

Novembre
2017



Analisi del rischio idraulico nel bacino idrografico del **Fosso di Vestricciano**

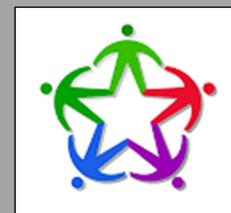


Area Risorse Ambientali, Smart City e Innovazione

Dirigente Dott. Vincenzo Piro

Dott.ssa Geol. Guendalina Antonini

Comune di Perugia – Servizio Civile Nazionale
Area Risorse Ambientali – Smart City ed Innovazione
Fagugli Giacomo
30/11/2017



SOMMARIO

1. Premessa.....	3
2. Procedura tecnica e quadro normativo di riferimento	4
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
3.5. Modello digitale del terreno	12
4. Analisi Idrologica	13
4.1. Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (L.S.P.P.)	13
4.2. Altezze di pioggia puntuali lorde.....	14
4.3. Altezze di pioggia lorde ragguagliate all'area del bacino	14
4.4. Altezze di pioggia efficaci.....	14
4.5. Durata critica delle piogge e tempi di corrivazione.....	15
4.6. Intensità di pioggia	15
5. Modellazione idraulica.....	16
5.1. Definizione del modello idraulico	16
5.1.1. Assetto geometrico del sistema.....	16
5.1.2. Opere di attraversamento	21
5.1.3. Definizione delle scabrezze e valutazione delle perdite di carico	25
5.2. Implementazione dell'idrologia del sistema.....	25
5.2.1. Condizioni iniziali e al contorno.....	25
5.2.2. Idrogrammi di piena.....	26
5.3. Delimitazione delle aree allagabili	27
6. Individuazione delle fasce fluviali.....	31
6.1. Fascia A	31
6.2. Fascia B	31
6.3. Fascia C	31
7. Individuazione dei beni esposti e valutazione della loro vulnerabilità.....	35
8. Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio.....	37
8.1. Direttive tecniche del PAI	37

1. Premessa

Il Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di bacino del fiume Tevere persegue la migliore compatibilità tra le aspettative di utilizzo e di sviluppo del territorio e la naturale dinamica idrogeomorfologica del bacino, nel rispetto della tutela dell'ambientale e della sicurezza delle popolazioni, degli insediamenti e delle infrastrutture.

Il Fosso di Vestricciano rientra nel reticolo idrografico minore del bacino del fiume Tevere, ovvero in quel sistema della rete idrografica che condiziona il deflusso delle piene di riferimento e al cui interno le residue aree alluvionali e la struttura dell'uso del suolo costituiscono un importante fattore transitorio di invasione, il cui controllo contribuisce a non aggravare le condizioni di deflusso della piena nel reticolo immediatamente sottostante.

La finalità del presente studio è quella di ottenere con criteri cautelativi una perimetrazione del pericolo idraulico da esondazione e di individuare e perimetrare i beni esposti al rischio all'interno del bacino idrografico del Fosso di Vestricciano.

Si persegue in questo modo, attraverso le norme d'uso del territorio e la programmazione delle relative azioni, l'obiettivo di conservare, difendere e valorizzare il suolo, garantendo al territorio del bacino del Fosso di Vestricciano un livello di sicurezza idraulica adeguato rispetto agli eventi storici e probabili.

2. Procedura tecnica e quadro normativo di riferimento

Il presente capitolo illustra la procedura tecnica seguita per la definizione del limite delle aree inondabili, delle fasce fluviali e delle zone di rischio nel bacino del Fosso di Vestricciano.

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 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. Lo studio di pericolosità idraulica è stato effettuato seguendo due differenti metodologie (illustrate al capitolo 5): la prima riferita al tratto montano, caratterizzato da un alveo intubato nella quale sono state effettuate verifiche idrauliche locali delle sezioni di interesse in regime di moto uniforme; la seconda, riferita al tratto vallivo, dove il corso d'acqua si presenta a cielo aperto, e dove quindi è stato possibile effettuare una modellazione idraulica del fosso come asta fluviale.
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 di Vestricciano come combinazione della pericolosità, della vulnerabilità e dell'esposizione.

3. Inquadramento generale

3.1. Inquadramento Territoriale

Il bacino idrografico del Fosso di Vestricciano si estende all'interno del territorio del comune di Perugia per una superficie di 5,22 km², ed è localizzato a sud del centro storico di Perugia (Figura 3.1 e 3.2).

Il Fosso di Vestricciano è un affluente in sinistra del Torrente Genna, con confluenza nei pressi dell'abitato di Ponte della Pietra.

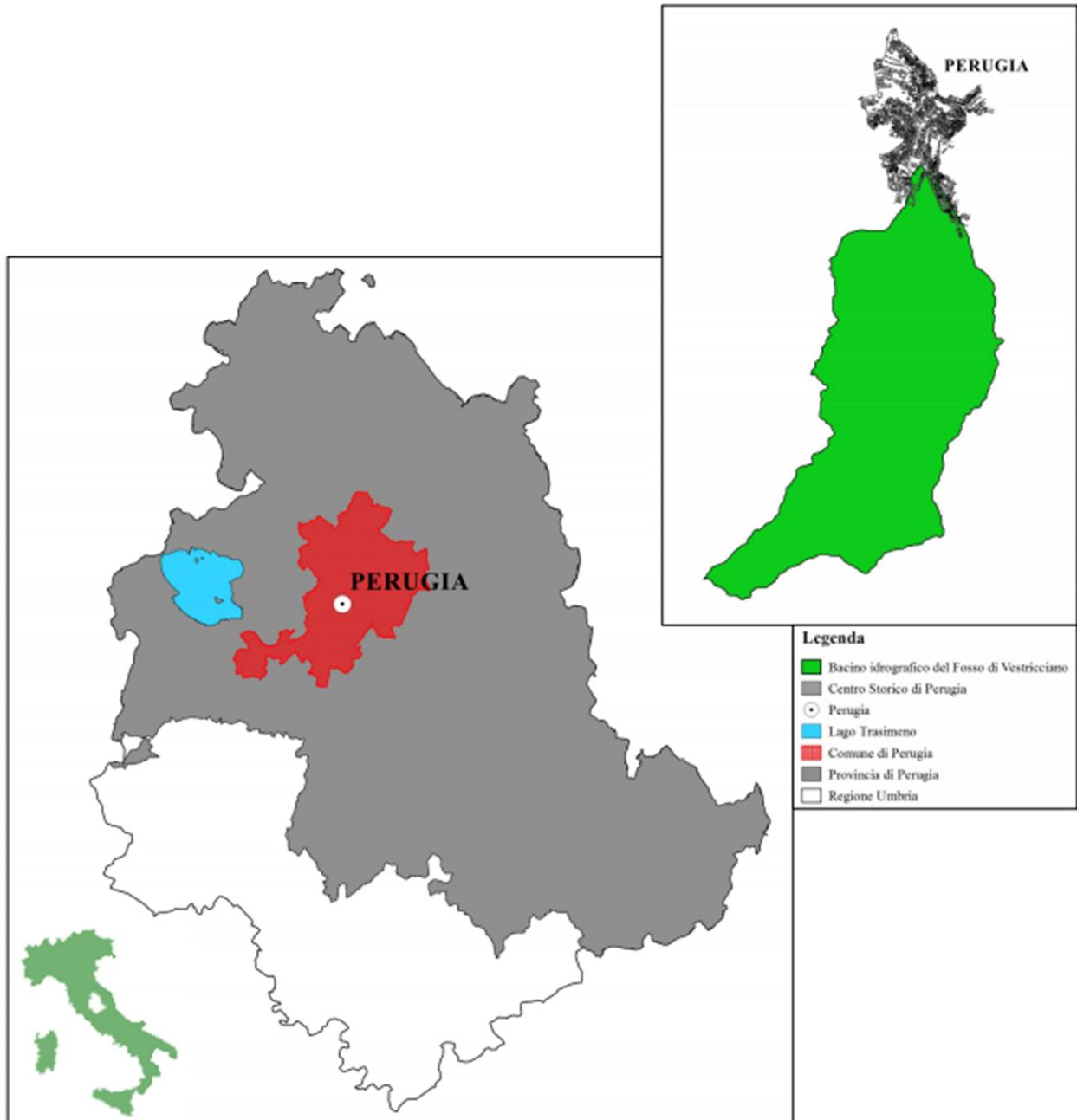


Fig. 3.1 – Posizione del bacino del Fosso di Vestricciano all'interno del Comune di Perugia; il bacino ha una superficie di 5.22 km² e si trova a Sud del Centro storico di Perugia

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 dal centro storico di Perugia, a Est dall'abitato di Montebello, a Ovest dall'area industriale di via Settevalli e a Sud dall'abitato di Vestricciano.

