosso San Galigano

Nella Figura 6.2 non si notano considerevoli variazioni nella posizione planimetrica del corso d'acqua in confronto alla situazione del 1932; il Fosso San Galigano è stato però intubato in alcuni tratti, in particolare a valle della stazione Fontivegge in corrispondenza di alcuni attraversamenti stradali.

Dal punto di vista dell'uso del suolo si può notare un aumento delle superfici impermeabilizzate dovute principalmente all'espansione urbana del centro storico di Perugia e dell'area industriale limitrofa alla stazione Fontivegge.

Percentuale aree impermeabilizzate all'interno del bacino: 23 %

6.3. Situazione nell'anno 1968

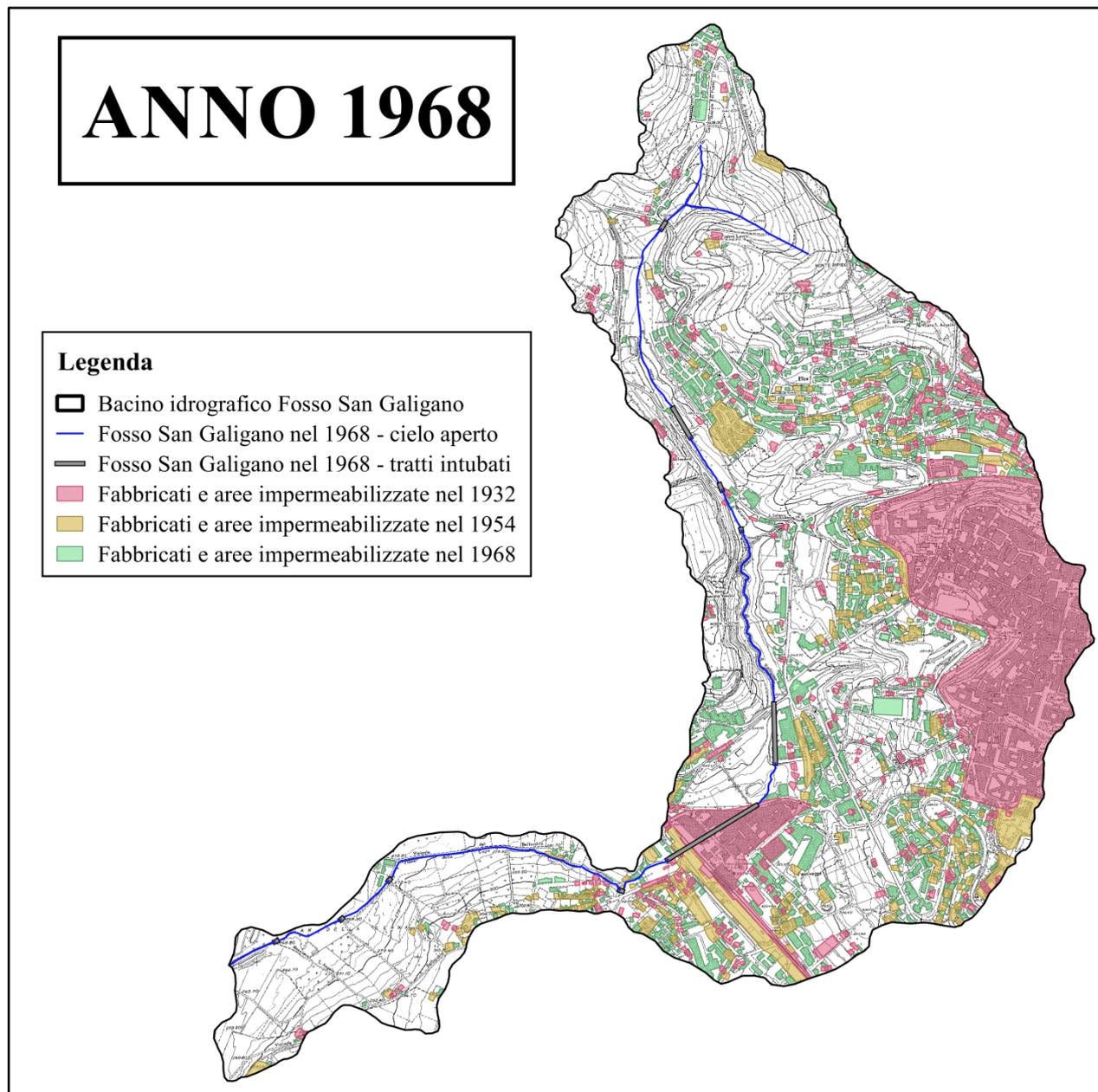


Fig. 6.3 – Bacino del Fosso San Galigano: EIRA del 1968 con fabbricati e tracciato del Fosso San Galigano

Nella Figura 6.3 si può vedere che il Fosso San Galigano è stato ulteriormente intubato, soprattutto nella porzione medio - alta del bacino, a causa della costruzione di zone edificate e nuove strade a ridosso del Fosso.

Dal punto di vista del consumo del suolo, si può vedere che tra il 1954 ed il 1968 vi è stata un'espansione urbanistica radiale intorno al centro storico di Perugia, caratterizzata dallo sviluppo di alcune aree residenziali.

Percentuale aree impermeabilizzate all'interno del bacino: 31 %

6.4. Situazione nell'anno 1987

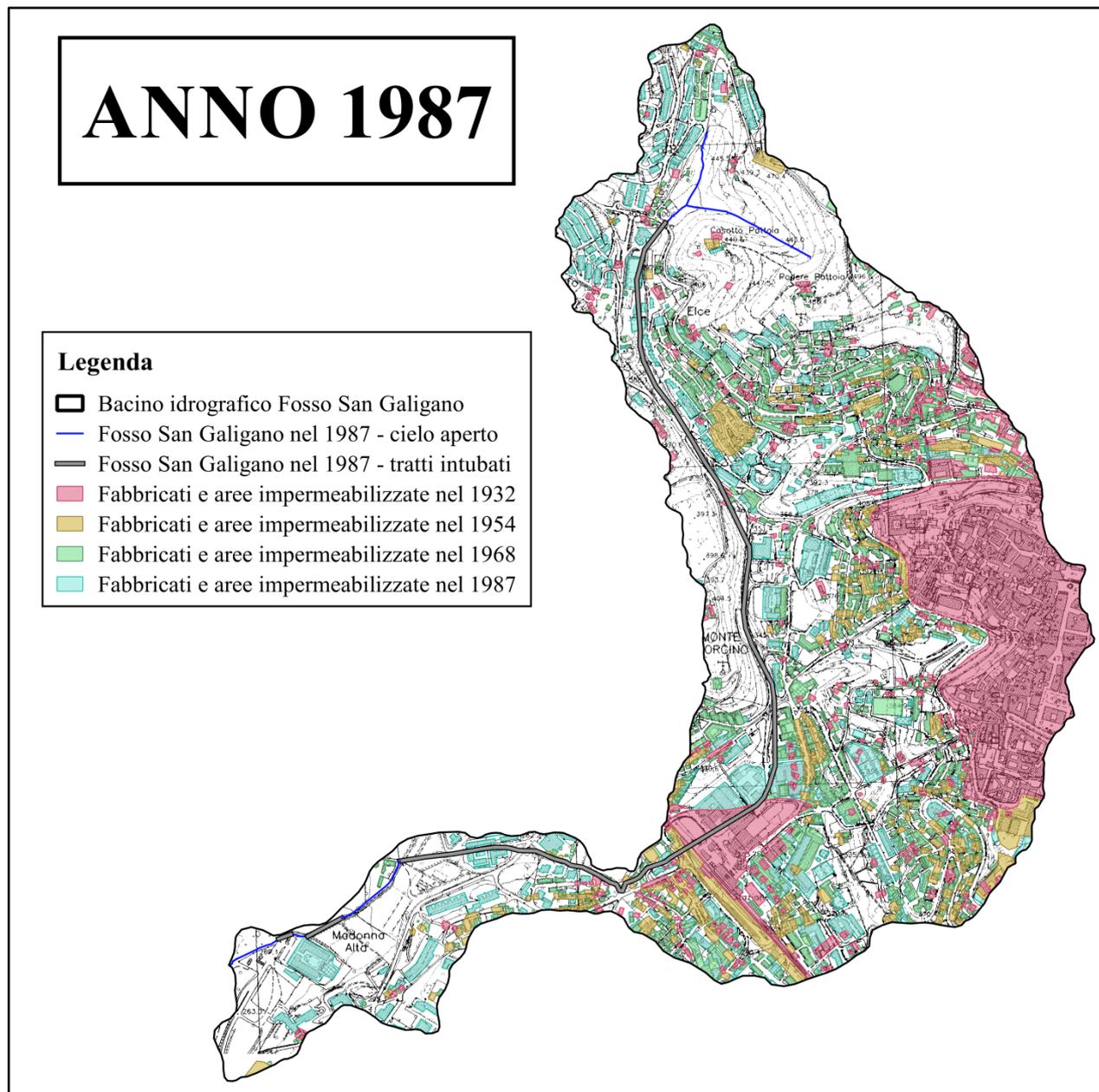


Fig. 6.4 – Bacino del Fosso San Galigano: CTR del 1987 con fabbricati e tracciato del Fosso San Galigano

Nella Figura 6.4 si apprezza l'elevato sviluppo urbanistico avvenuto tra il 1968 e il 1987 che ha avuto come conseguenza l'intubamento della maggior parte del Fosso San Galigano.

In questo range temporale si ha il maggiore incremento di consumo del suolo, pari al 9 % dell'area totale del bacino; l'aumento delle superfici impermeabilizzate è dato dall'ampliamento delle aree residenziali citate nel paragrafo precedente, che nel 1987 arrivano a interessare le aree di pertinenza fluviale.

