

Dicembre
2017



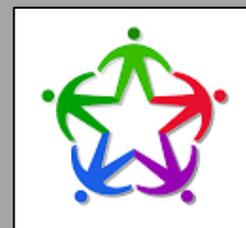
Analisi del rischio idraulico del Rio Tofina in località Ponte Felcino

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
07/12/2017



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	7
3.3. Caratteristiche idro-geolitologiche del bacino.....	8
3.4. Rete di monitoraggio idro-pluviometrico	11
4. Analisi idrologica	12
4.1. Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (L.S.P.P.)	12
4.2. Altezze di pioggia puntuali lorde.....	13
4.3. Altezze di pioggia lorde ragguagliate all'area del bacino	13
4.4. Altezze di pioggia efficaci	13
4.5. Durata critica delle piogge e tempi di corrivazione.....	14
4.6. Intensità di pioggia	14
5. Valutazione del rischio idraulico	15
5.1. Valutazione della pericolosità idraulica	15
5.2. Individuazione dei beni esposti e valutazione della loro vulnerabilità.....	24
5.3. Valutazione del rischio idraulico	26
5.4. Conclusioni.....	28

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'esonabilità del reticolo idrografico minore.

Lo scopo del presente studio è la valutazione del rischio idraulico derivante dall'esonabilità del Rio Tofina, affluente in destra idrografica del Fiume Tevere, in località Ponte Felcino.

Lo studio si è poi concentrato nel verificare se la Scuola dell'Infanzia "Fantabosco", situata in Via della Trota, ricade all'interno delle fasce di pericolosità del Rio Tofina e quindi a valutare le condizioni di rischio per questo edificio scolastico.

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 del Rio Tofina.

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 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 d'interesse in regime di moto uniforme; l'intubamento dell'alveo principale nel tratto d'interesse 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 ad 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 Rio Tofina come combinazione della pericolosità, della vulnerabilità e dell'esposizione.

3. Inquadramento generale

3.1. Inquadramento territoriale

Il bacino idrografico del Rio Tofina si estende all'interno del comune di Perugia per una superficie di circa 1.6 km², in località Ponte Felcino (Figura 3.1). Il Rio Tofina è un affluente in destra idrografica del Fiume Tevere.

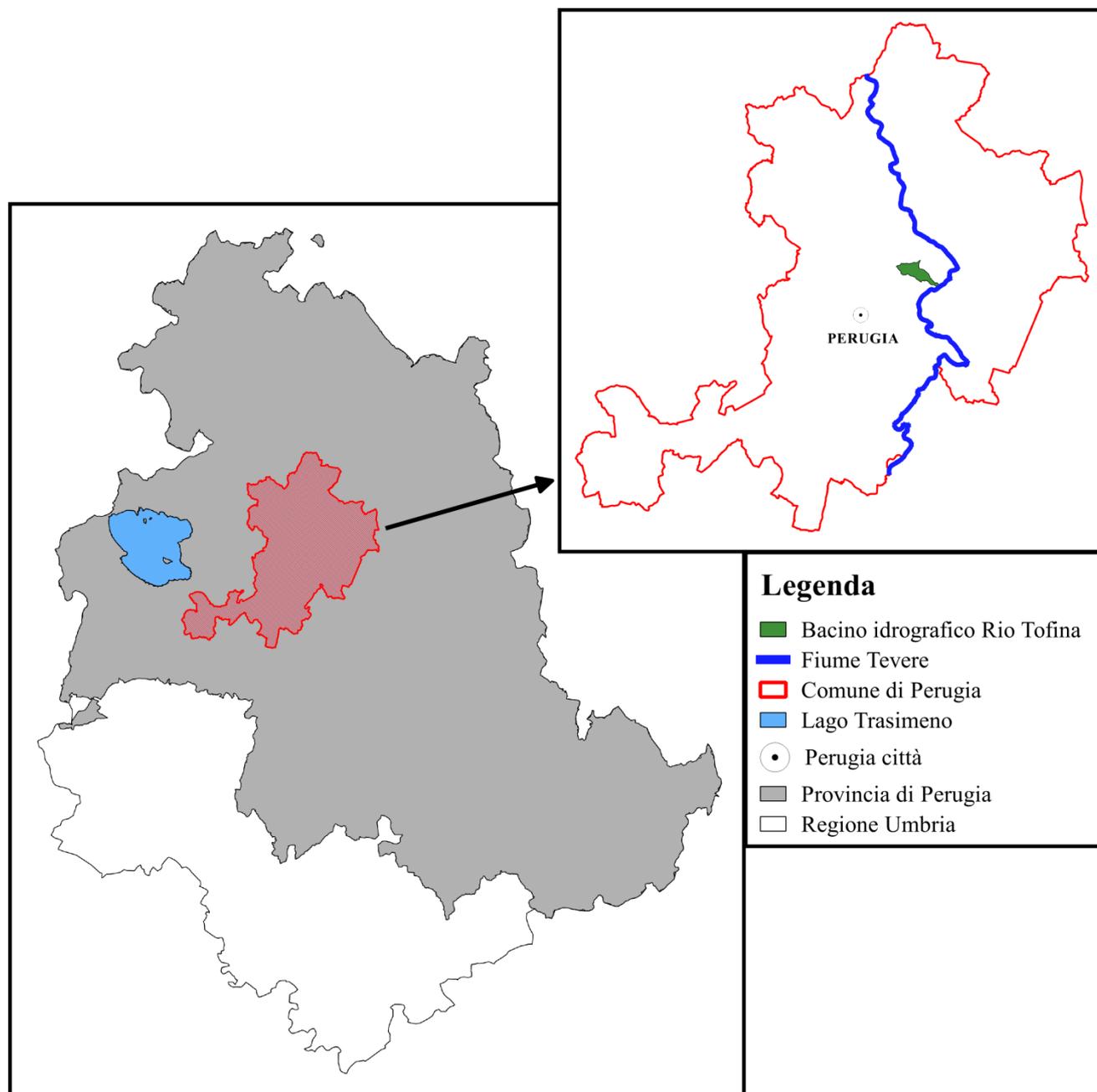


Fig. 3.1 – Posizione del bacino del Rio Tofina all'interno della provincia di Perugia

Il bacino in esame è compreso nel box di coordinate geografiche 43° 14' e 43° 13' di latitudine Nord e 12° 41' e 12° 45' di longitudine Est da Greenwich.

E' delimitato a Est dal bacino idrografico del Fosso Santa Maria, a Sud dal Fiume Tevere, a Ovest dai bacini idrografici del Torrente Rio e del Fosso del Bottolone e infine a Nord dalla località di Pieve San Sebastiano.

Il tracciato del Rio Tofina è mostrato in Figura 3.2, mentre in Figura 3.3 viene riportata la posizione dell'edificio scolastico oggetto dello studio.