Il Fosso di Vestricciano nasce in prossimità delle mura urbane di Perugia in corrispondenza di Piazzale Europa e prosegue in direzione S-SW attraversando il Parco di Sant'Anna e Via della Pallotta. In questo tratto, corrispondente alla zona di testata del Fosso, il corso d'acqua è completamente intubato, data la grande densità abitativa.

Dopo aver attraversato Via della Pallotta, il Fosso di Vestricciano scorre verso valle a cielo aperto (ad eccezione di brevi tratti intubati in corrispondenza di attraversamenti stradali e ferroviari), affiancando per quasi la totalità del suo tracciato la ferrovia "Terontola-Foligno", fino alla Località San Vetturino Bassa, dove il corso d'acqua devia in direzione Ovest e dopo aver oltrepassato l'abitato di Vestricciano confluisce nel Torrente Genna.

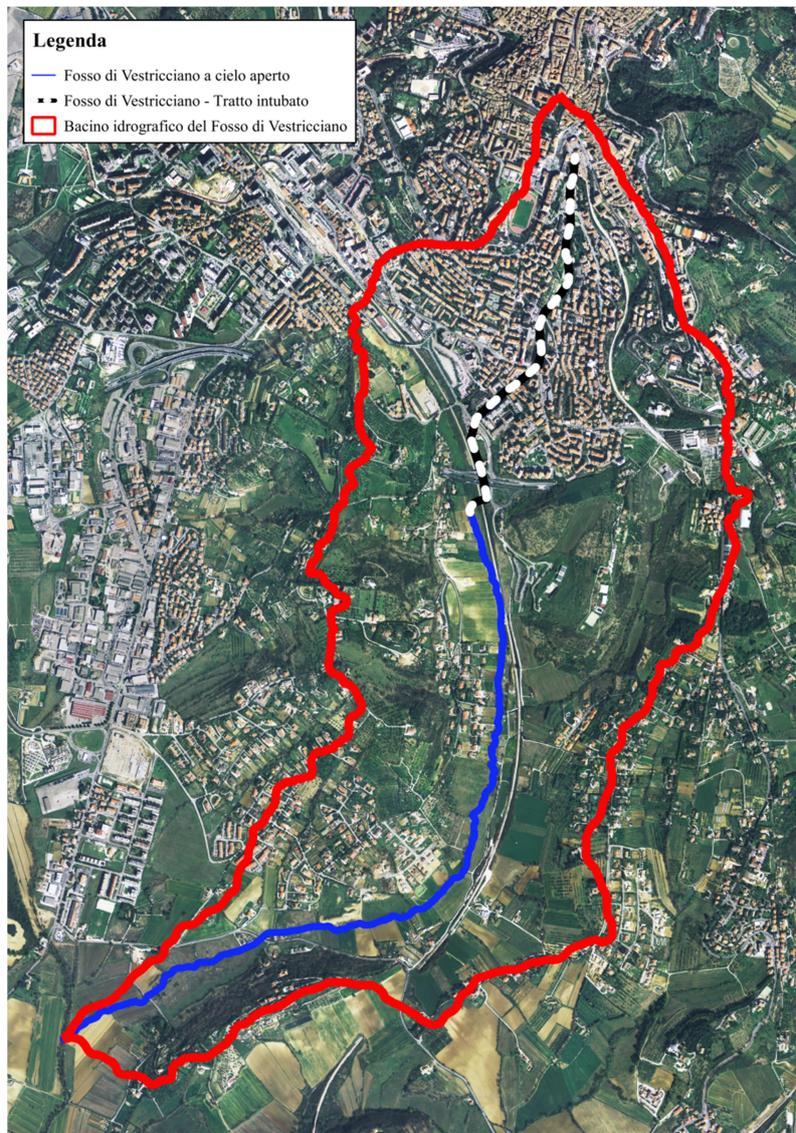


Fig. 3.2 – Inquadramento su Ortofoto del bacino idrografico del Fosso di Vestricciano

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 Tr , è stata sviluppata a partire dall'identificazione e 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 1:10000 e ortofoto in scala 1:10000;
- Bacino idrografico da carta EIRA in scala 1:10000 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.

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 in scala 1:10000 e vengono riportate in Figura 3.3.

Le percentuali delle varie litologie affioranti sono riportate in Tabella 3.1.

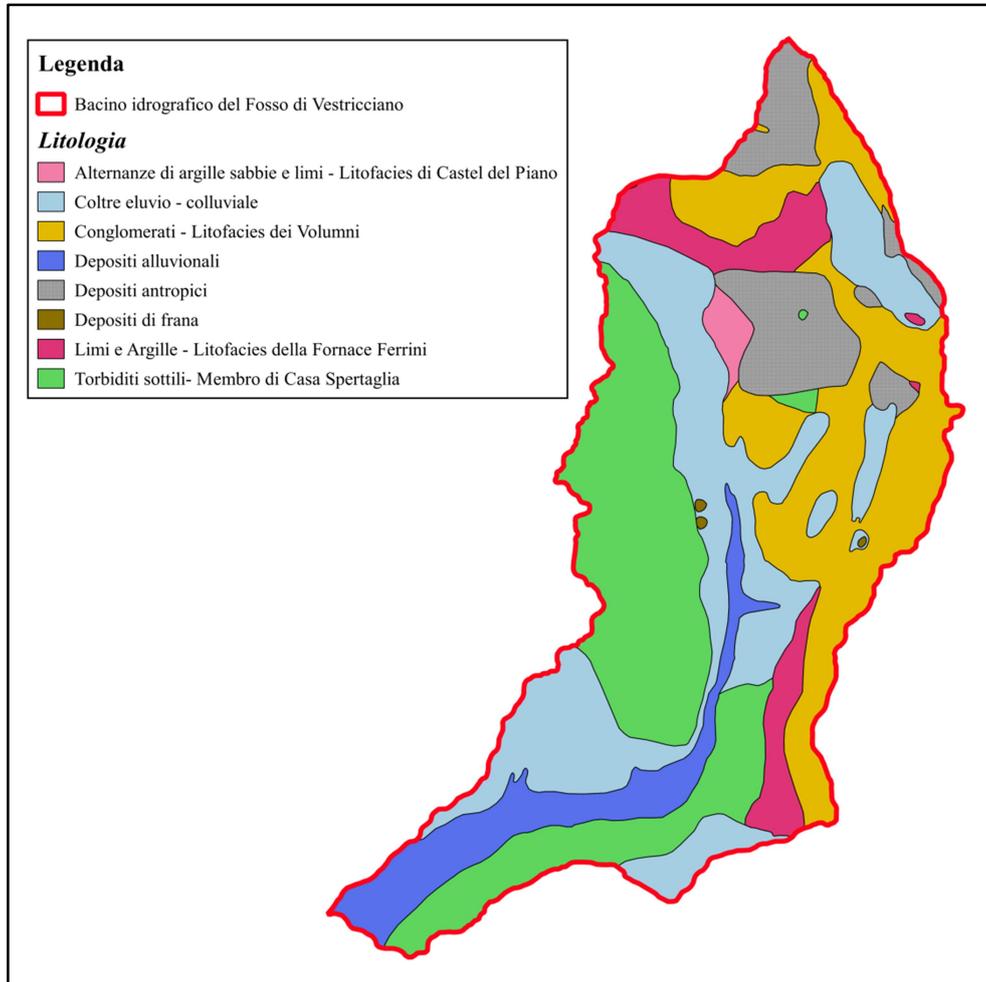


Fig. 3.3 – Bacino idrografico del Fosso di Vestricciano: litologia

Litologia	Area (%)
 Alternanze di argille sabbie e limi – Litofacies di Castel del Piano	1 %
 Coltre eluvio-colluviale	26 %
 Conglomerati – Litofacies dei Volumni	22 %
 Depositi alluvionali	8.5 %
 Depositi antropici	9.3 %
 Depositi di frana	0.1 %
 Limi argillosi – Litofacies della Fornace Ferrini	6.7 %
 Torbiditi sottili – Membro di Casa Spertaglia	26.4 %

Tab. 3.1 – Caratteristiche litologiche del bacino del Fosso di Vestricciano

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 (43.7%), le quali sono maggiormente sviluppate nei settori Nord ed Ovest del bacino idrografico, e in minoranza da aree agricole (29%) e colture specializzate (14%).