Percentuale aree impermeabilizzate all'interno del bacino: 40 %

6.5. Situazione nell'anno 2005

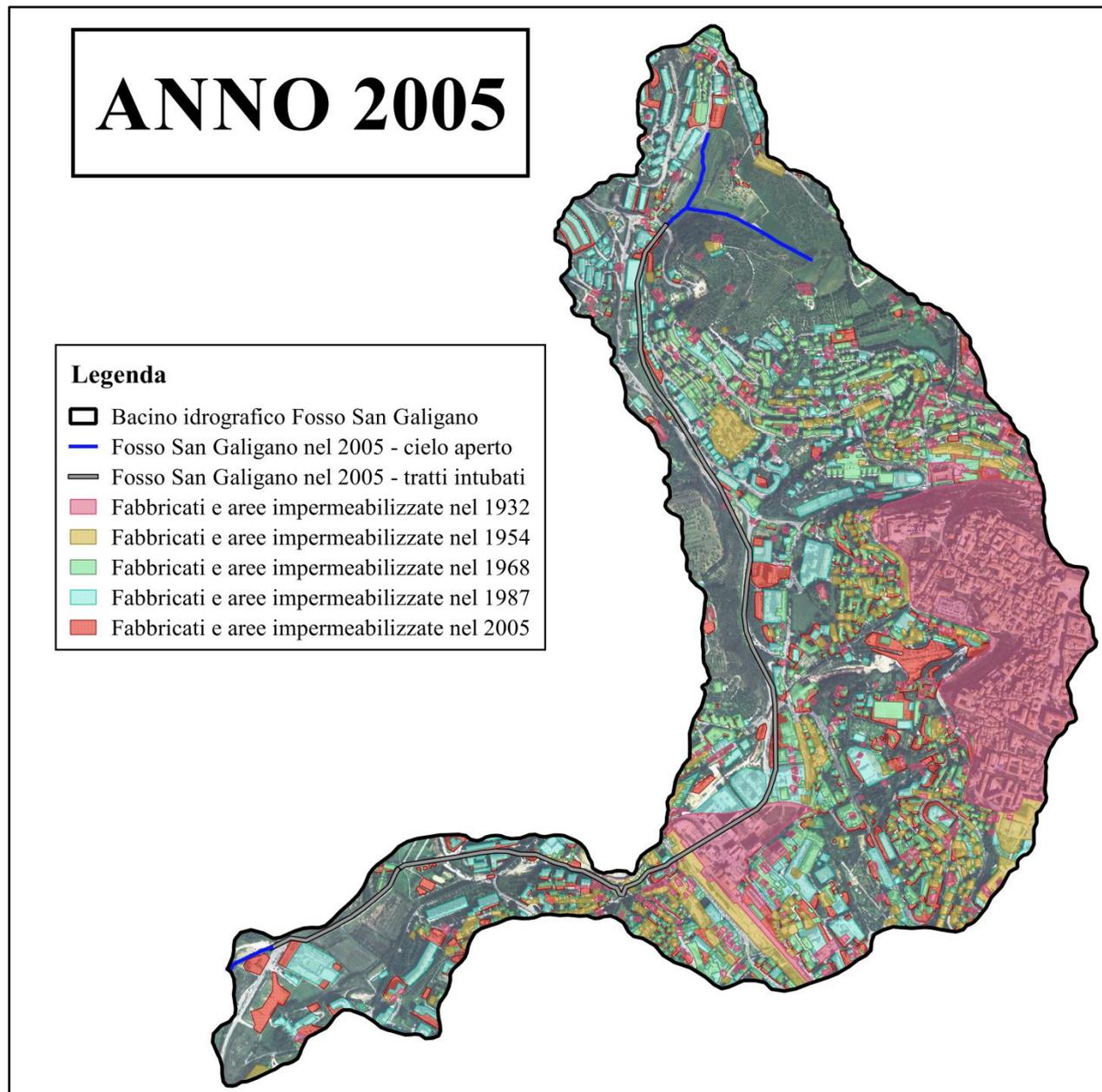


Fig. 6.5 – Bacino del Fosso San Galigano: Ortofoto del 2005 con fabbricati e tracciato del Fosso San Galigano

Nella Figura 6.5 si può osservare il proseguimento delle opere di realizzazione di tratti intubati nel tratto vallivo in prossimità della confluenza con il Torrente Genna.

Nel 2005 il Fosso San Galigano è completamente intubato, fatta eccezione per un breve tratto, di circa 500 metri, nell'area di testata, a valle della chiesa di Ponte d'Oddi.

Dal punto di vista dell'uso del suolo, anche se in misura minore, continua l'espansione delle superfici impermeabilizzate; in particolare, nell'area compresa tra Rimocchi e Madonna Alta, è stato costruito al di sopra del Fosso San Galigano, che in questi anni si trova a qualche metro di profondità, incrementando così le condizioni di rischio idraulico nell'intera zona.

Percentuale aree impermeabilizzate all'interno del bacino: 45.5 %

6.6. Situazione nell'anno 2013

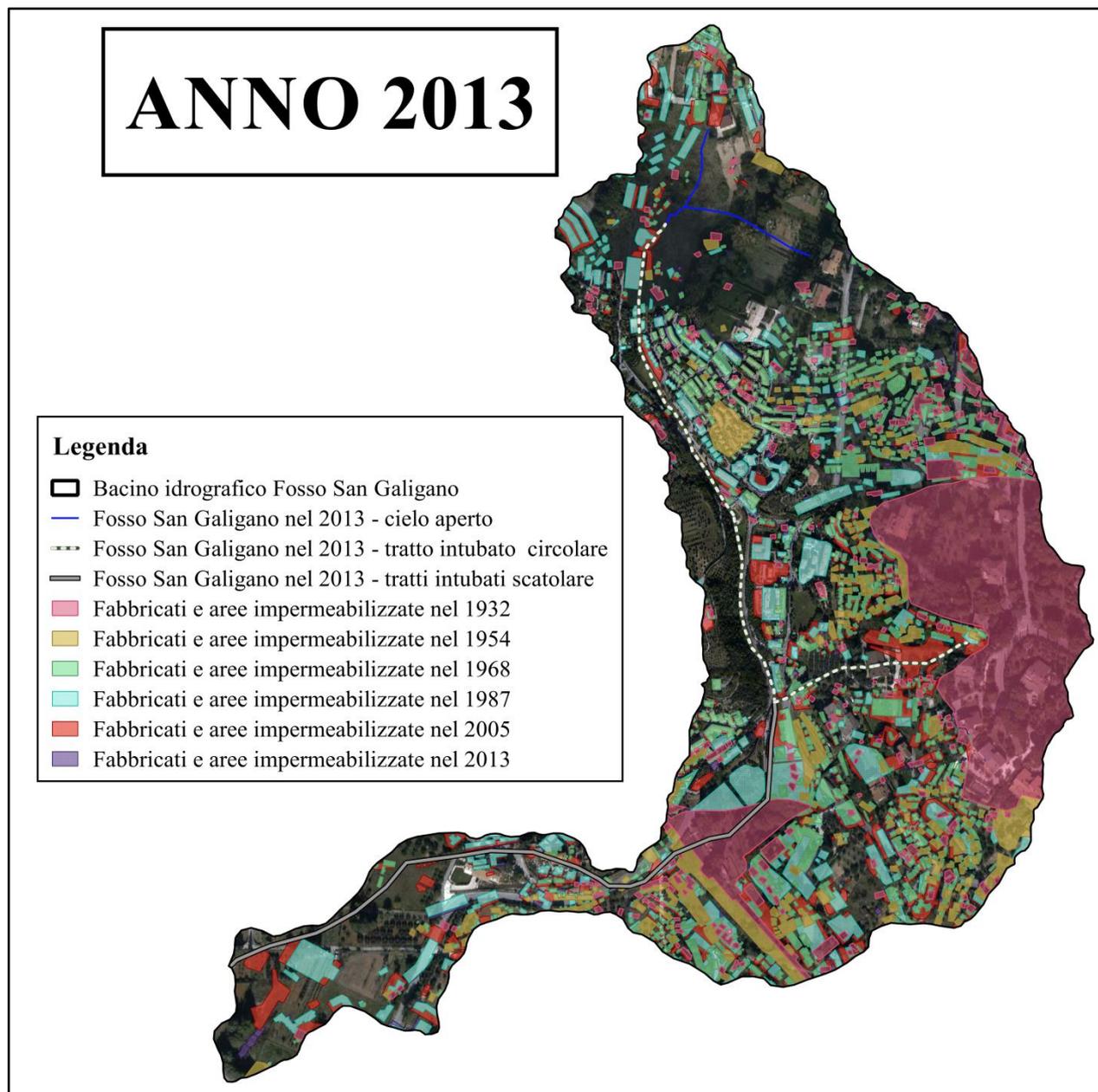


Fig. 6.6 – Bacino del Fosso San Galigano: Ortofoto del 2013 con fabbricati e tracciato del Fosso San Galigano

La situazione attuale è mostrata in Figura 6.6.

Non si notano modificazioni nel tracciato del Fosso San Galigano.

Per quanto riguarda l'uso del suolo, l'incremento delle superfici impermeabilizzate tra il 2005 e il 2013 ha interessato il 2.5 % dell'area del bacino.

Percentuale aree impermeabilizzate all'interno del bacino: 48 %

6.8. Focalizzazione sulle trasformazioni avvenute a valle dell'area verde di Rimbocchi

All'interno del bacino idrografico è stata individuata un'area critica localizzata a valle dell'area verde di Rimbocchi, evidenziata in Figura 6.7, che è stata ripetutamente interessata da eventi di alluvionamento (Paragrafo 3.5).

Per questo motivo è stata analizzata nel dettaglio e riportata nelle Figure da 6.10 a 6.15 la sua evoluzione generale nel tempo.