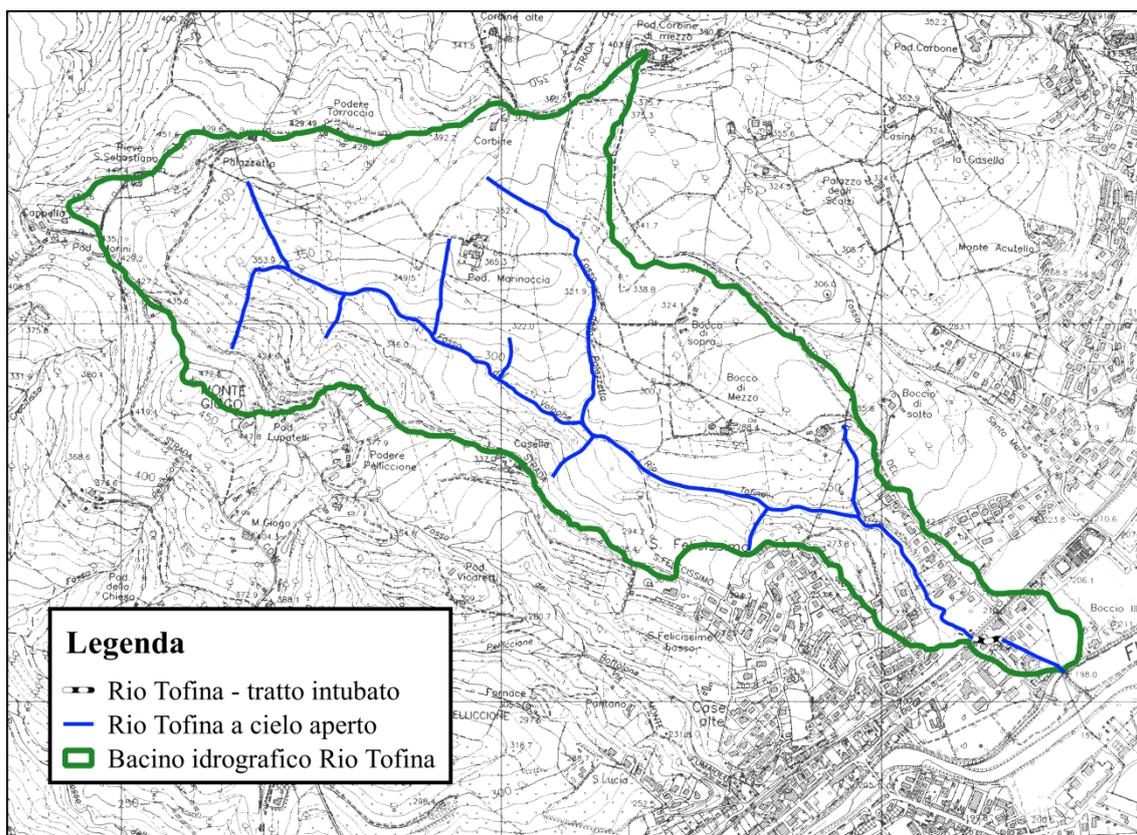


Fig. 3.2 – Inquadramento su carta CTR del Rio Tofina

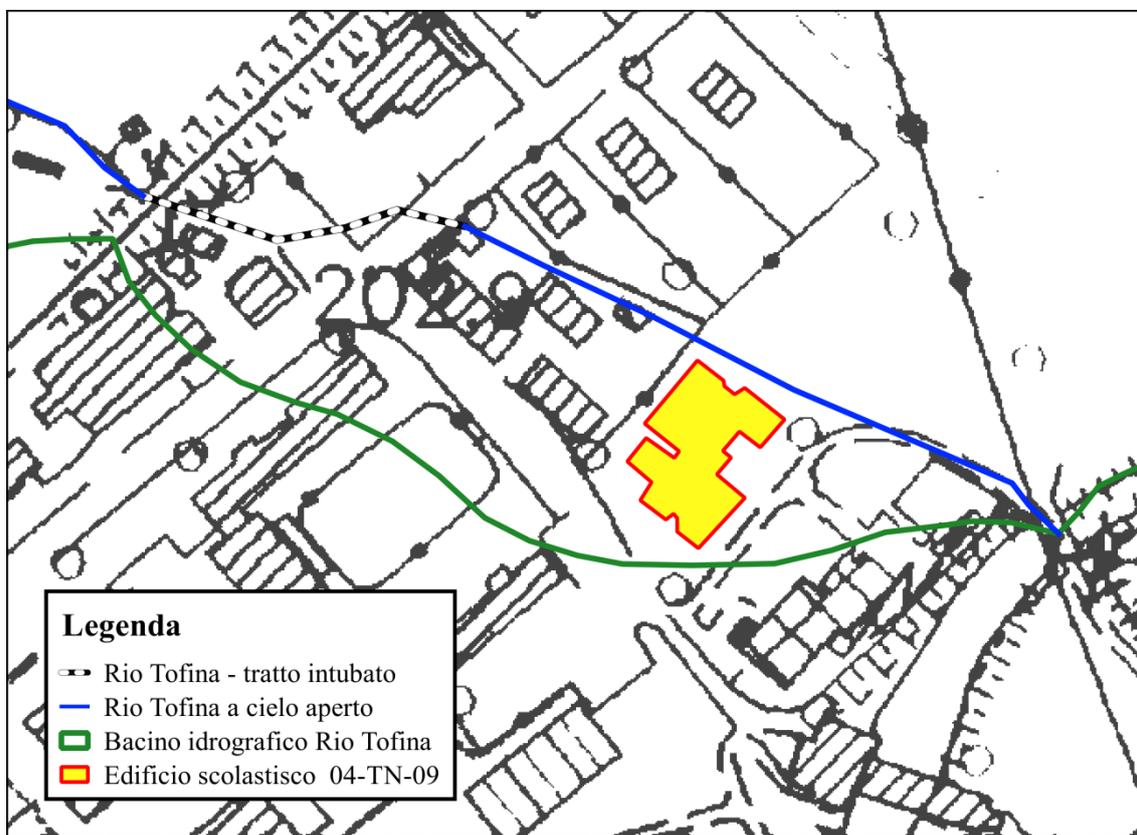


Fig. 3.3 – Localizzazione su CTR della scuola dell'infanzia "Fantabosco" (04-TN-09)

3.2. Cartografia di riferimento

L'analisi idraulica-idrologica per la valutazione del rischio idraulico, oggetto dello studio e relativa ad 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 che 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

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 3.4 e in Tabella 3.1.

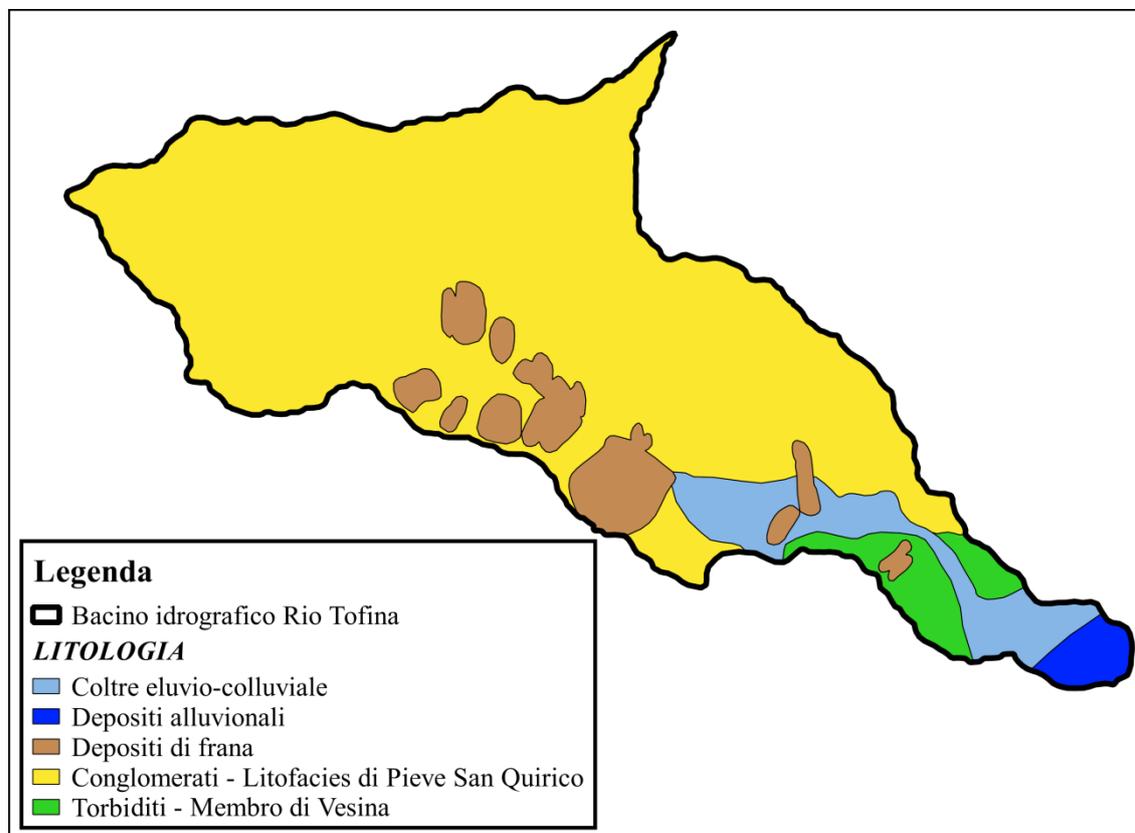


Fig. 3.4 – Bacino idrografico del Rio Tofina: litologia

	Litologia	Area (%)
☐	Coltre eluvio-colluviale	7.6 %
☐	Depositi alluvionali	1.8 %
☐	Depositi di frana	8.4 %
☐	Conglomerati – Litofacies di Pieve San Quirico	78 %
☐	Torbiditi – Membro di Vesina	4.2 %

Tab. 3.1 – Caratteristiche litologiche del bacino del Rio Tofina

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 agricole (47.1%) e da colture specializzate (23.6%).