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 di Vestricciano*

Uso del suolo	Area (%)
<i>Aree urbane</i>	43.7 %
<i>Aree agricole</i>	29.1 %
<i>Pascoli - prati - incolti</i>	5.5 %
<i>Colture specializzate</i>	13.9 %
<i>Attività agricola specializzata</i>	0.2 %
<i>Aree boschive</i>	4.7 %
<i>Corridoi e formazioni arboree lineari</i>	2.9 %

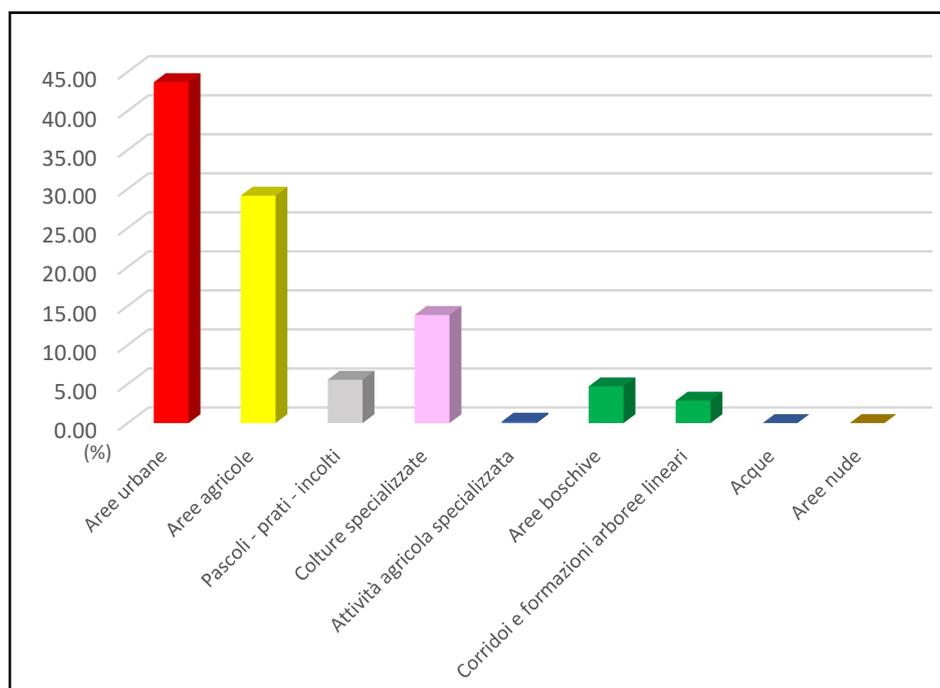


Fig. 3.4 – *Uso del suolo del bacino del Fosso di Vestricciano*

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

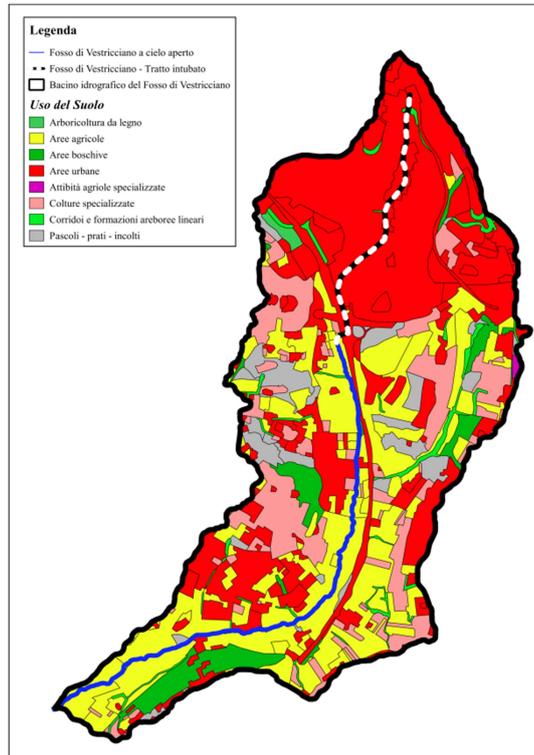


Fig. 3.5 – Bacino del Fosso di Vestricciano: uso del suolo

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).

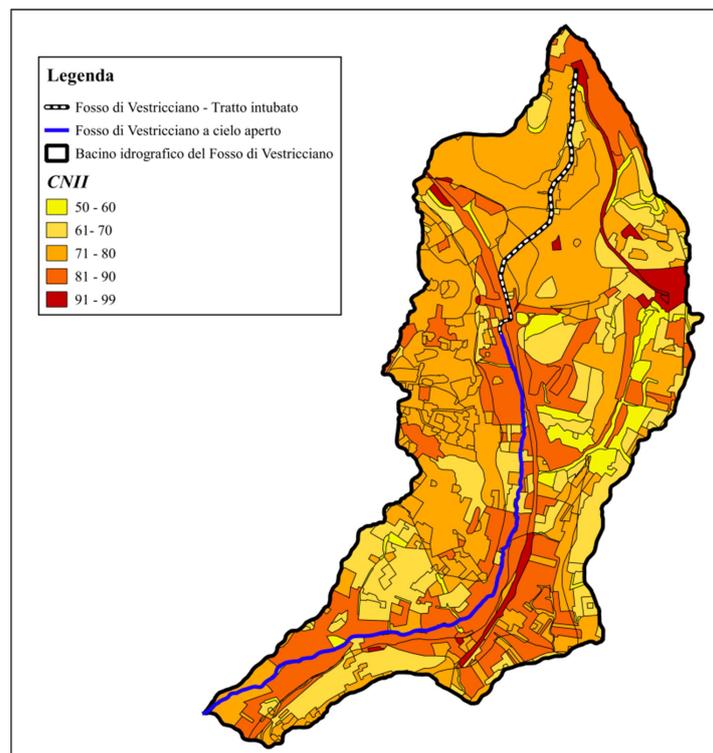


Fig. 3.6 – Bacino del Fosso di Vestricciano: Curve Number (CN) per condizioni di umidità del suolo intermedie

3.4. Rete di monitoraggio idro-pluviometrico

La rete idro-pluviometrica presente nell'area del bacino del Fosso di Vestricciano è mostrata in Figura 3.7. Nelle vicinanze della zona in esame sono localizzate 3 stazioni pluviometriche. Le principali caratteristiche della rete di monitoraggio sono sintetizzate in Tabella 3.3.

Tab. 3.3 – Caratteristiche delle stazioni di monitoraggio presenti in prossimità del bacino del Fosso di Vestricciano

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

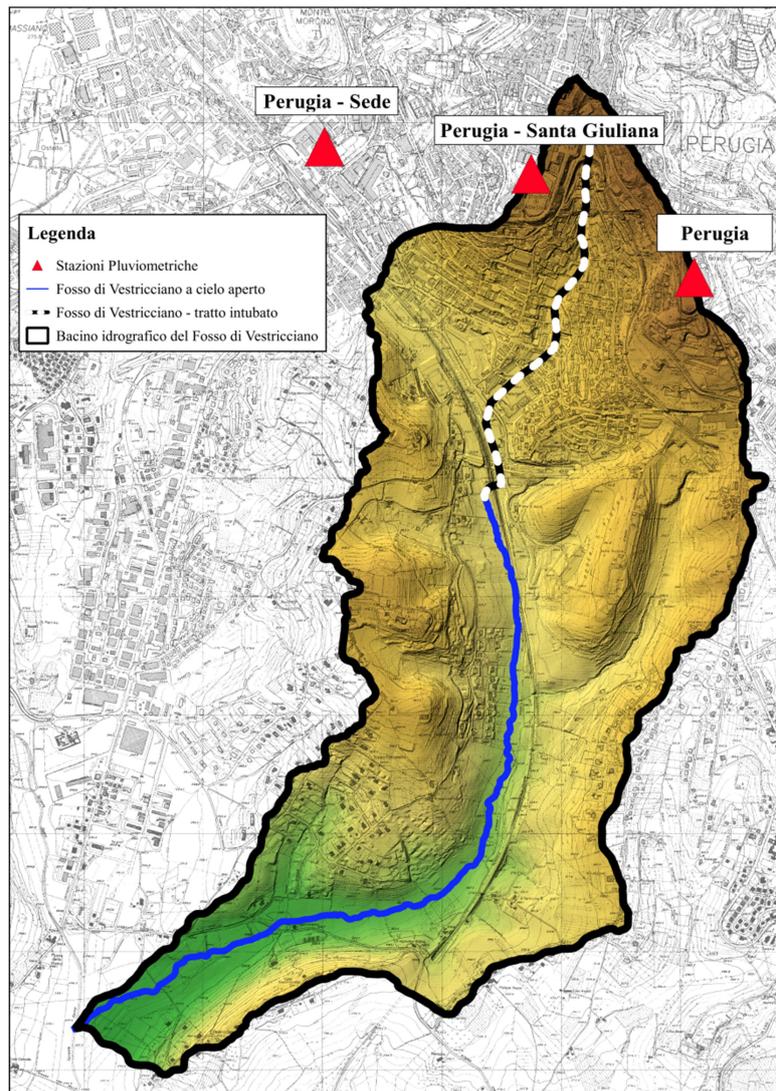


Fig. 3.7 – Bacino del Fosso di Vestricciano: stazioni pluviometriche presenti nelle vicinanze delle zona in esame