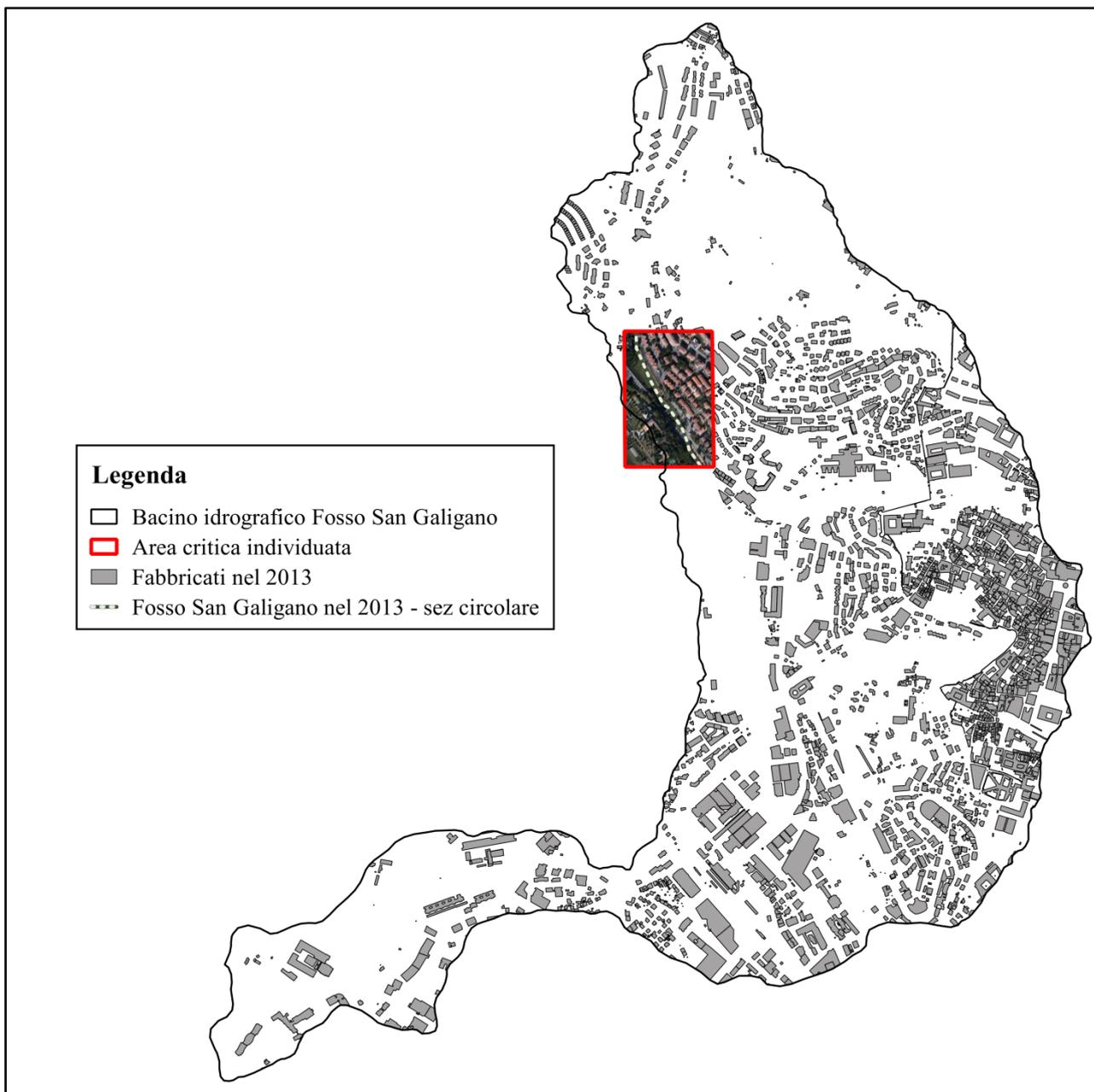


Fig. 6.7 – Bacino del Fosso San Galigano: delimitazione area critica

L'area critica individuata ha subito, principalmente tra gli anni 60' e gli anni 80', notevoli variazioni sia dal punto di vista dell'uso del suolo sia dal punto di vista morfologico.

Il fosso San Galigano dopo essere stato intubato al fine di costruire nuove aree residenziali e aree verdi ad uso pubblico, è stato tombato al di sotto dell'attuale piano campagna con terreni di riporto di spessore variabile tra i 10 e 15 metri.

Il nuovo assetto morfologico dell'area ha contribuito a determinare le condizioni di rischio attuale per due motivi principali:

- La presenza di fabbricati localizzati in depressioni morfologiche antropiche (che hanno causato un "effetto catino") con piani abitativi posti a quote inferiori del piano campagna (Figura 6.8);
- Effetti di rigurgito che si manifestano per la non capacità, da parte delle condutture secondarie private, di far defluire le acque miste nel collettore principale durante eventi di piena (Figura 6.9).



Fig. 6.8 – Localizzazione condominio interessato ripetutamente da eventi di alluvione