Le principali caratteristiche sono riportate in Tabella 3.2 e rappresentate in Figura 3.5.

Tab. 3.2 – *Uso del suolo del bacino del Rio Tofina*

Uso del suolo	Area (%)
Aree urbane	6.6
Aree agricole	47.1
Pascoli - prati - incolti	7.3
Colture specializzate	23.6
Aree boschive	11.6
Corridoi e formazioni arboree lineari	3.8

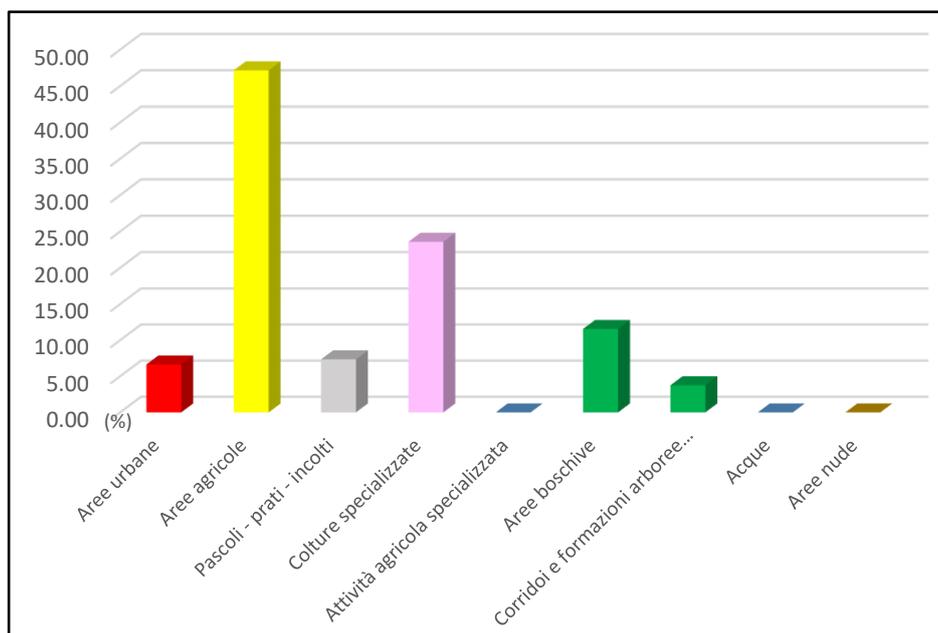


Fig. 3.5 – *Uso del suolo del bacino del Rio Tofina*

Una rappresentazione cartografica dell'uso del suolo è mostrata in Figura 3.6.

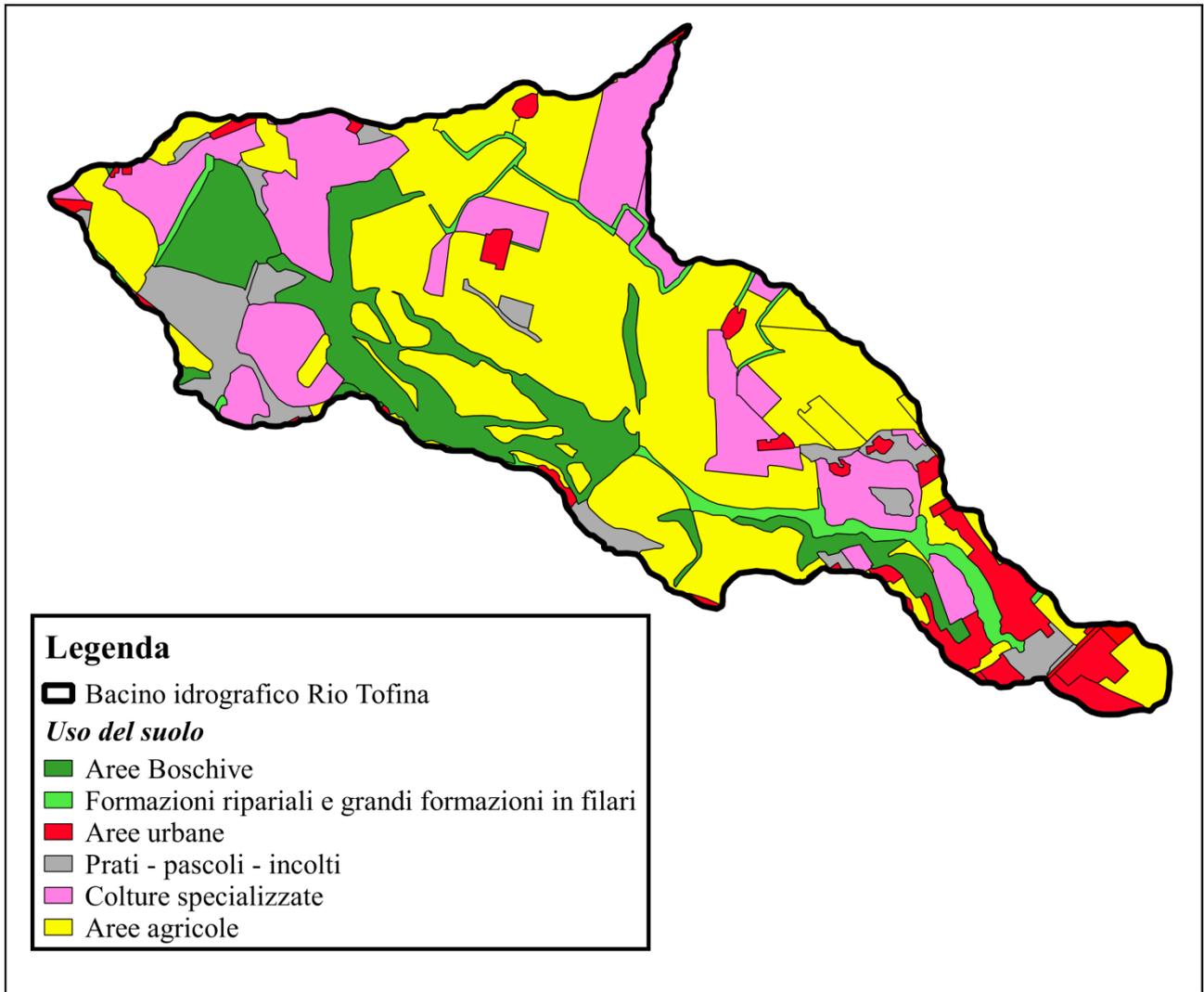


Fig. 36 – Bacino del Rio Tofina: uso del suolo

3.4. Rete di monitoraggio idro-pluviometrico

La rete idro-pluviometrica presente nell'area del bacino del Rio Tofina 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 Rio Tofina

Stazione	Ente Proprietario	Coordinate WGS84 - UTM33		Periodo di funzionamento
		X	Y	
Perugia	Regione Umbria	288087	4775349	dal 16 maggio 1983 inizio osservazioni 1918
Perugia – Santa Giuliana	Regione Umbria	287387	4775762	dal 6 maggio 2004 inizio osservazioni 1986
Perugia Sede	Regione Umbria	286494	4775910	dal 23 settembre 2015 inizio osservazioni 1994
Ponte Felcino	Regione Umbria	291343	4778099	dal 21 aprile 2004 inizio osservazioni 1991