3.5. Modello digitale del terreno

Per lo studio e la modellazione idraulica del Fosso di Vestricciano è stato utilizzato un modello digitale del terreno di risoluzione 3 m x 3 m che è stato acquisito dalla Regione Umbria.

La Regione ha ottenuto il suddetto modello digitale del terreno effettuando un rilievo laser-scanning; tale rilievo è consistito nell'acquisizione di punti georeferenziati con densità $> 0,1$ punti/m².

Il sistema di riferimento planimetrico è quello UTM33-WGS84 mentre le quote sono riferite all'ellissoide Geodetic Reference System 1980 (GRS80). (Figura 3.8)

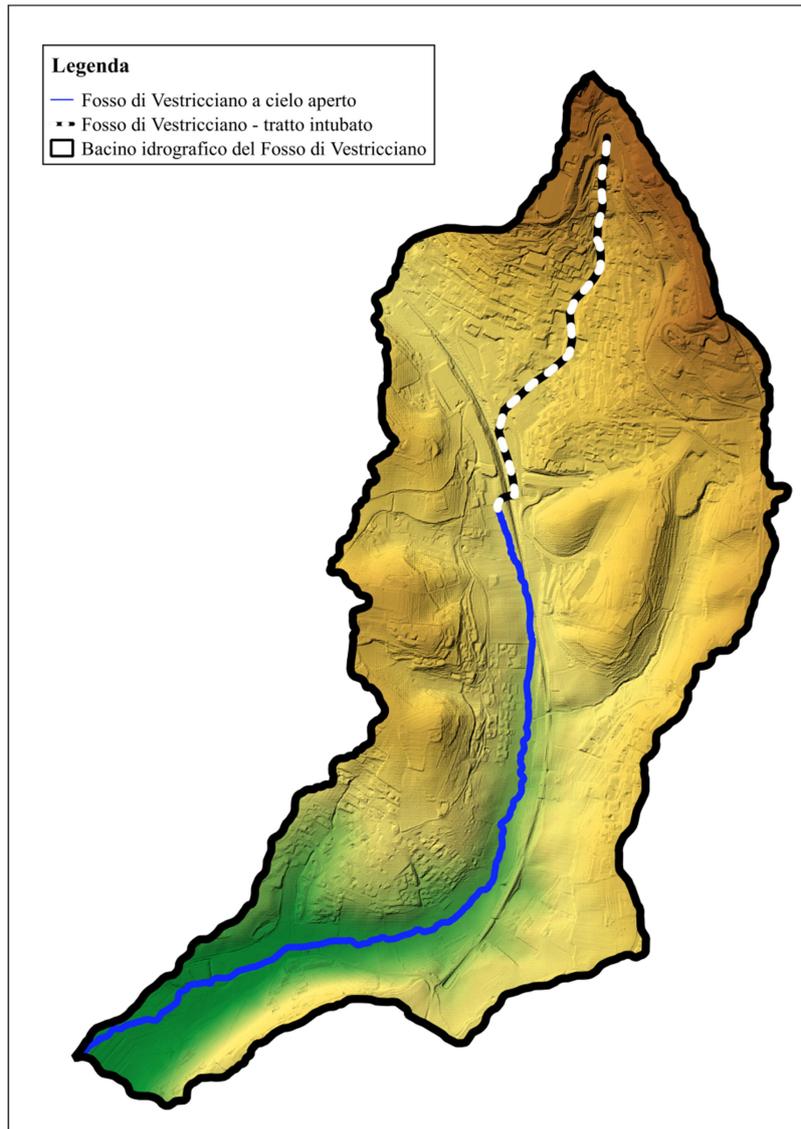


Fig. 3.8 – DEM 3x3 metri del bacino idrografico del Fosso di Vestricciano

4. Analisi Idrologica

La metodologia di calcolo adottata per la valutazione delle portate al colmo 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

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 breve ed intensa.

Nel paragrafo 3.4 si è menzionato come nelle immediate vicinanze del bacino in esame sono localizzate diverse stazioni pluviometriche; tra queste si è scelto di far riferimento alla stazione pluviometrica di Perugia in quanto è quella che presenta la serie storica di dati più significativa.

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

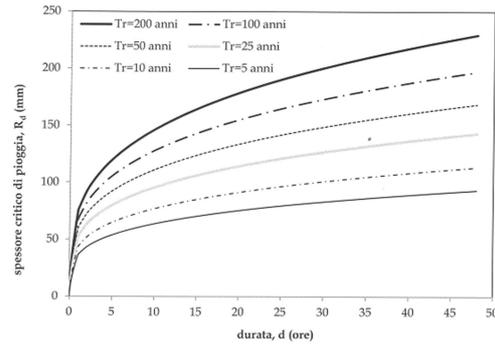
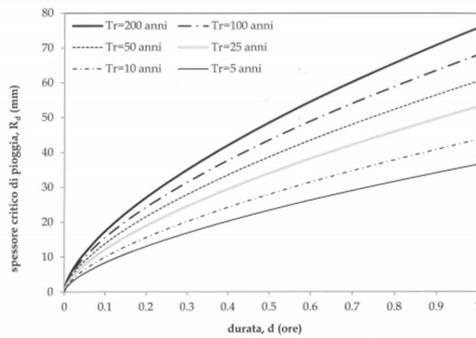
Tab. 4.1 – Parametri delle LSPP per la stazione pluviometrica di Perugia, rappresentativa dell’area del bacino del Fosso di Vestricciano

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:

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

$R_d(T_r) = ad^b$ (in mm) valida nell'intervallo di durate: $1 \text{ ora} < d \leq 48$ 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 $< 10 \text{ km}^2$; si riporta inoltre la formulazione proposta da Giandotti per bacini di superficie $> 10 \text{ km}^2$.

Formula di Giandotti:

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

Dove:

- **S** = area del bacino in km^2
- **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 km^2
- **i** = pendenza media dell'asta fluviale

4.6. Intensità di pioggia

Le intensità di pioggia, netta e raggugiata, 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. Modellazione idraulica

5.1. Definizione del modello idraulico

La modellazione idraulica del Fosso di Vestricciano è stata effettuata mediante un'analisi in moto vario attraverso il software Hec-Ras (River Analysis System) sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center.

Per la risoluzione delle equazioni che descrivono il moto delle acque nei corpi idrici superficiali, basate sui concetti classici di conservazione della massa (equazione di continuità), e della quantità di moto (equazioni della quantità di moto) o dell'energia (teorema di Bernoulli), il solutore di Hec-Ras per il moto vario adotta un metodo alle differenze finite.

Si è sfruttata la possibilità offerta dal software Hec-Ras di eseguire una modellazione in moto vario con schema monodimensionale (1D) combinato con uno schema bidimensionale puro (2D) con l'aggiunta di aree 2D nel modello per la corretta modellazione del sistema (alveo pensile e zone golenali a quote inferiori alle quote di fondo alveo).

5.1.1. Assetto geometrico del sistema

Lo sviluppo plano-altimetrico del corso d'acqua è stato ottenuto ricorrendo alla base cartografica DTM con risoluzione spaziale di 3 m, messa a disposizione dalla Regione Umbria, integrata da rilievi topografici di dettaglio di sezioni trasversali estese lungo l'asta principale.

Il Fosso di Vestricciano ha una lunghezza complessiva di circa 3,6 km, con la sezione al contorno di monte posta a valle del raccordo autostradale 6 Bettolle-Perugia, in corrispondenza dell'uscita Prepo, ad una quota di circa 300 metri s.l.m. e quella di valle ubicata in corrispondenza della confluenza con il Torrente Genna.