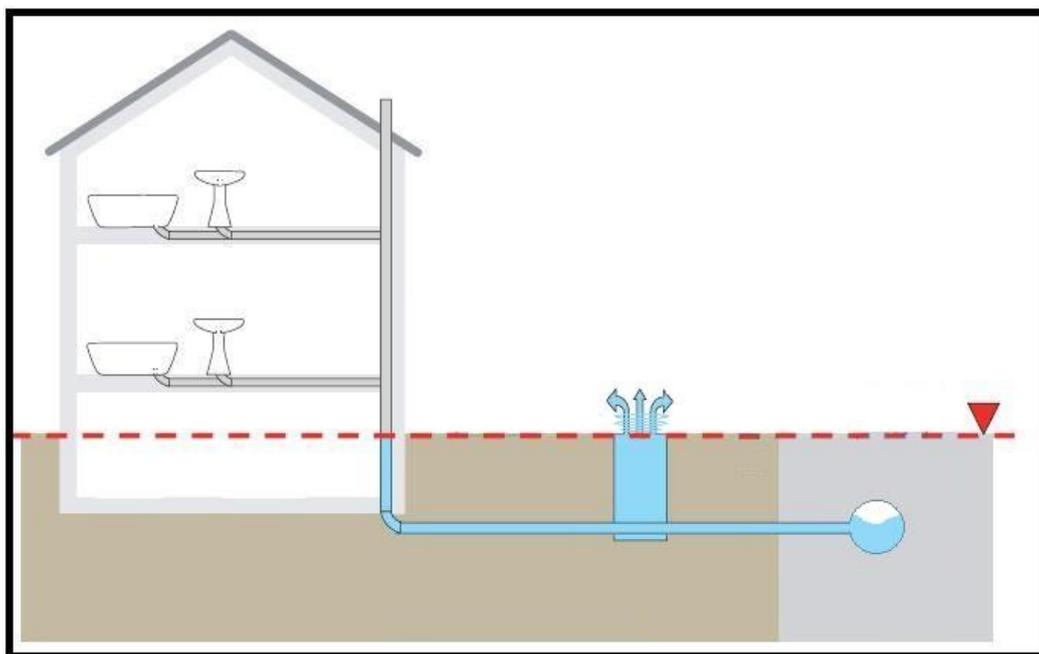


Fig. 6.9 – Schema semplificato del fenomeno di rigurgito in un sistema fognario

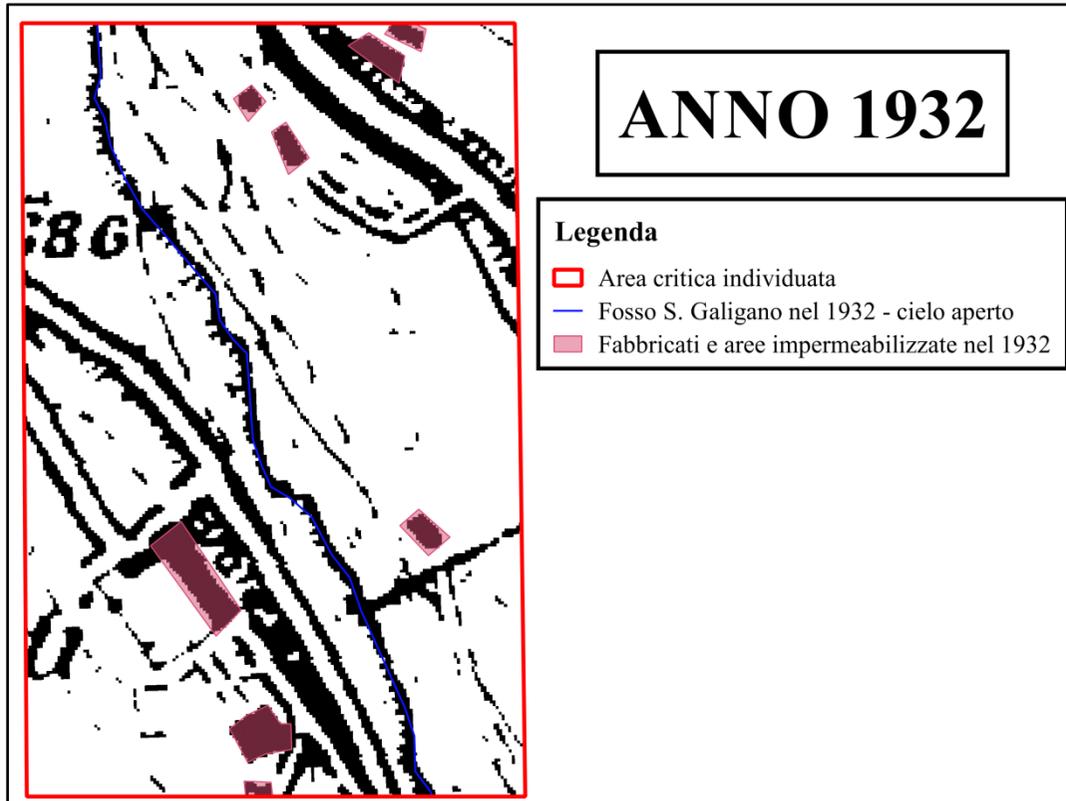


Fig. 6.10 – Bacino del Fosso San Galigano: area critica nel 1932

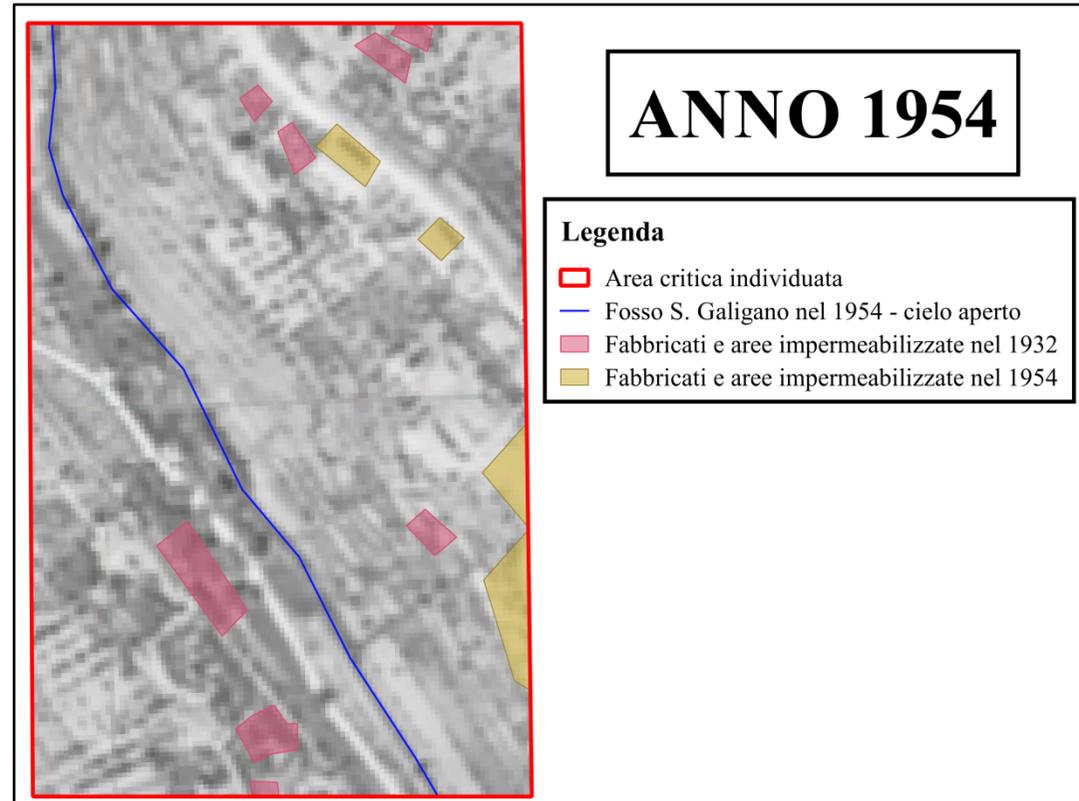


Fig. 6.11 – Bacino del Fosso San Galigano: area critica nel 1954

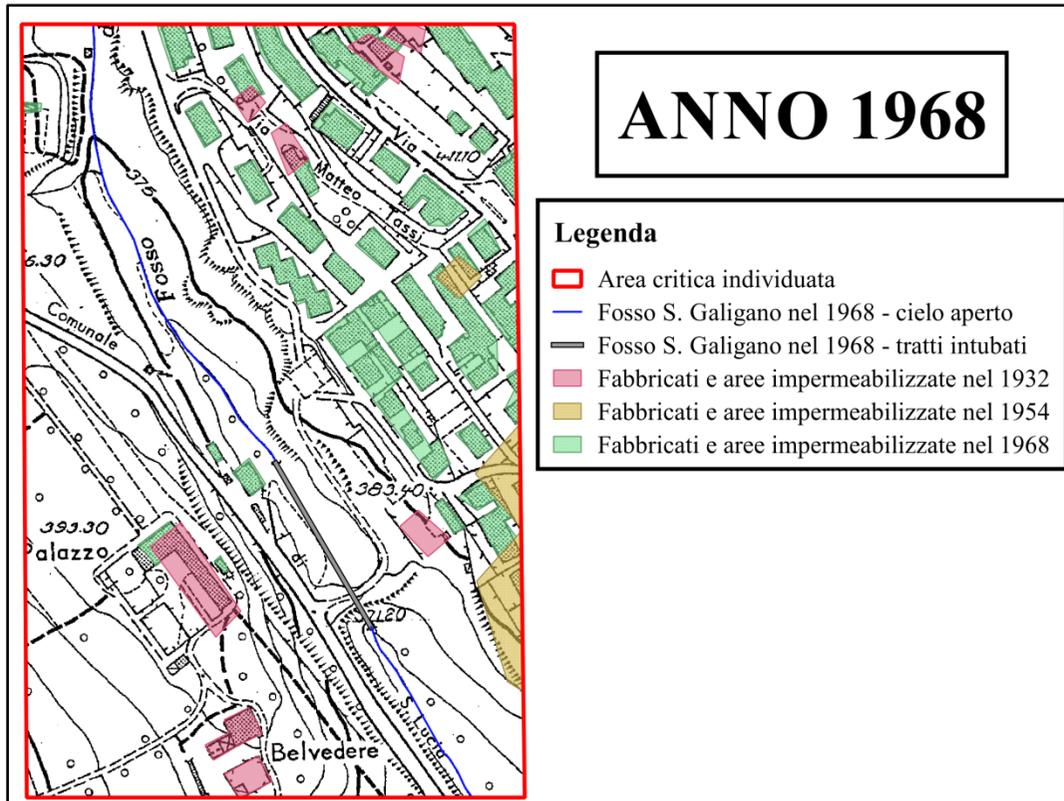


Fig. 6.12 – Bacino del Fosso San Galigano: area critica nel 1968

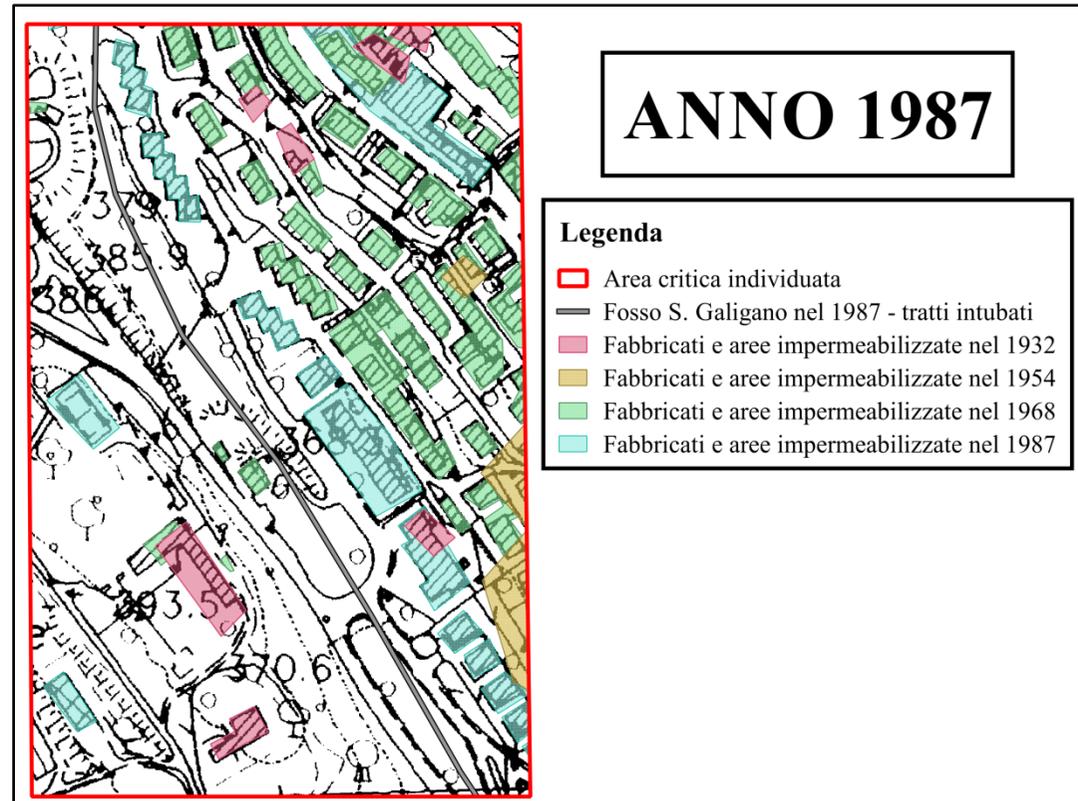


Fig. 6.13 – Bacino del Fosso San Galigano: area critica nel 1987

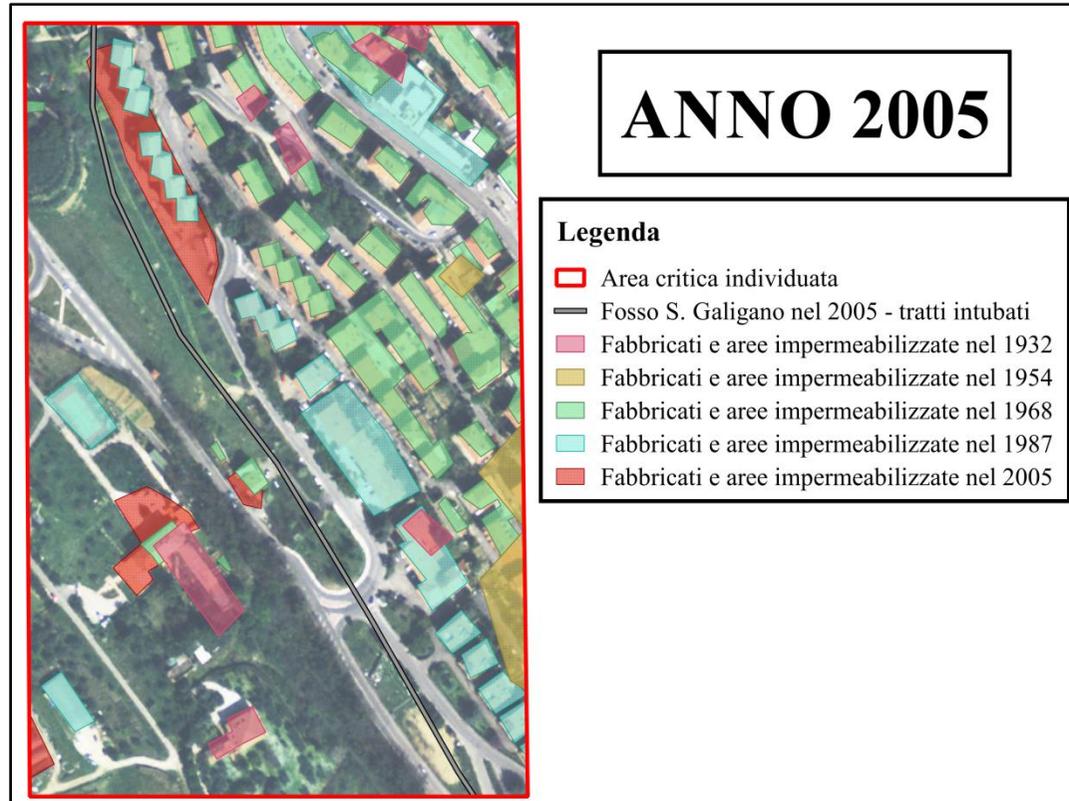


Fig. 6.14 – Bacino del Fosso San Galigano: area critica nel 2005

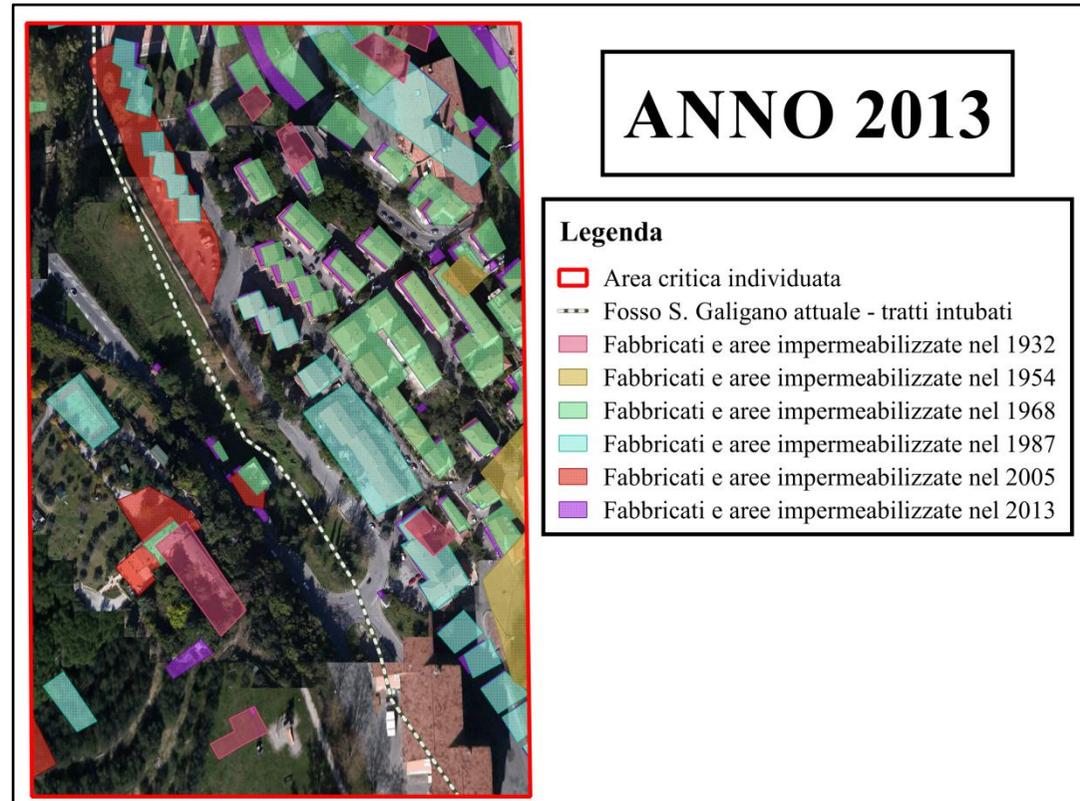


Fig. 6.15 – Bacino del Fosso San Galigano: area critica nel 2013