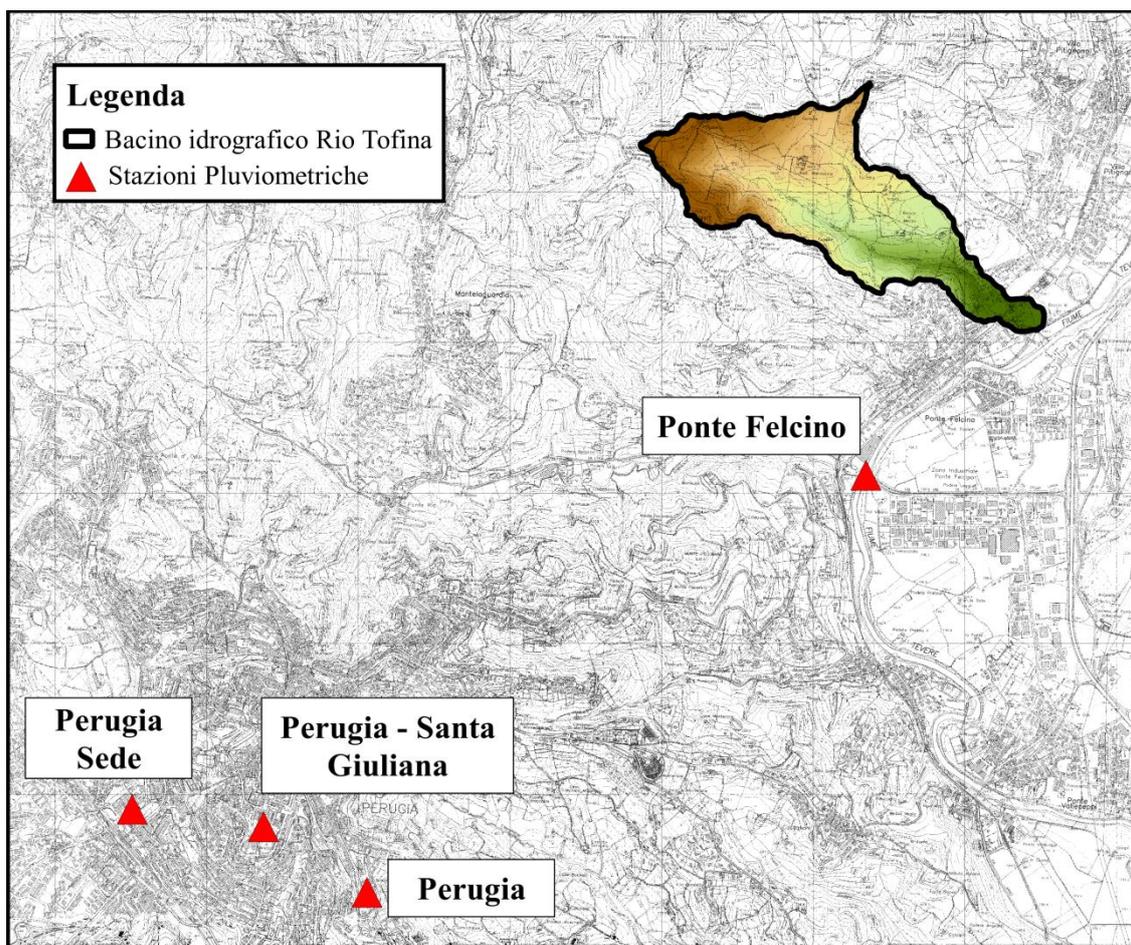


Fig. 3.7 – Bacino del Rio Tofina: stazioni idrometeorologiche presenti nelle vicinanze dell'area oggetto di studio

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 ragguagliata 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 pioggia brevi ed intense.

Nelle immediate vicinanze del bacino in esame sono localizzate diverse stazioni pluviometriche (vedi paragrafo 3.4); nonostante sia presente la stazione pluviometrica di Ponte Felcino, la quale è localizzata nelle immediate vicinanze del bacino in esame, si è scelto di far riferimento alla stazione pluviometrica di Perugia, in quanto è fornito di una quantità di dati molto maggiore e quindi è maggiormente attendibile.

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

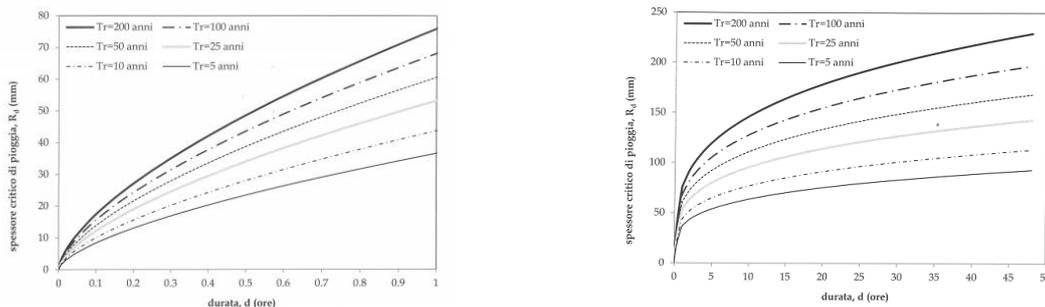
Tab. 4.1 – Parametri delle LSPP per la stazione pluviometrica di Perugia

Tr (anni)	5	10	25	50	100	200
a	36.52	43.68	53.14	60.47	68.03	75.85
b'	0.641	0.641	0.641	0.641	0.641	0.641
b	0.242	0.246	0.256	0.265	0.275	0.286

Stazione di Perugia – Spessori critici di pioggia (in mm)

Tr (anni)	DURATA (minuti)						DURATA (ore)						
	5	10	15	20	30	40	1	3	6	12	24	36	48
5	7.4	11.6	15	18.1	23.4	28.2	36.5	47.6	56.3	66.6	78.8	86.9	93.1
10	8.9	13.8	18	21.6	28	33.7	43.7	57.3	67.9	80.6	95.6	105.6	133.3
25	10.8	16.8	21.8	26.3	34.1	41	53.1	70.4	84	100.3	119.8	132.8	143
50	12.3	19.2	24.9	29.9	38.8	46.6	60.5	80.9	97.2	116.7	140.3	156.1	168.5
100	13.8	21.6	28	33.6	43.6	52.5	68	92	111.3	134.7	162.9	182.1	197.1
200	15.4	24	31.2	37.5	48.6	58.5	75.9	103.8	126.6	154.4	188.2	211.3	229.4

Stazione di Perugia – Andamenti grafici delle curve di possibilità pluviometrica



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:

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

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

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 lorde, 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 $P_n = P - IA$ e $IA = k_{ia} S$

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.

Formula 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

Formula di Ventura:

$$t_c = 0.1272 \left(\frac{S}{i} \right)^{0.5}$$

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

5.1. Valutazione della pericolosità idraulica

Acquisite le informazioni cartografiche necessarie, analizzata ed 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.

Lo studio è circoscritto all'area urbana di Ponte Felcino, dall'inizio del tratto intubato fino alla confluenza con il Fiume Tevere.

In questo tratto sono state individuate 3 sezioni critiche, riportate in Figura 5.1:

- **Sez A** - Entrata del tratto intubato a monte dell'attraversamento ferroviario;
- **Sez B** - Uscita del tratto intubato a valle dell'attraversamento stradale di Via Vincenzo Maniconi;
- **Sez C** - Sezione dell'alveo naturale a fianco dell'edificio scolastico oggetto di studio.

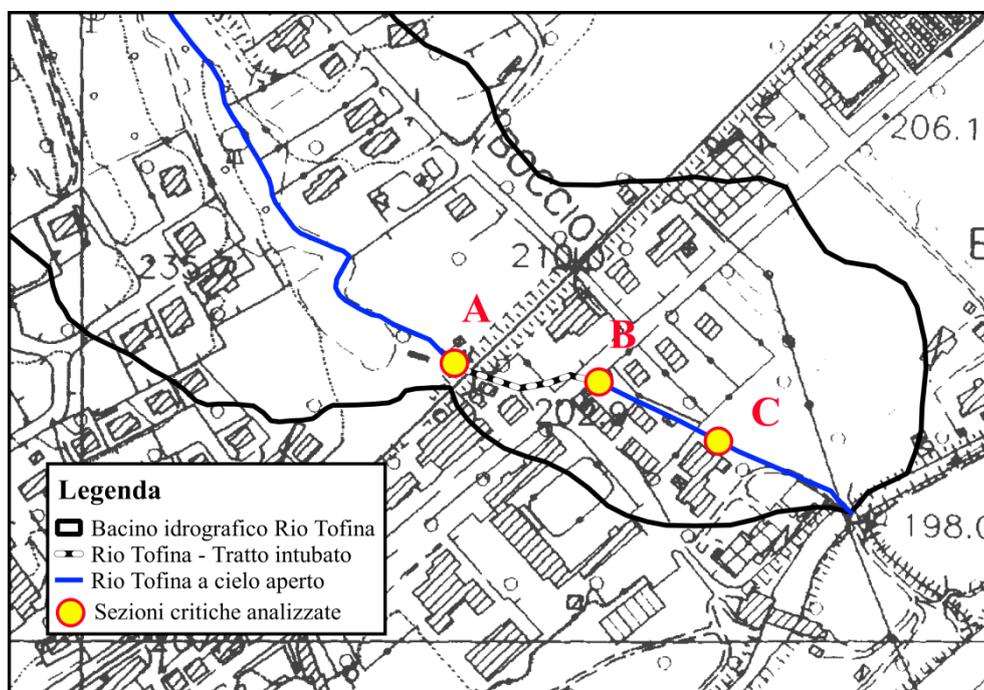
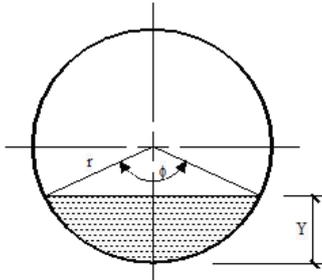