Nessuno tra gli affluenti presenti è stato considerato significativo ai fini della modellazione idraulica, pertanto il sistema è stato modellato come singola asta corrispondente all'asta principale del Fosso di Vestricciano.

Le sezioni rilevate sono state georeferenziate in maniera tale da rendere possibile la sovrapposizione a qualunque tipo di cartografia o elemento georeferenziato; le sezioni sono state riferite a un sistema di coordinate planimetriche Projected coordinate system for Italy EPSG: 3004 (fuso est) – Monte Mario/Italy 2 e coordinate altimetriche geodetiche.

Complessivamente sono state rilevate in campagna 39 sezioni tramite l'utilizzo di una coppia di triplometri (Figura 5.1)

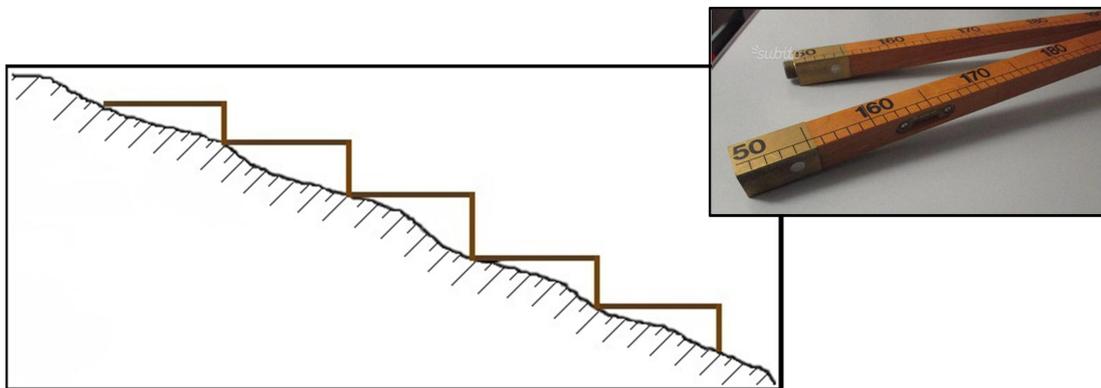
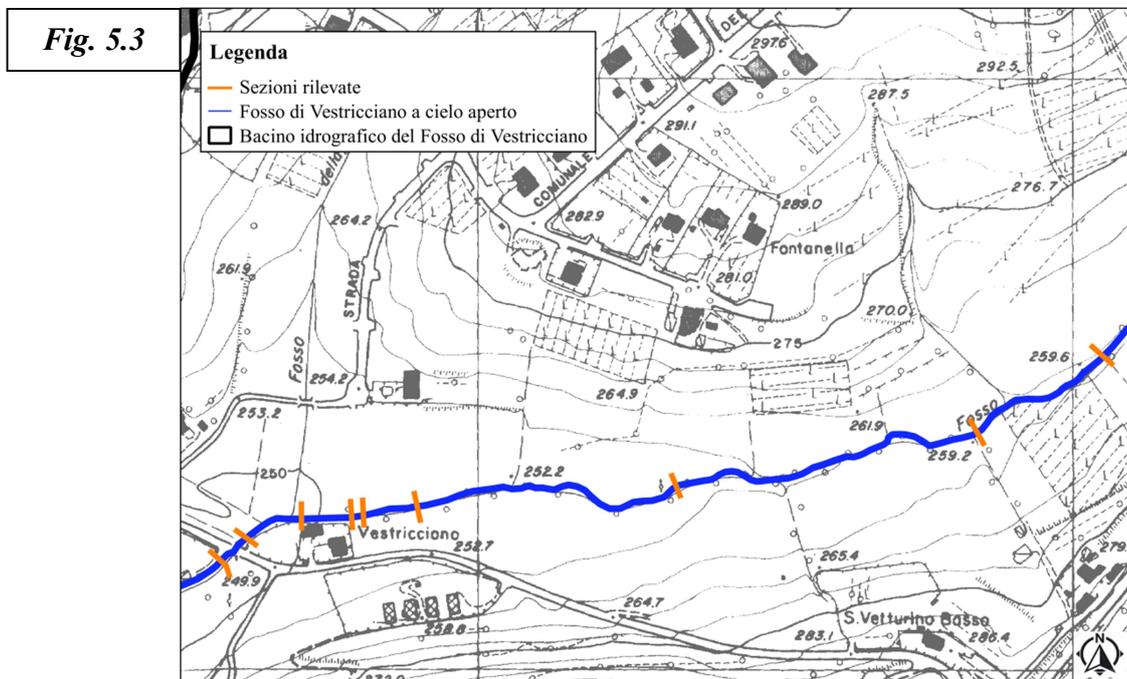
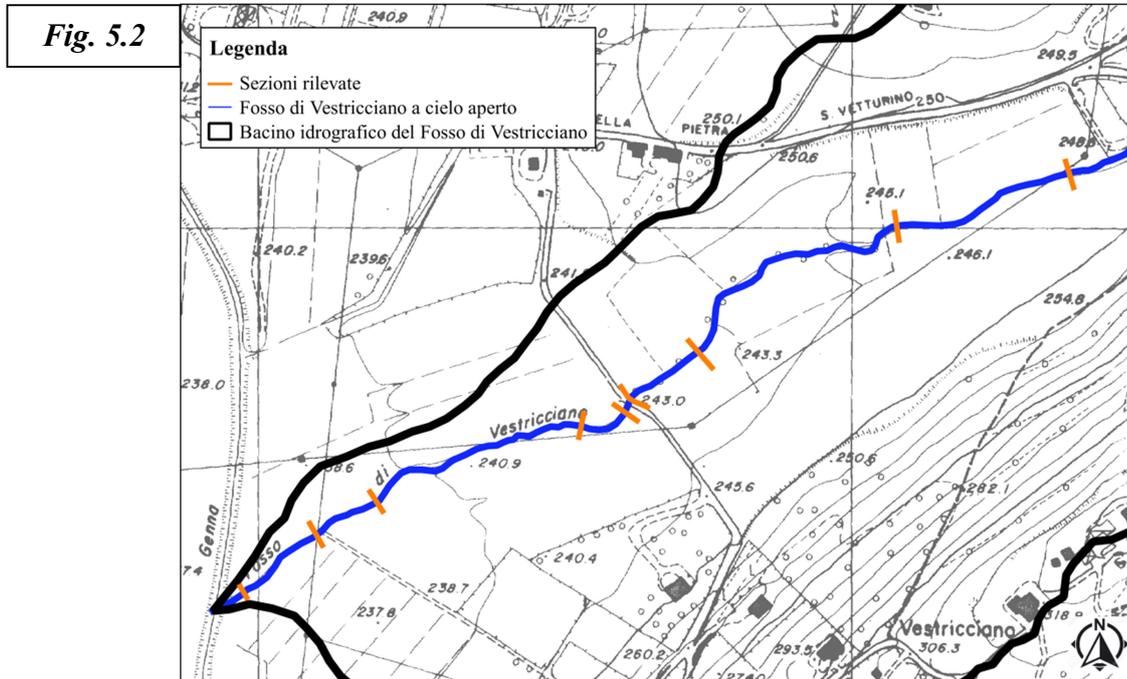


Fig. 5.1 – Triplometro e sua modalità di utilizzo per il rilievo topografico

Le sezioni sono state rilevate con una media di 1 sezione ogni 90 metri.

Le Figure dalla 5.2 alla 5.5 disposte in progressione dal punto di confluenza con il Torrente Genna verso monte, mostrano la posizione delle sezioni rilevate in campagna.



La geometria di ulteriori 32 sezioni (la cui posizione è rappresentata in verde chiaro nella Figura 5.6) è stata poi creata per interpolazione tra sezioni contigue mediante il Tool “XS interpolation” implementato nel codice di calcolo, diminuendo così la distanza tra due sezioni di calcolo successive e rendendo così più stabile la fase computazionale.