7. Confronto tra la situazione nell'anno 1954 e la situazione attuale

7.1. Modifiche che hanno interessato l'alveo

Le variazioni apportate sul tracciato del fosso San Galigano sono visibili in Figura 7.1: dal 1954 a oggi non è stato modificato l'andamento planimetrico dell'alveo, il quale ricalca quasi perfettamente quello presente nel 1954, ma ne è stata alterata la natura e di conseguenza il funzionamento idraulico; si è passati, a causa di un'eccessiva pressione urbana, da un alveo naturale a cielo aperto a una canalizzazione artificiale sotterranea che svolge la funzione di fognatura mista.

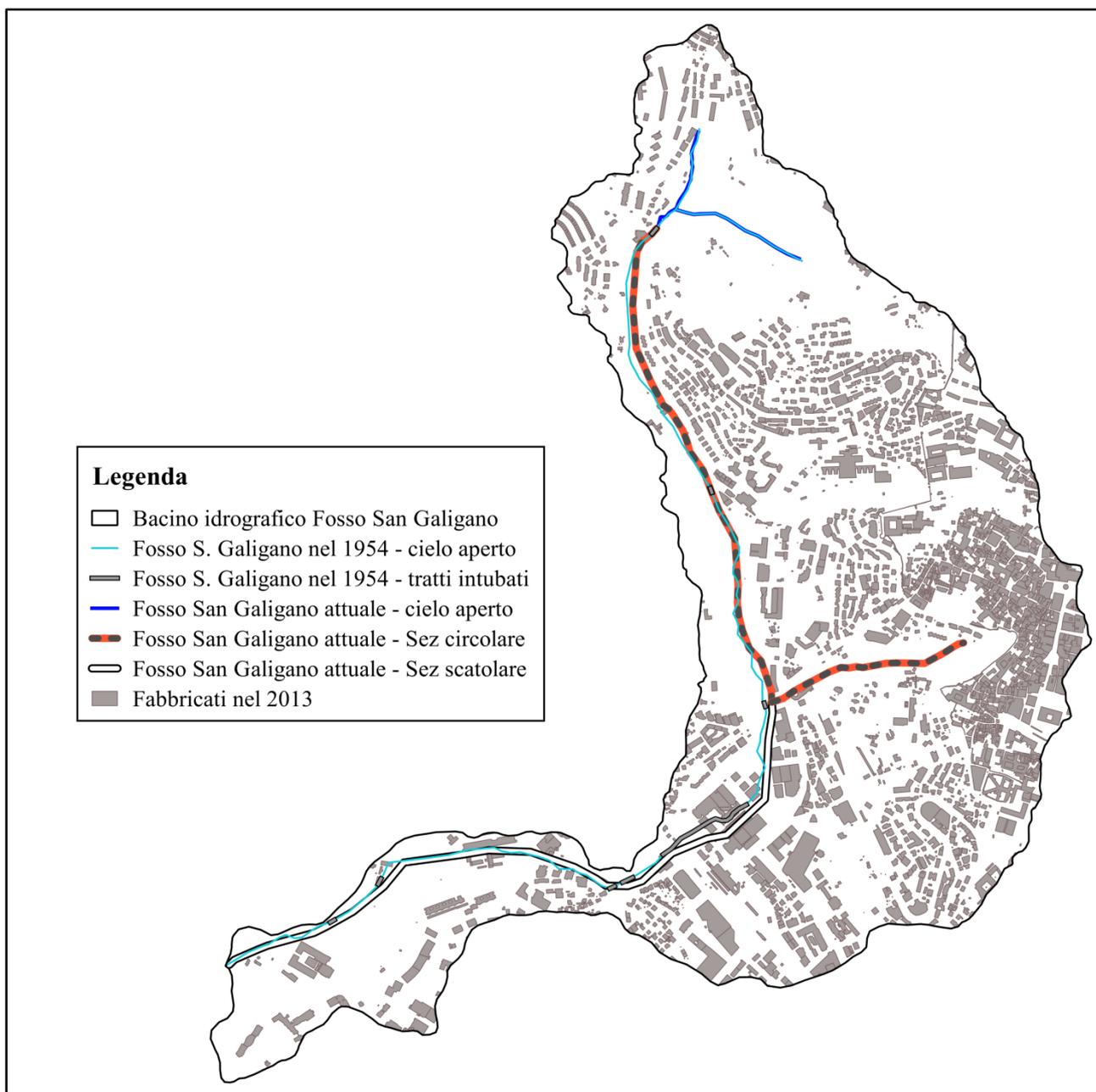
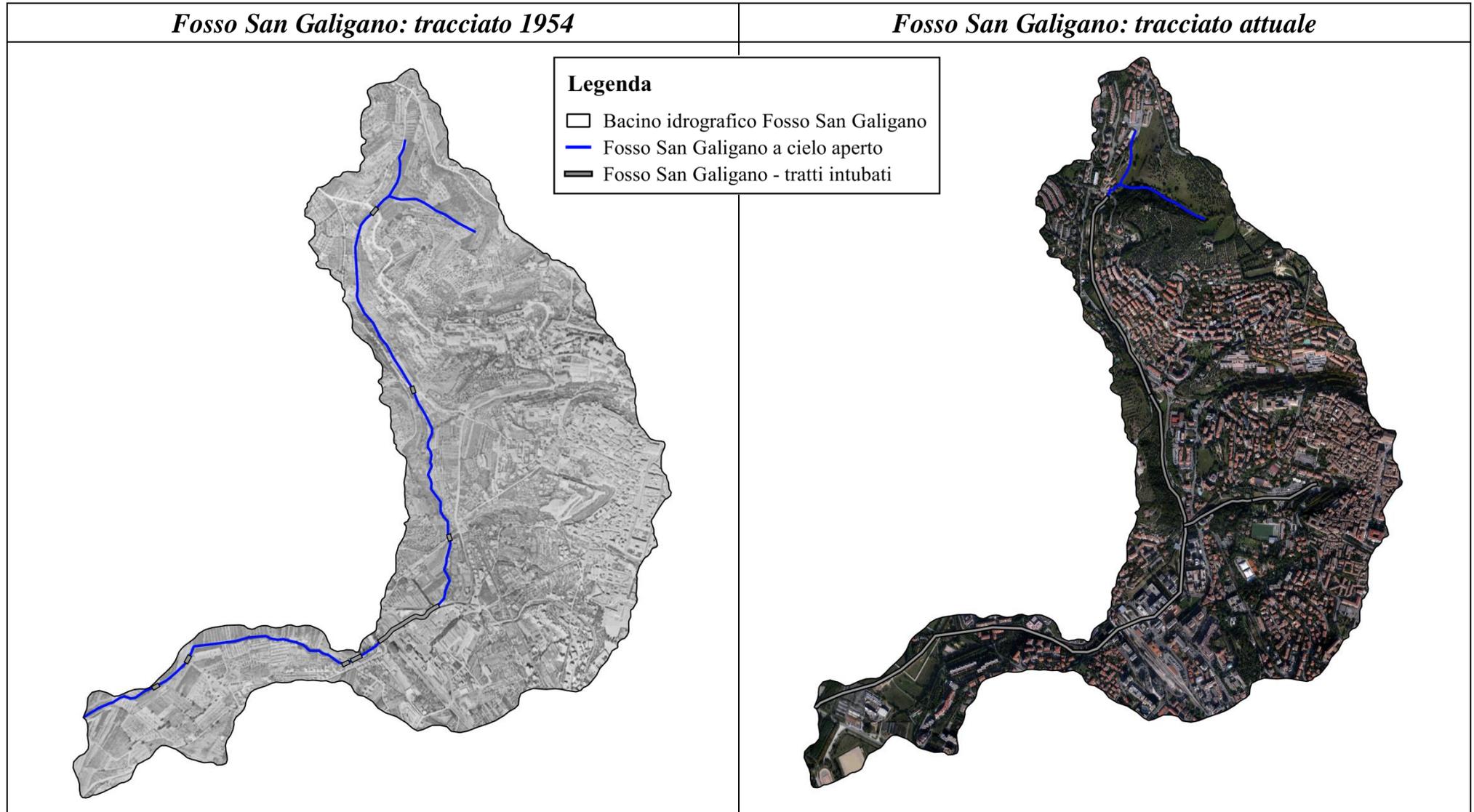
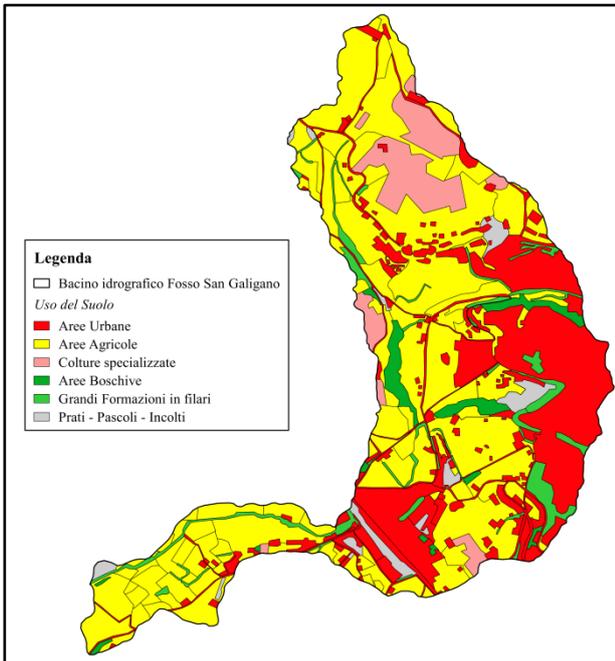