Fig. 5.1 – Sezioni critiche individuate nel bacino idrografico del Rio Tofina

Per ciascuna di esse 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

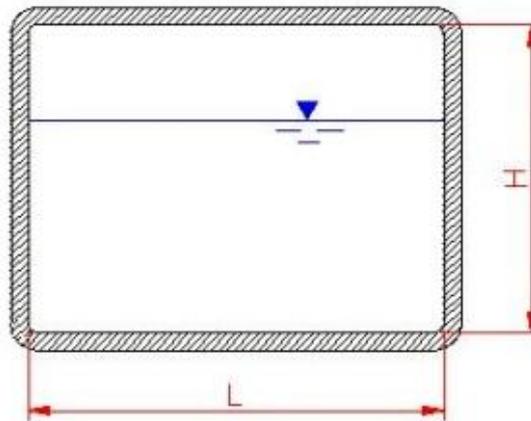
- La portata massima smaltibile Q_M per le sezioni di forma circolare in condizioni di moto uniforme è stata calcolata con le relazioni formulate da Chezy e Bazin:

$Q_0 = A_0 \times \chi_0 \times \sqrt{\mathfrak{R}_0} \times i$ Chezy	
$\chi_0 = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{\mathfrak{R}}}}$ Bazin	
	$Y = r \times \left(1 - \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right)\right)$ $A = \frac{r^2}{2} \times (\varphi - \sin\varphi)$ $C = r \times \varphi$ $\mathfrak{R} = \frac{A}{C}$ $\% = \frac{Y}{2 \times r}$

- 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)



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

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 – Ingresso tratto intubato**

Individuata nel punto di passaggio ove l'alveo naturale viene tubato con elementi in cls vibrato di diametro 1500 mm, partendo da monte e procedendo verso valle, rispettivamente al di sotto del nuovo tratto stradale denominato via Pino La Torre, della Ferrovia Centrale Umbra, del centro abitato di Ponte Felcino e fino al di là di via Vincenzo Maniconi per una lunghezza pari a circa 110 metri lineari.

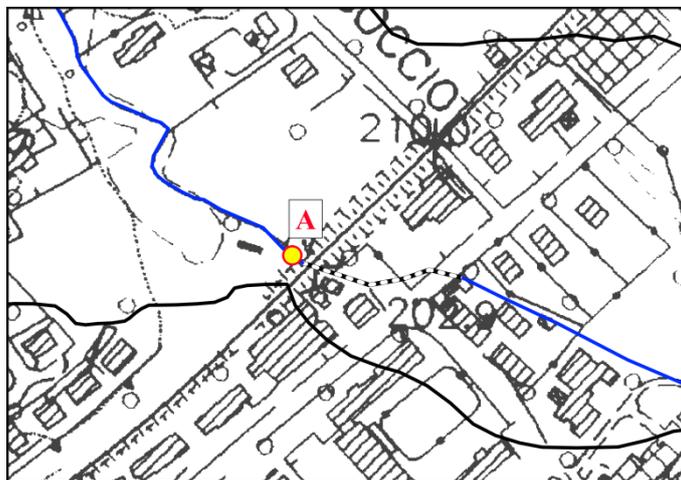


Foto sezione A vista da monte



Foto sezione A – dettaglio passaggio dall'alveo naturale al tubo in cls $\phi = 1500\text{mm}$

Materiale: *calcestruzzo*

Diametro: *1500 mm*

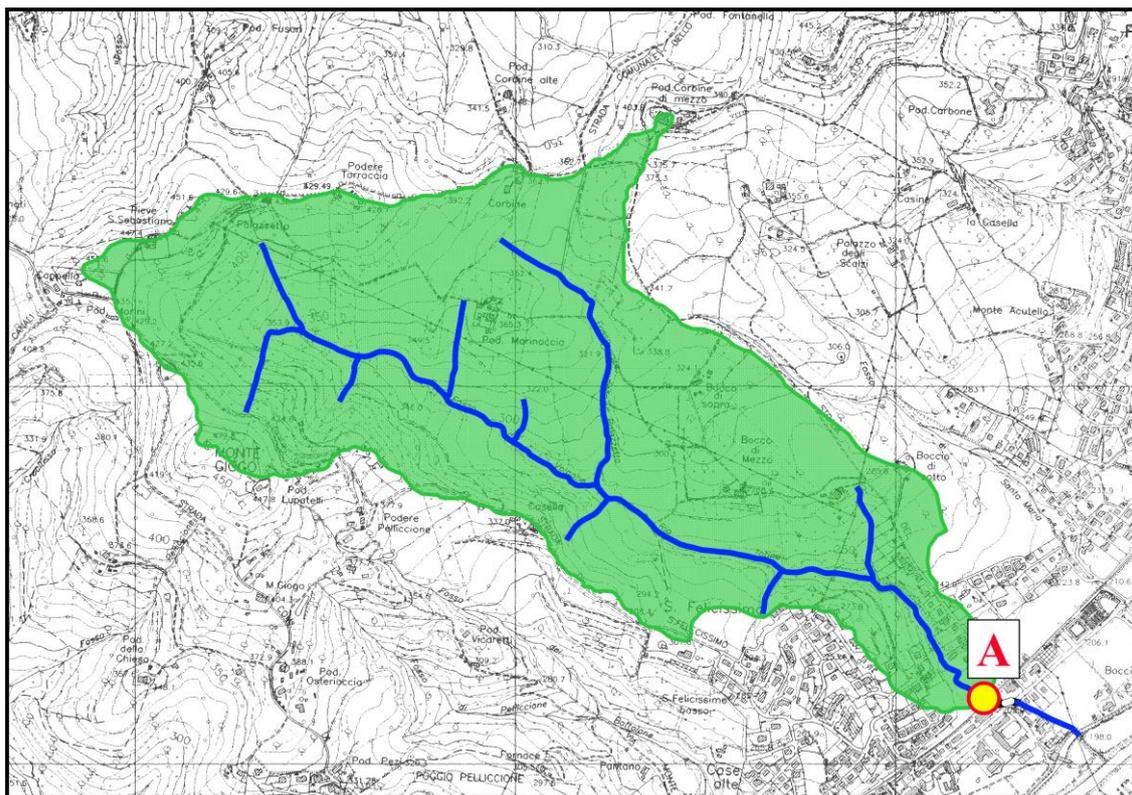
Area della sezione utile: *1.77 m²*

Pendenza locale dell'alveo: *0.010*

Coefficiente di attrito (Bazin): *0.4*

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 6.14 \text{ m}^3/\text{s}$

Velocità della corrente al transito della massima portata: $V_a = 3.54 \text{ m/s}$



Il bacino idrografico sotteso dalla sezione A ha una superficie di **1.59 km²** ed è rappresentato in figura.

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

Tr = 50 anni	$Q_{c,50} = 4.16 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{c,200} = 7.53 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,200} > Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{c,500} = 9.90 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,500} > Q_m$

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

Classe di pericolosità: **B**

▪ **Sezione B – Sezione scatolare rettangolare**

Individuata a valle di via Vincenzo Maniconi, nel punto di passaggio dove il tubo in cls vibratodi diametro 1500 mm recapita le acque in uno scatolare di forma rettangolare(base 2,15 metri – altezza 2,73 metri) in c.a. gettato in opera con pareti rivestite a pietra.