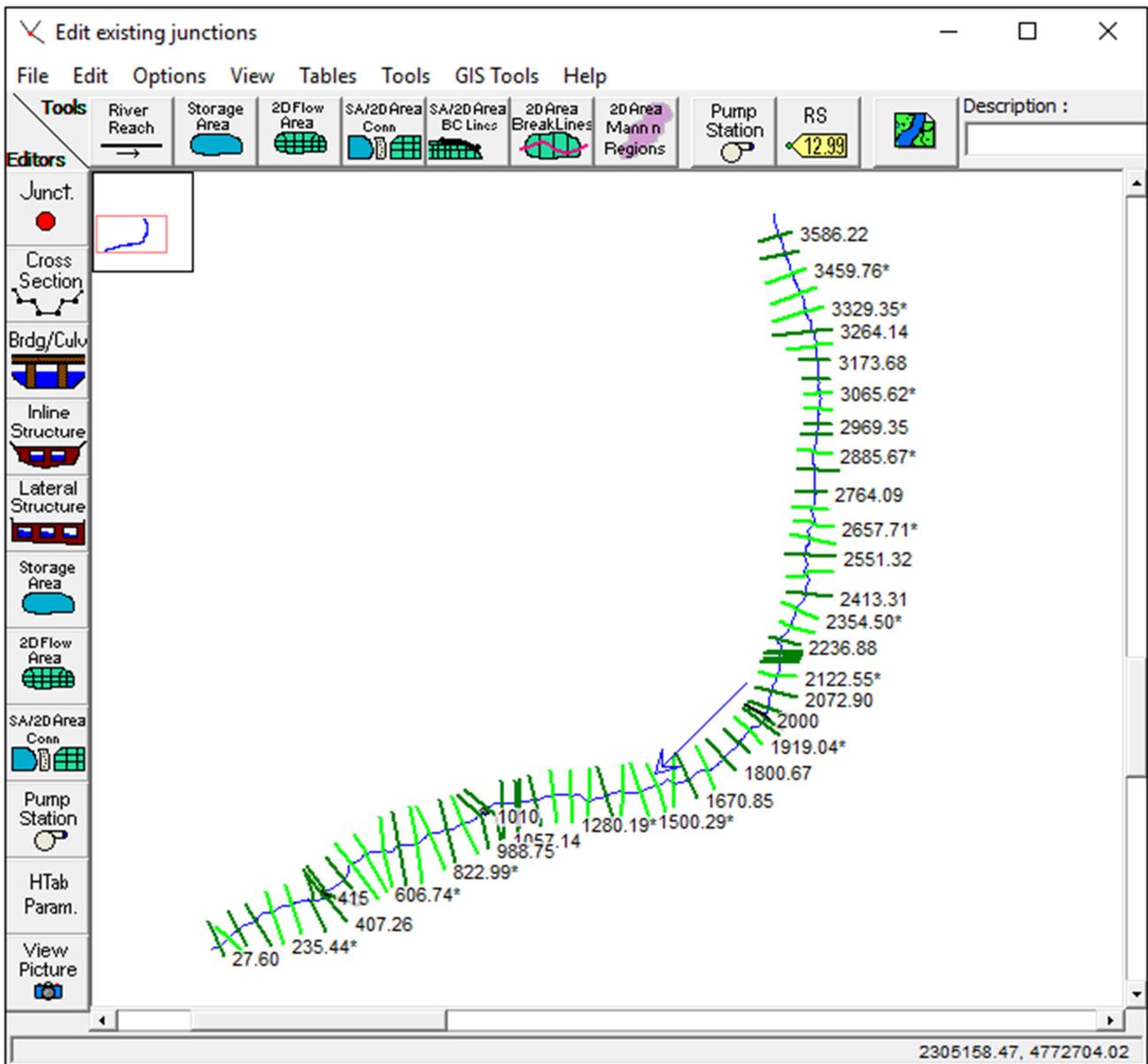


Fig. 5.6 – Individuazione sezioni interpolate mediante “XS interpolation” (verde chiaro) e delle sezioni rilevate in campagna (verde scuro)

Come detto precedentemente, la particolare configurazione del sistema ha reso necessaria una modellazione con schema monodimensionale (1D) combinato con uno schema bidimensionale puro (2D).

Le sezioni trasversali nella zona pedemontana e nella zona di valle sono state definite mediante la sola geometria del canale principale, le zone golenali sono state modellate mediante l'inserimento di elementi del tipo "2d Flow Area" e i rilevati arginali attraverso elementi di tipo "Lateral Structure" (le equazioni di continuità e di conservazione della quantità di moto vengono risolte numericamente per i flussi separati – canale principale e aree 2d – che si scambiano acqua attraverso le strutture laterali).

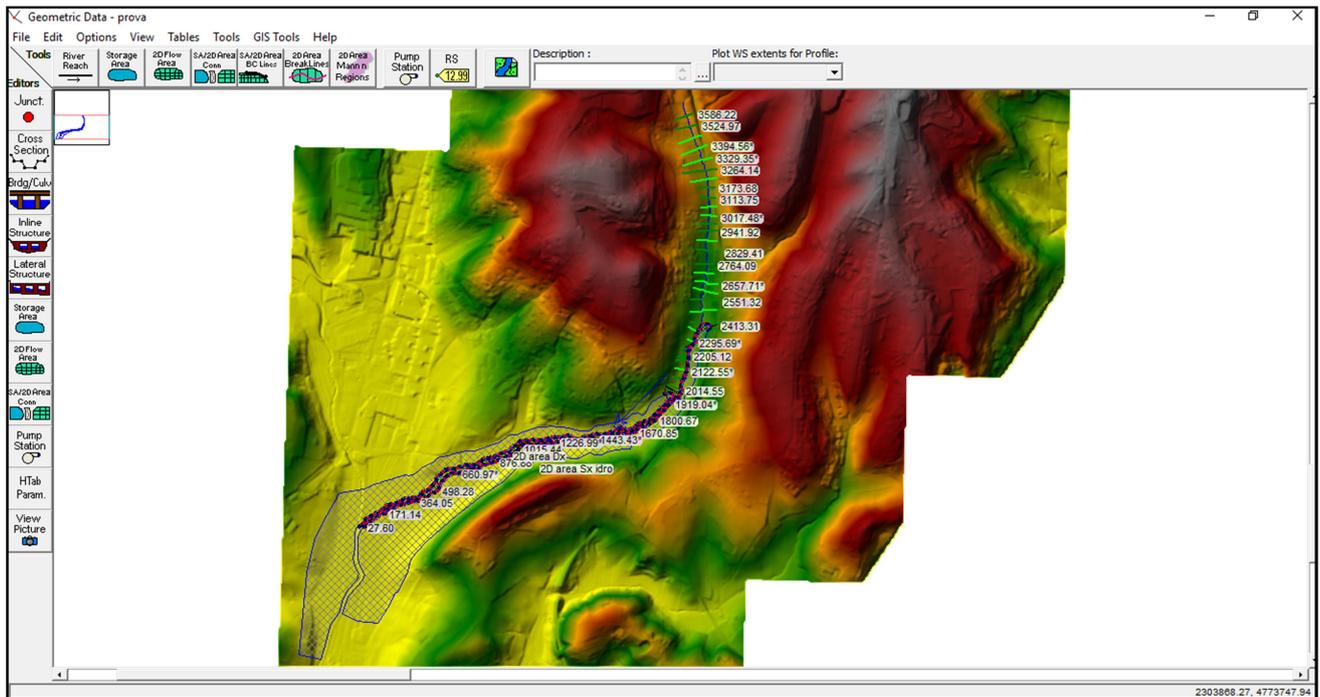


Fig. 5.7 – Definizione degli elementi geometrici del modello

Per lo stramazzo dell'acqua al di sopra dei rilevati arginali si è modellata la soglia arginale come soglia del tipo "Broad crested"

Per le aree 2d la mesh di calcolo è stata generata con celle di dimensioni medie 15 x 15 metri.

5.1.2. Opere di attraversamento

Lungo il Fosso di Vestricciano è stata riscontrata la presenza di tre opere di attraversamento (Figura 5.8).