Fig. 7.1 – Fosso San Galigano: sovrapposizione tra il tracciato del 1954 e quello attuale

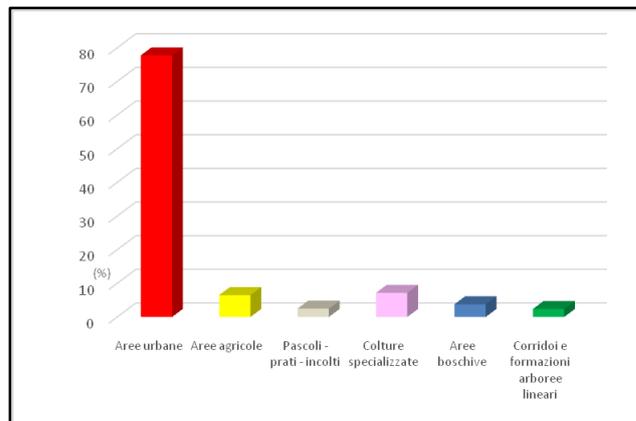
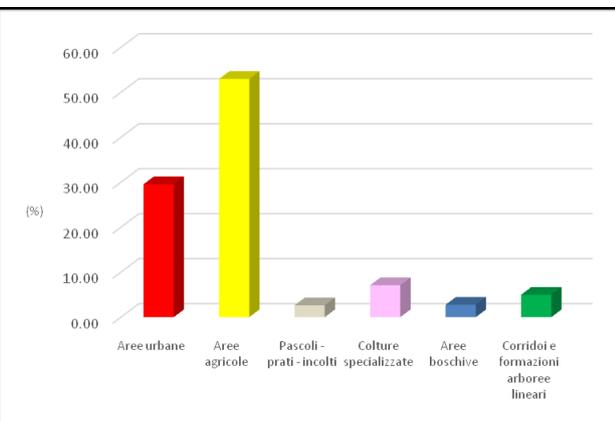
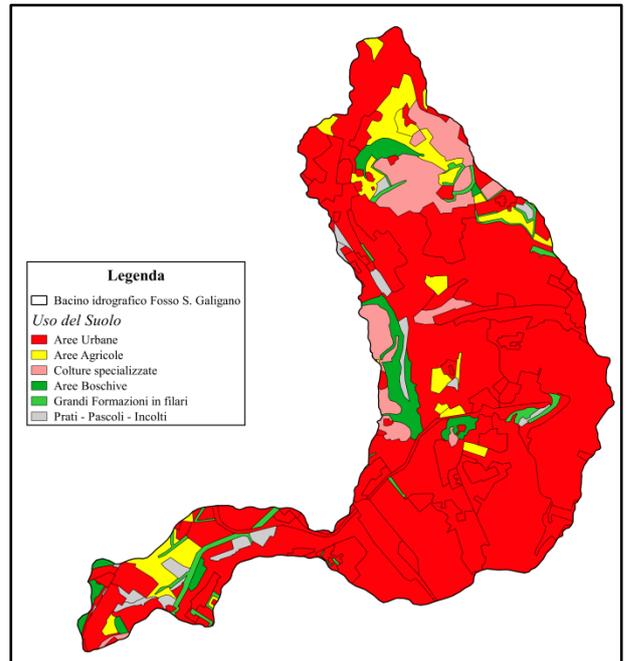
7.2. Variazioni dell'uso del suolo



**Bacino del Fosso San Galigano:
uso del suolo 1954**



**Bacino del Fosso San Galigano:
uso del suolo attuale**



Tipo uso del suolo	Area (%)	Tipo uso del suolo	Area (%)
Aree urbane	29.6	Aree urbane	77.7
Aree agricole	53	Aree agricole	6.5
Pascoli - prati - incolti	2.6	Pascoli - prati - incolti	2.5
Colture specializzate	7	Colture specializzate	7.1
Corridoi e formazioni arboree lineari	5	Corridoi e formazioni arboree lineari	2.5
Aree boschive	2.8	Aree boschive	3.7

Si evidenzia l'aumento sostanziale negli ultimi decenni delle aree urbane all'interno del bacino, che sono passate dal 29.6% della superficie totale nel 1954 al 77.7% attuale, sostituendosi, nelle zone evidenziate nella Figura 7.2, a precedenti superfici destinate ad attività agricole.

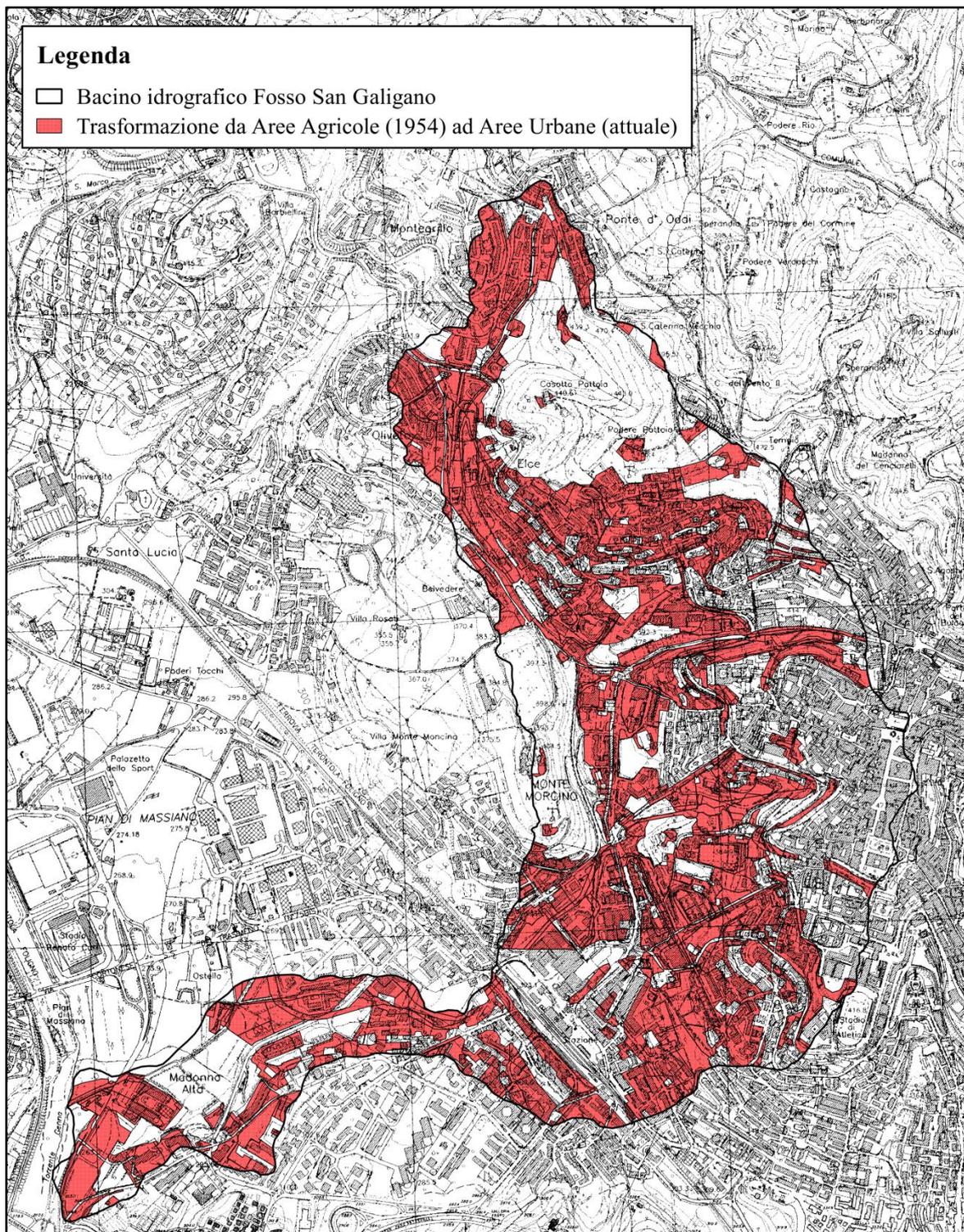


Fig. 7.2 – Bacino del Fosso San Galigano: Sono evidenziate le aree che dal 1954 ad oggi sono state trasformate da aree agricole e/o boschive ad aree urbanizzate

7.3. Valutazioni sull'incremento del rischio idraulico negli ultimi decenni

Il rischio idraulico attuale è stato valutato al paragrafo 5.3 come combinazione della pericolosità, della vulnerabilità e dell'esposizione: $R = P \times E \times V$

Nei precedenti paragrafi si sono invece esaminate tutte le trasformazioni che complessivamente hanno interessato il Fosso San Galigano e il suo bacino idrografico.