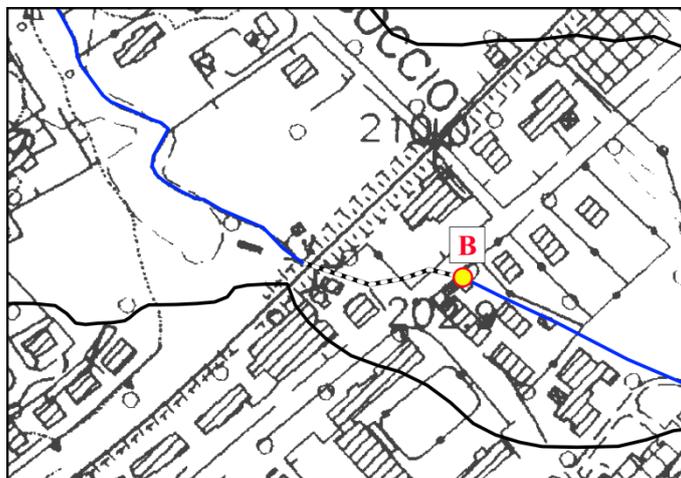


Foto sezione B vista da monte

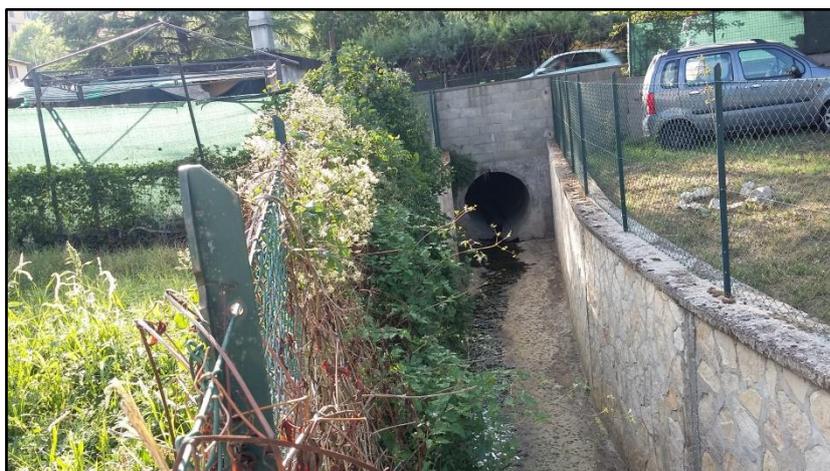


Foto sezione B – dettaglio fine tratto tuboin cls $\phi = 1500\text{mm}$ su canale artificiale

Materiale: *canale con fondo regolarizzato e sponde in pietrame con giunti stilati*

Larghezza: **2150 mm**

Altezza: **2730 mm**

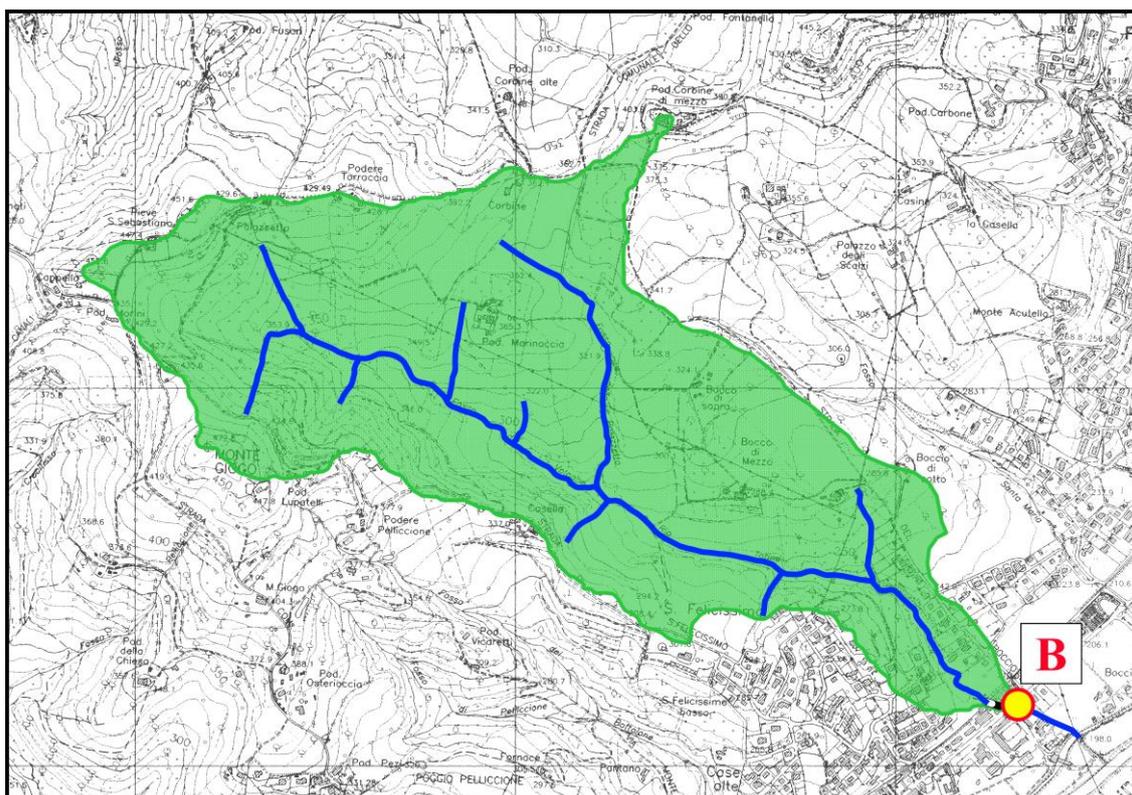
Area della sezione utile: **5.87 m²**

Pendenza locale dell'alveo: **0.010**

Coefficiente di attrito (Bazin): **45**

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: **$Q_m = 22.21 \text{ m}^3/\text{s}$**

Velocità della corrente al transito della massima portata: **$V_a = 3.78 \text{ m/s}$**



Il bacino idrografico sotteso dalla sezione B ha una superficie di **1,597 km²** ed è rappresentato in figura.

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

Tr = 50 anni	$Q_{c,50} = 4.21 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{c,200} = 7.61 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,200} < Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{c,500} = 9.99 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,500} < Q_m$

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

Classe di pericolosità: **C**

▪ **Sezione C – Sezione scatolare trapezia**

Individuata poco a valle dell'edificio oggetto della presente consulenza e dove l'alveo del Rio Tofina scorre nel suo alveo naturale, seppur obliterata dalla vegetazione, con fondo e sponde in terra e con forma trapezoidale (base minore 1.58 metri lineari, altezza 2,74 metri mineari, base maggiore 4,40 metri lineari).