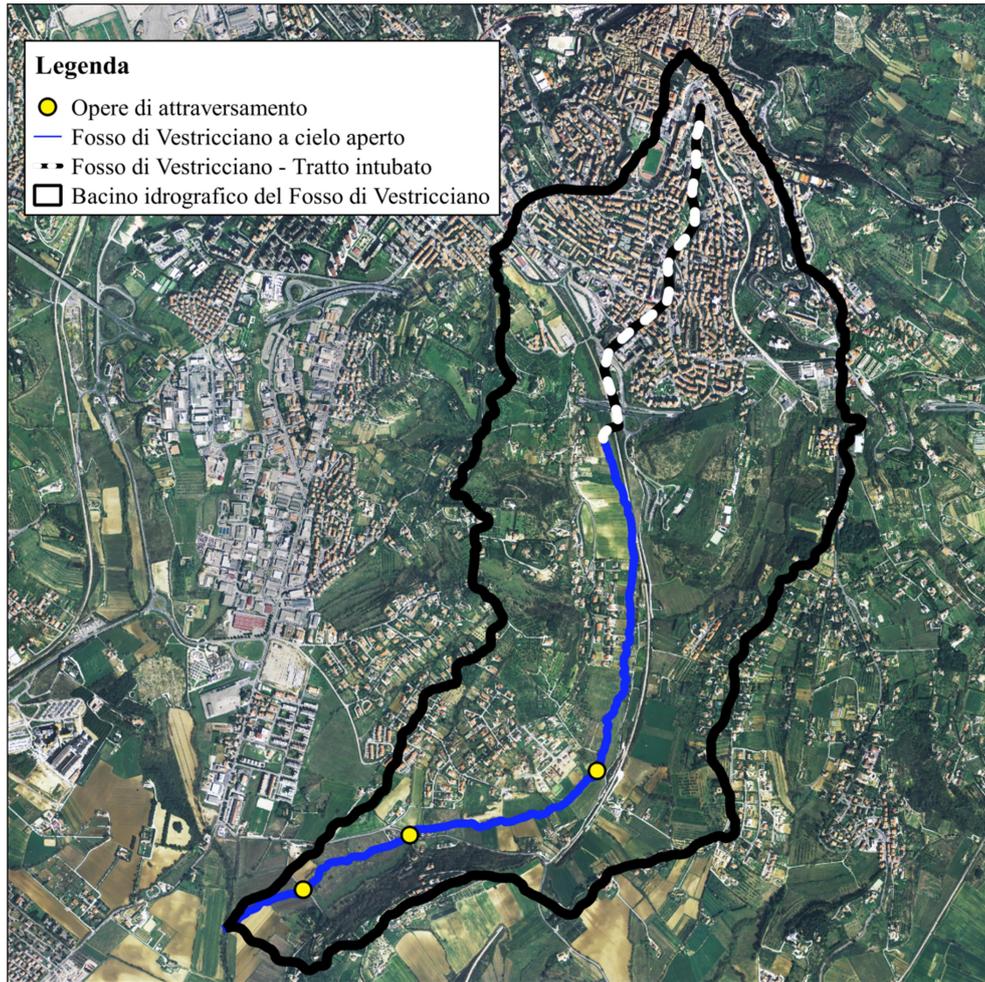


Fig. 5.8 – Individuazione opere di attraversamento stradale nel bacino idrografico del Fosso di Vestricciano

Di questi tre attraversamenti, due sono stati modellati come elementi “Bridge”, mentre il terzo è stato modellato come elemento “In line structure - Culvert”, definendo le geometrie e i parametri idraulici utili per l’analisi in moto vario.

Di seguito si riportano i risultati della modellazione degli attraversamenti stradali:

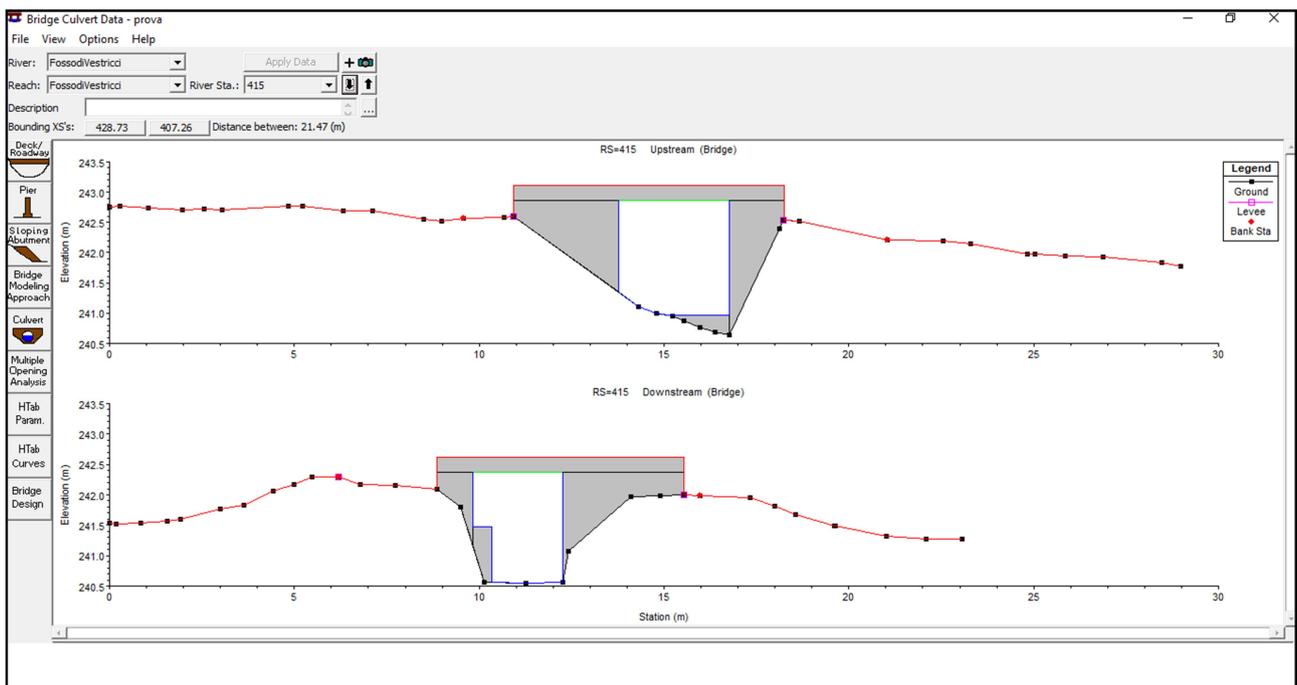
➤ **Bridge 1** → *Attraversamento stradale in Strada Vestricciano-Genna*



Bridge 1 da monte



Bridge 1 da valle



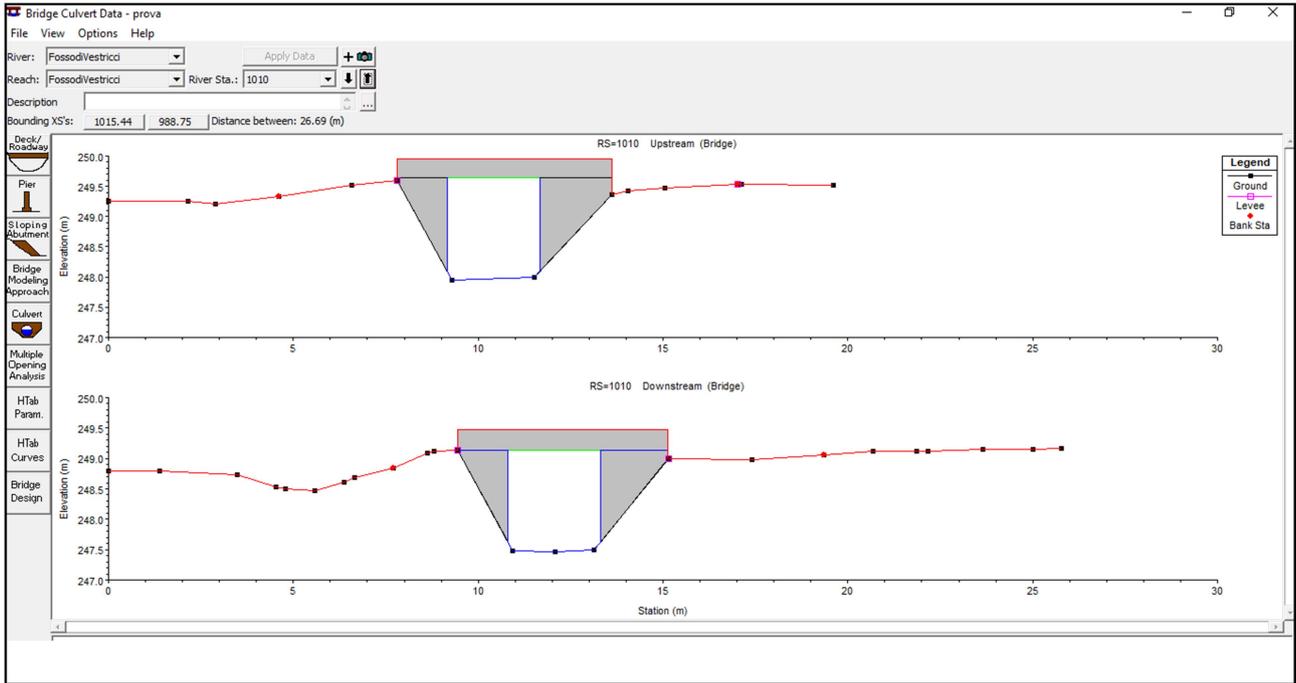
➤ **Bridge 2** → Attraversamento stradale in SP 344