Nel presente paragrafo si analizza come le suddette trasformazioni abbiano comportato sia incrementi della pericolosità idraulica sia incrementi del parametro di esposizione e vulnerabilità, e di conseguenza un aumento significativo del rischio idraulico nell'area in esame.

❖ Variazioni della pericolosità idraulica

Le trasformazioni che hanno interessato l'alveo naturale del Fosso San Galigano con l'intubamento dello stesso per la quasi totalità del suo corso hanno comportato una diminuzione delle portate massime smaltibili.

Inoltre, l'impermeabilizzazione progressiva negli anni delle superfici ha sempre più diminuito le capacità di ritenzione del suolo e aumentato di conseguenza i valori delle portate attese. Di fatto, dalla metodologia di calcolo al paragrafo 4, si possono riscontrare le seguenti differenze tra i parametri riferiti alle condizioni attuali e quelli riferiti alla condizione nel 1954:

		1954	Situazione attuale	Variazione percentuale
Capacità idrica massima del suolo S (mm)		85.5	72.37	-13.1%
Spessore di pioggia efficace (mm)	Tr = 50 anni	13.68	16.85	+23.17 %
	Tr = 200 anni	21.99	26.07	+18.55%
Portata attesa alla confluenza con il Torrente Genna (m ³ /s)	Tr = 50 anni	8.65	10.7	+23.7 %
	Tr = 200 anni	13.92	16.5	+18.53 %

Si evince che i cambiamenti nell'uso del suolo che si sono avuti all'interno del bacino del Fosso San Galigano negli ultimi decenni hanno provocato +sia la diminuzione della capacità idrica del suolo, sia un aumento significativo delle portate attese alla sezione di chiusura.

❖ Variazioni dell'esposizione e della vulnerabilità

Dall'analisi della cartografia riferita alla situazione nell'anno 1954 si può notare la scarsa presenza di edificato residenziale, attività produttive o beni in genere nell'area in esame.

Per il parametro $E \times V$, così come definito al paragrafo 5.2, si può considerare nel 1954 un grado basso (Ba) per le aree limitrofe al corso d'acqua.

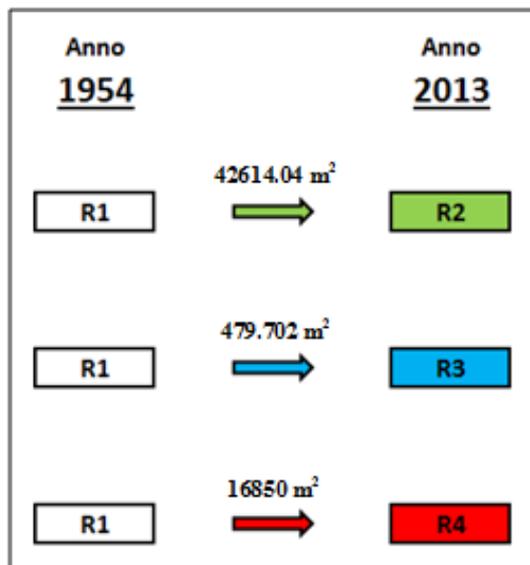
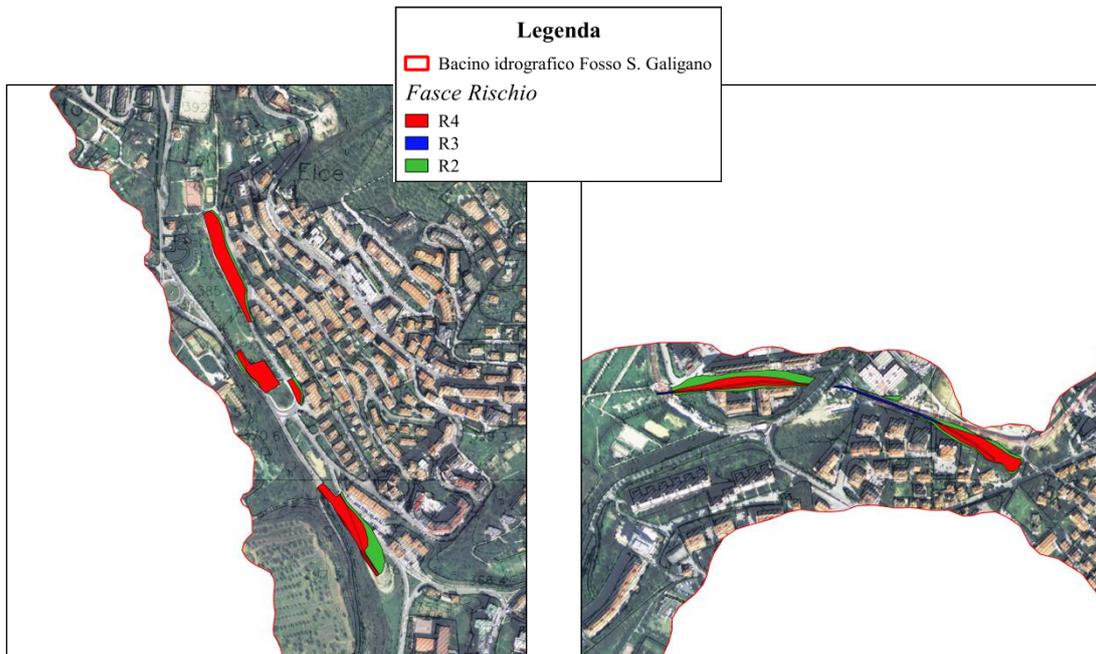
Diversamente, allo stato attuale si hanno un gran numero di persone e una serie di elementi vulnerabili (edificato residenziale e commerciale) esposti al pericolo, individuati al paragrafo 5.2.

❖ **Variazioni del rischio idraulico**

Con riferimento alla situazione nell'anno 1954, vista la generale assenza di elementi a rischio e considerate le basse classi di pericolosità, la totalità del bacino del Fosso San Galigano costituiva un'area a rischio moderato R1.

Le condizioni di rischio idraulico attuale sono state esposte nel dettaglio al paragrafo 5.3

Complessivamente le seguenti superfici hanno subito un incremento della classe di rischio:



8. Ipotesi d'intervento per la mitigazione del rischio idraulico

Dalle analisi svolte risulta che le aree a rischio alto o molto alto sono localizzate in due zone principali: l'area verde di Rimboocchi e l'area residenziale a monte della sede succursale della scuola media Giovanni Pascoli; l'evento critico avvenuto il giorno 12 giugno 2016, conferma la pericolosità idraulica dei luoghi (Paragrafo 3.5).

Le condizioni di rischio idraulico sopra citati sono dovute sia all'eccessiva urbanizzazione avvenuta nel tempo, con conseguente intubamento del Fosso (Capitolo 6), sia all'errato dimensionamento di alcuni tratti intubati.

S'ipotizza di conseguenza, come migliore soluzione per la mitigazione del rischio idraulico, la realizzazione di un canale superficiale, posizionato al di sopra dell'attuale collettore principale, in grado di raccogliere le acque superficiali del bacino idrografico sotteso; la tubazione attuale continuerebbe ad avere una funzione di fognatura per la raccolta delle acque nere.

Nella Figura 8.1 s'individuano i tratti dove è possibile ipotizzare la realizzazione del canale a cielo aperto.

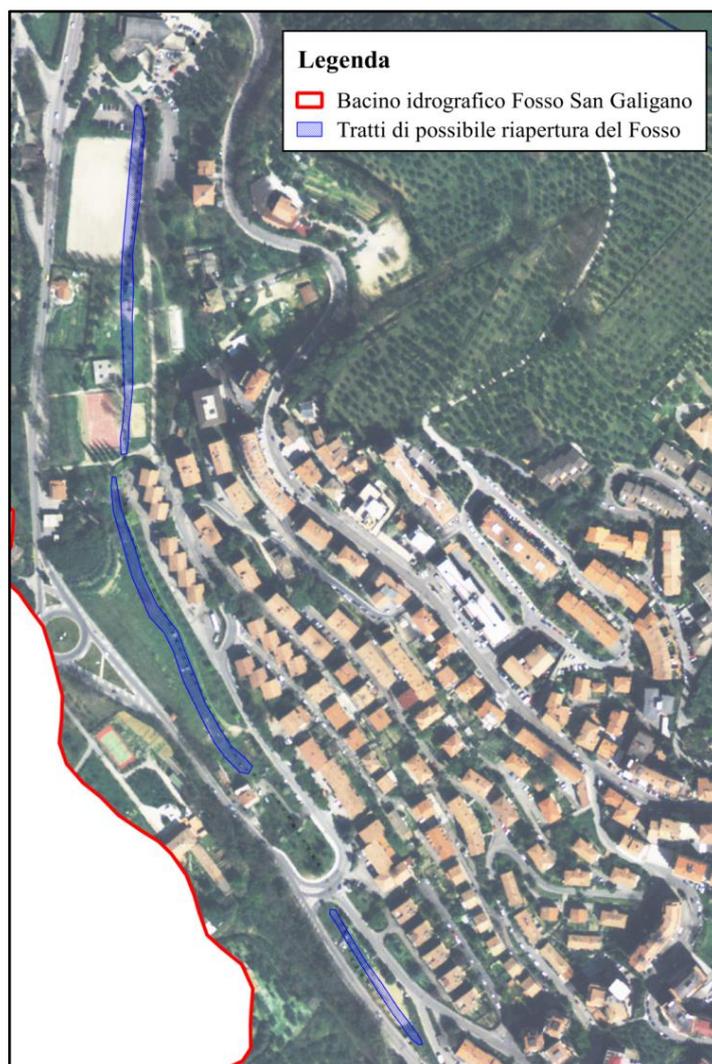


Fig. 8.1 – Individuazione dei tratti di possibile riapertura del fosso San Galigano

Nella Figura 8.2 è riportato uno schema illustrativo dell'ipotesi d'intervento sopracitata.