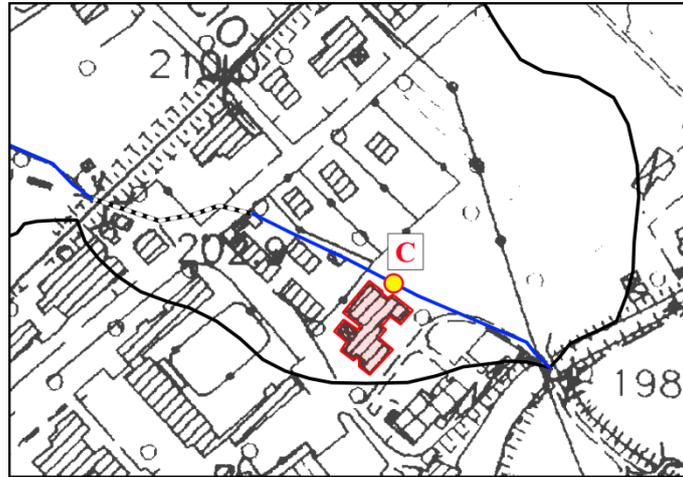


Foto sezione C vista da monte



Foto sezione C vista da valle

Materiale: *alveo naturale*

Altezza: **2740 mm**

Base maggiore: **4400 mm**

Base minore: **1580 mm**

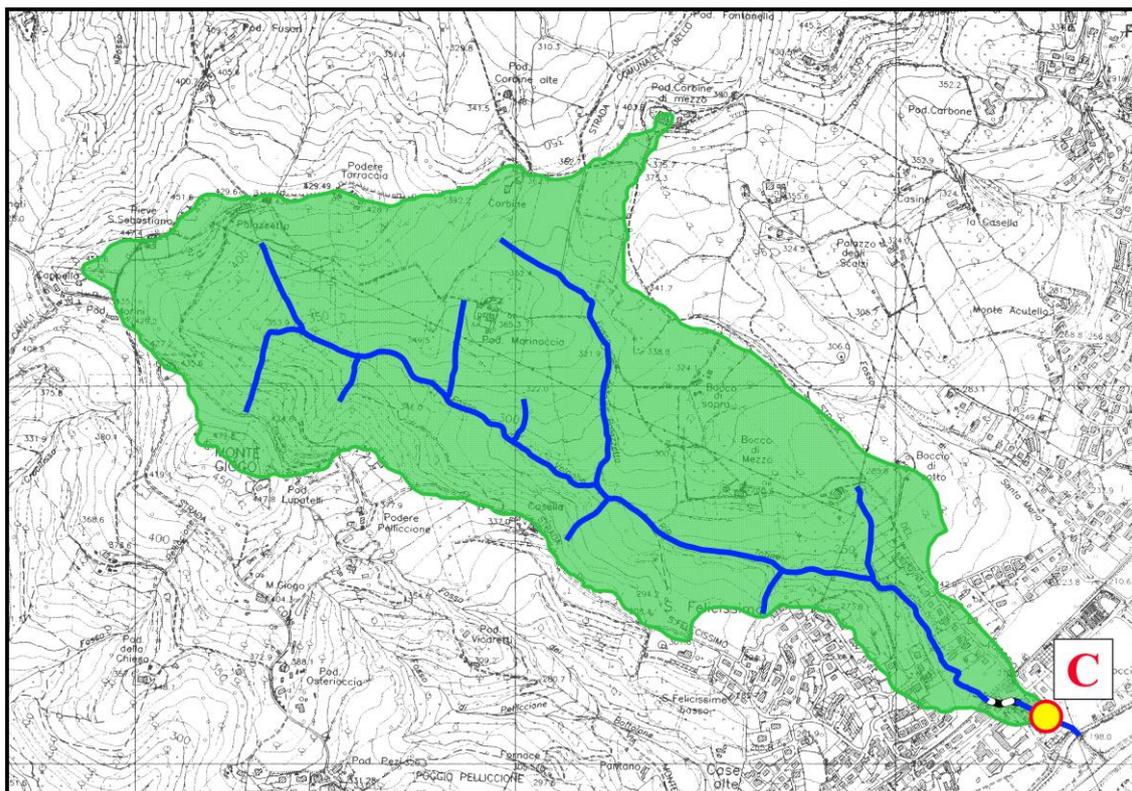
Area della sezione utile: **8.19 m²**

Pendenza locale dell'alveo: **0.010**

Coefficiente di attrito (Bazin): **10**

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: **$Q_m = 8.51 \text{ m}^3/\text{s}$**

Velocità della corrente al transito della massima portata: **$V_a = 1.04 \text{ m/s}$**



Il bacino idrografico sotteso dalla sezione C ha una superficie di **1.6094 km²** ed è rappresentato in figura.

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

Tr = 50 anni	$Q_{c,50} = 5.04 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{c,200} = 8.87 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,200} > Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{c,500} = 11.53 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,500} > Q_m$

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

Classe di pericolosità: **B**

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

	Classe di Pericolosità		
	A	B	C
Sezione A		X	
Sezione B			X
Sezione C		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):

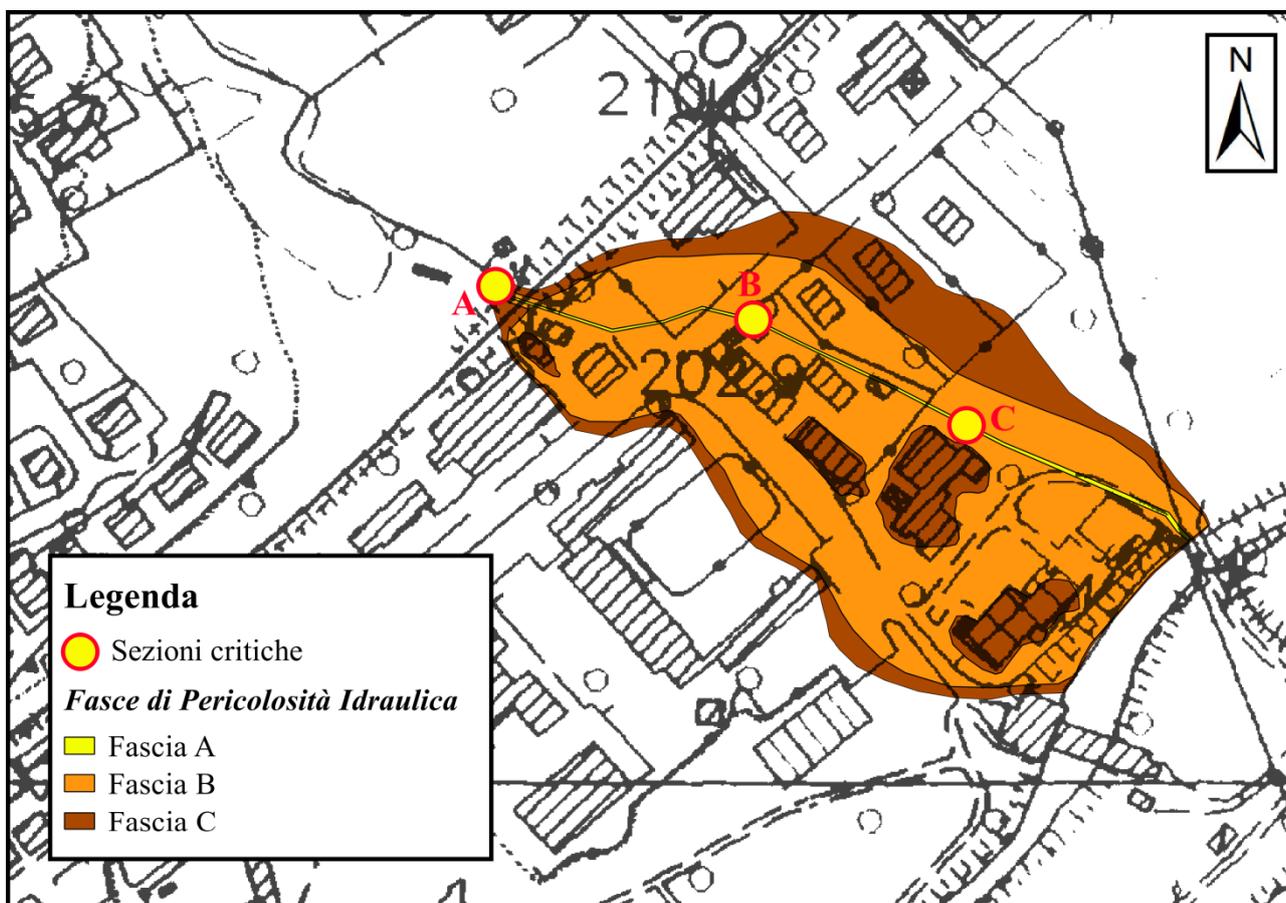


Fig. 5.2 – Mappa delle fasce di pericolosità idraulica nel bacino del Rio Tofina

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
- Linea ferroviaria
- Rete viaria e aree di parcheggio
- Aree incolte
- Orti e giardini
- Aree verdi attrezzate

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 che 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:

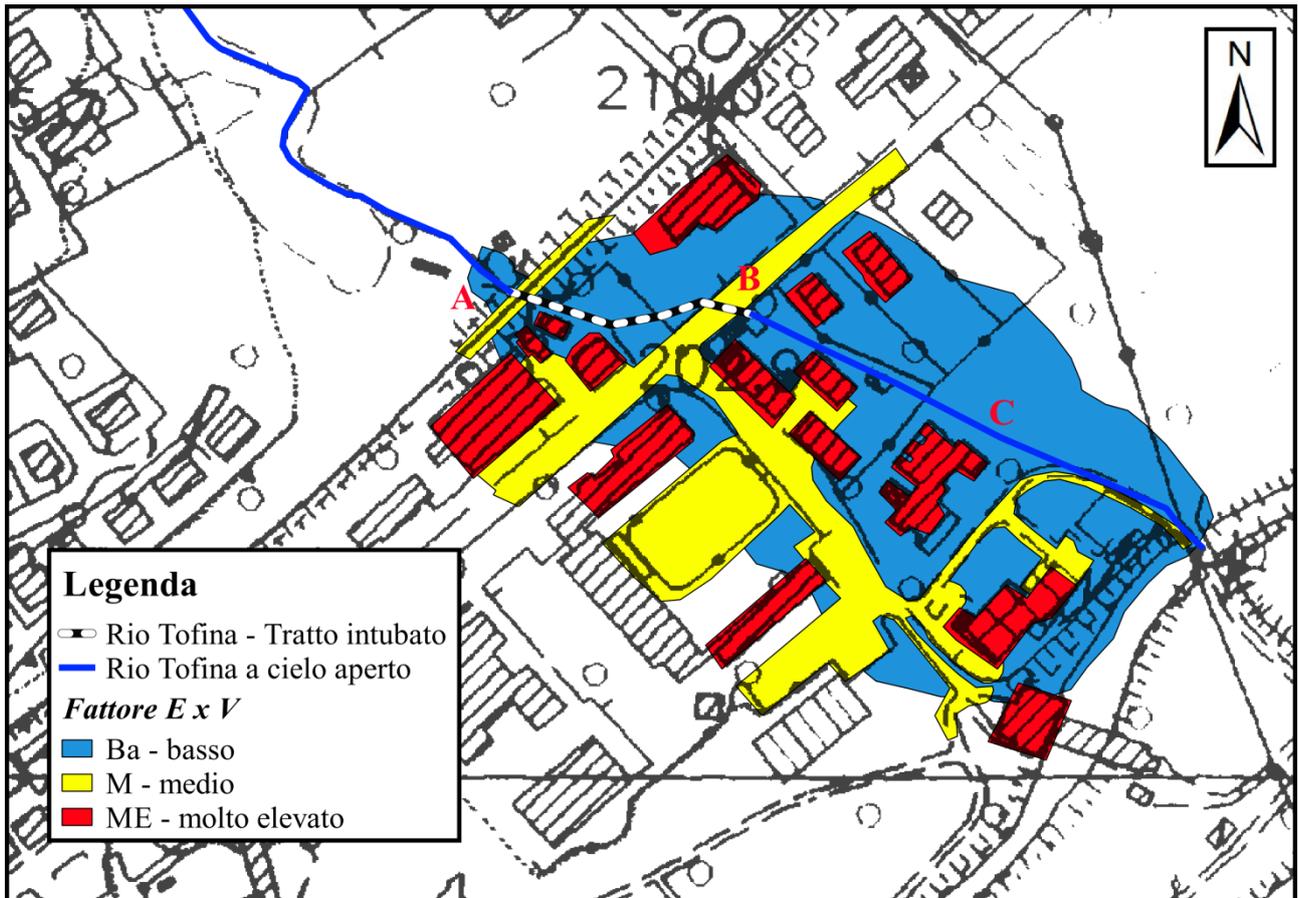


Fig. 5.3 – Mappa del parametro di esposizione e vulnerabilità nell'area d'interesse

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.

Viene 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 Rio Tofina (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	R3	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 di esposizione e vulnerabilità

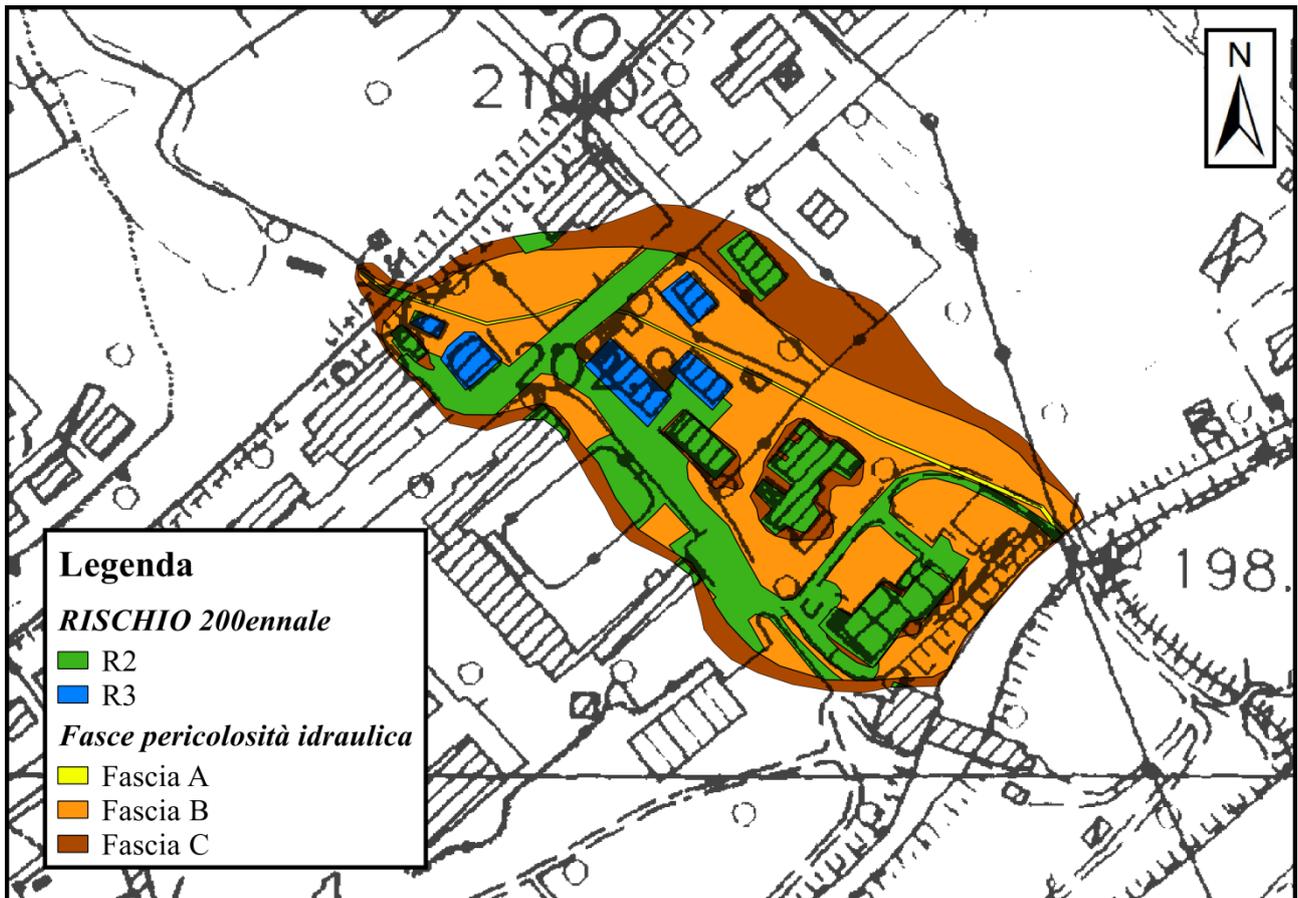


Fig. 5.4 – Mappa del rischio idraulico nel bacino del Rio Tofina

5.4. Conclusioni

L'analisi di rischio effettuata ha mostrato che l'edificio oggetto di studio (scuola dell'infanzia "Fantabosco") ricade in una classe di rischio medio (R2).

Nel corso degli anni, l'alveo ed il suolo posto nelle vicinanze allo stesso hanno subito profonde modificazioni di carattere antropico, specie nei pressi dell'abitato di Ponte Felcino ove il corso d'acqua risulta attualmente tubato per un tratto di lunghezza pari a circa 110 metri.

Tale intervento è stato individuato essere alla base della fenomenologia indagata, in quanto la dimensione degli elementi installati risulta incompatibile con il transito delle portate attese e riferite ai tempi di ritorno di 200 e 500 anni.

Di fatto, durante eventi di pioggia eccezionale le acque fuoriescono e con ogni probabilità investono via Maniconi allargandosi verso valle anche su via Trota.

È da sottolineare che all'interno dell'area considerata le condizioni di rischio idraulico sono aggravate dal fatto che il corso d'acqua come detto è per un lungo tratto intubato; questa condizione infatti, nel caso di eventi di piena con conseguente esondazione, oltre ad essere la causa principale della tracimazione del fosso non permetterebbe all'acqua fuoriuscita di rientrare all'interno della rete idrografica, 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 ultimo va detto che la manutenzione ordinaria dell'alveo naturale e della tubazione artificiale potrebbe migliorare la situazione diminuendo i coefficienti di scabrezza ed aumentando le portate massime smaltibili.

Per la valutazione e la risoluzione della problematica specifica andrà comunque effettuato uno studio approfondito e redatto un progetto dedicato.