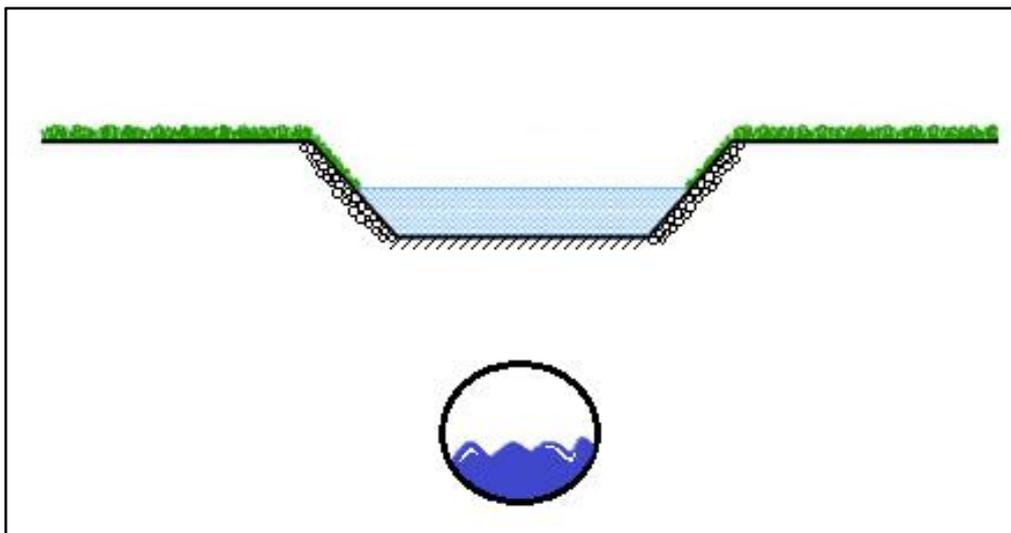
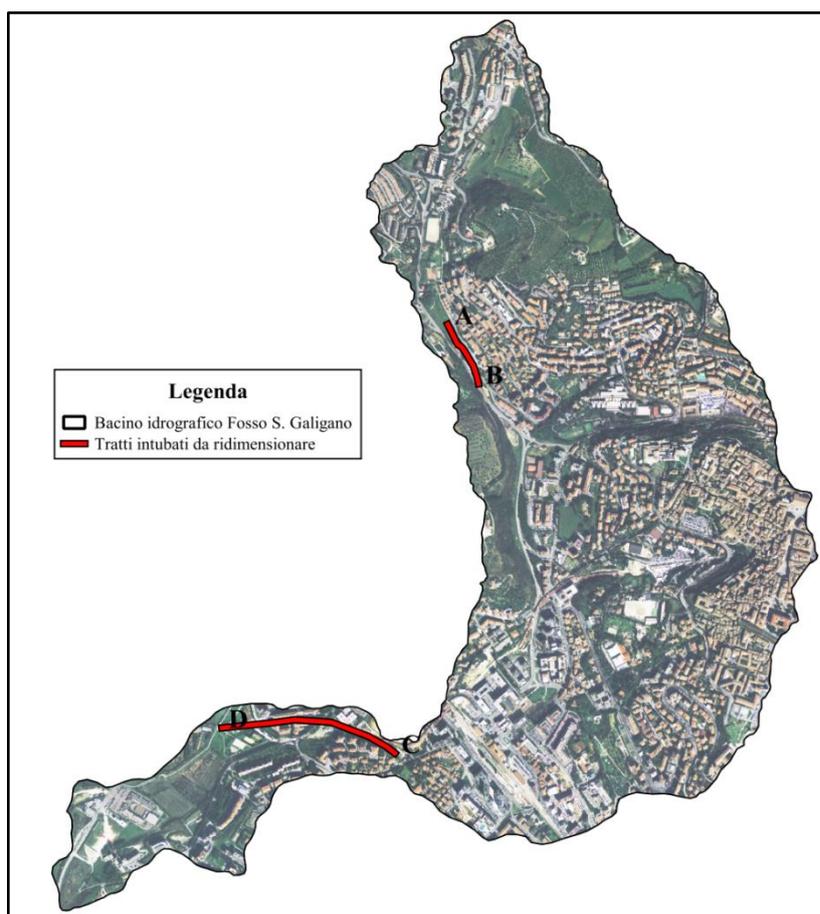


Fig. 8.2 – Schema illustrativo dell'ipotesi d'intervento

È da prevedere inoltre, il ridimensionamento delle sezioni dei tratti intubati rimanenti, evidenziati nella figura sottostante, fino a renderli idonei allo smaltimento delle portate relative a un tempo di ritorno di 200 anni valutate nei capitoli precedenti. Si rende necessario in particolare operare le seguenti modifiche:



Tratto AB: diametro attuale 1000 mm → diametro da prevedere 1700 mm

Tratto CD: area sezione utile attuale 6 m² → area sezione utile da prevedere 7.2 m²

Per quanto riguarda il condominio presente in Via delle Sorgenti che rappresenta l'elemento maggiormente a rischio all'interno del bacino idrografico del Fosso San Galigano (Capitolo 6.8), oltre al ridimensionamento del tratto intubato, si renderebbe necessaria la creazione di un canale sfioratore all'interno del piazzale che garantirebbe la sicurezza dei condomini nel caso di allagamento.

Uno schema illustrativo di tale opera è riportato in Figura 8.3.

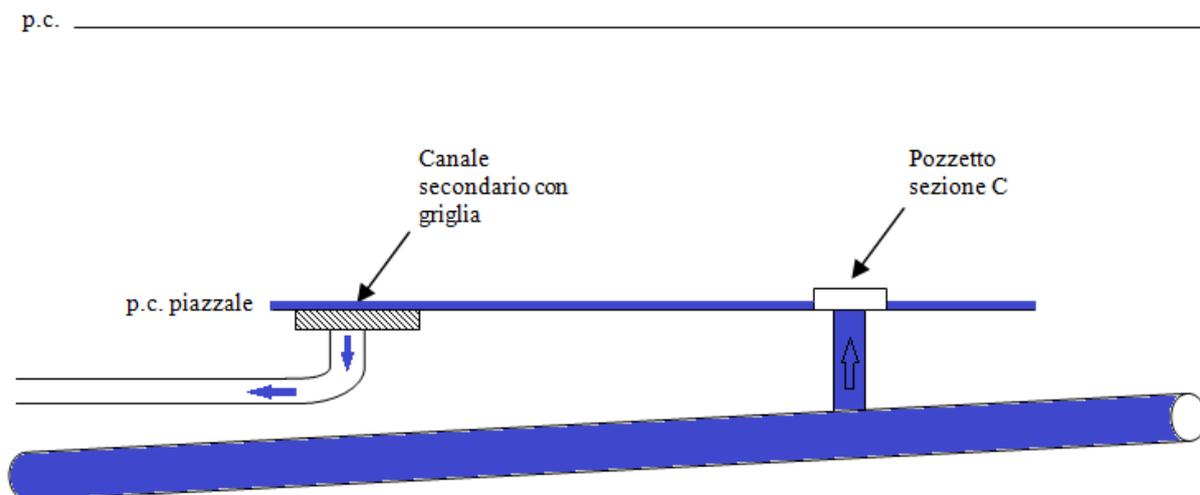


Fig. 8.3 – Schema illustrativo del canale sfioratore

Nel caso in cui il canale principale non riesca a smaltire l'evento di piena eccezionale con conseguente allagamento del piazzale, la griglia, posta a una quota più bassa del pozzetto, drenerebbe l'acqua del piazzale in un canale secondario che si ricollegerebbe alla tubazione principale più a valle.

9. Videoispezione nel tratto dell'area verde di Rimbocchi

In data 19/06/2017 l'Umbra Acque SPA ha eseguito una videoispezione di routine al fine di verificare lo stato attuale delle canalizzazioni nel tratto del fosso San Galigano localizzato in Via delle Sorgenti, dal pozzetto presente nel piazzale dell'abitazione al pozzetto dei giardini a valle (Figure 9.1 e 9.2), per una lunghezza totale di circa 80 metri.



Fig. 9.1 – Localizzazione su ortofoto del tratto ispezionato

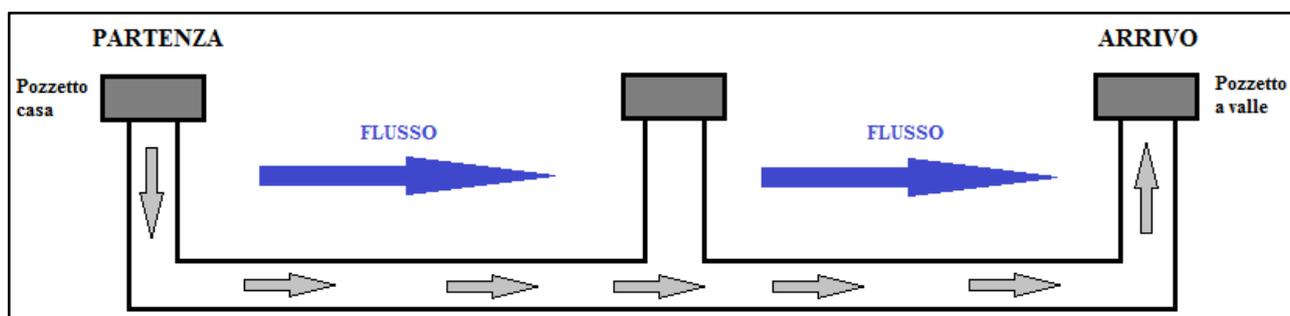


Fig. 9.2 – Illustrazione della videoispezione realizzata

La videoispezione è stata realizzata nel collettore principale del Fosso San Galigano, che in questo tratto è rappresentato da una tubazione in cemento di diametro 1000 mm.

Durante le riprese sono state riscontrate alcune problematiche:

- *Presenza di crepe nella volta della tubazione*



- *Presenza di materiale solido che ha occluso parzialmente la sezione*



La presenza di materiale solido, anche con clasti di grande dimensione e cementati tra loro, riduce significativamente l'area utile al deflusso; durante la videoispezione, tale materiale non ha permesso il passaggio del robot che si è ribaltato durante le manovre di recupero causando la conclusione anticipata della videoispezione.

Il video completo della videoispezione effettuata è in allegato tramite CD alla presente relazione.