Bridge 2 da monte



Bridge 2 da valle



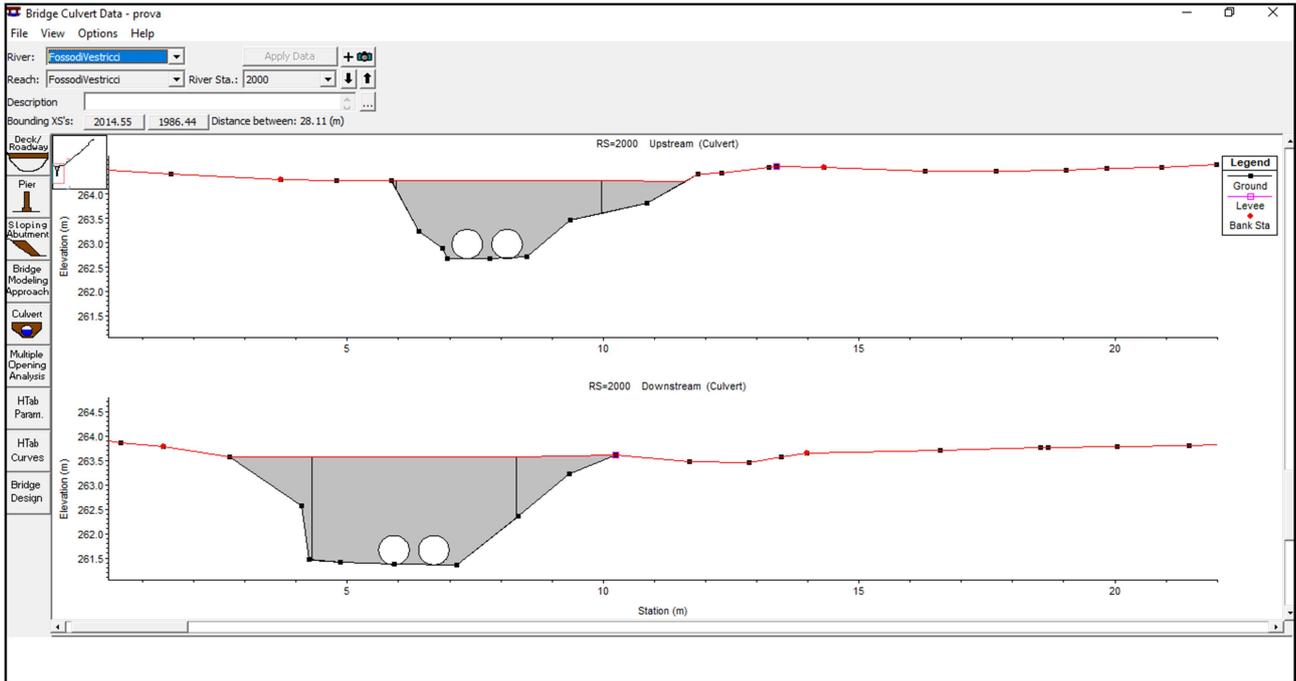
➤ **Culvert 1** → Attraversamento stradale in Strada Fosso dell'Infernaccio



Culvert 1 da monte



Culvert 1 da valle



5.1.3. Definizione delle scabrezze e valutazione delle perdite di carico

Nel processo di trasferimento dell'onda di piena si hanno perdite di carico concentrate e perdite di carico distribuite.

Le perdite di carico concentrate si hanno soprattutto in corrispondenza di ostacoli al deflusso, ovvero nel caso di ponti e altre particolarità idrauliche. Le perdite di carico sono calcolate come somma delle perdite dovute alla contrazione e all'espansione del flusso rispettivamente a monte e a valle della struttura e della perdita in corrispondenza della struttura, mediante i parametri idraulici opportunamente assegnati nell'implementazione delle opere di attraversamento.

Per la determinazione delle perdite di carico distribuite l'equazione di Chezy è risolta tenendo conto delle scabrezze locali. Le scabrezze per il canale principale sono state definite assegnando valori del coefficiente di Manning da letteratura scientifica; per quanto riguarda le aree 2d, è stato preventivamente digitalizzato un layer di tipo "Land Cover" potendo così associare ad ogni cella di calcolo un valore di scabrezza dipendente dall'uso del suolo.

5.2. Implementazione dell'idrologia del sistema

Per la modellazione del fenomeno di propagazione dell'onda di piena, una volta definita la geometria del sistema e le sue caratteristiche idrauliche, è quindi necessario implementare l'idrologia in termini di portate attese in ingresso, condizioni iniziali e al contorno.

5.2.1. Condizioni iniziali e al contorno

Per la sezione a monte del tratto fluviale si è assegnata una condizione al contorno corrispondente all'idrogramma di piena in ingresso discusso al paragrafo successivo; la condizione iniziale corrisponde a quella del primo step temporale dell'idrogramma.

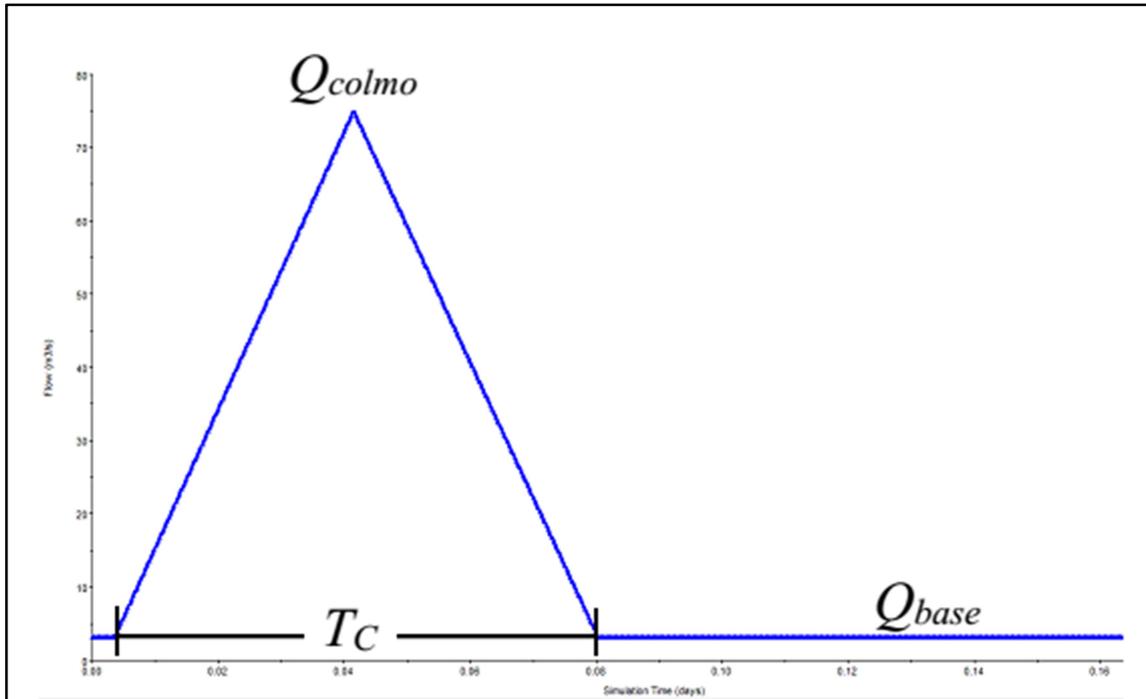
Per la condizione al contorno alla sezione di valle si è operato in accordo alle norme tecniche d'attuazione del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico, secondo le quali la condizione di confluenza con il reticolo idrografico principale oggetto di analoghi studi idraulici deve essere risolta prendendo a riferimento il livello idrico relativo alla piena con tempo di ritorno immediatamente inferiore (o lo stesso tempo di ritorno per la piena con tempo di ritorno pari a 50 anni).

Si è assegnata quindi la condizione di "Stage Hydrograph" per tutta la durata dell'evento con i seguenti livelli idrici:

<i>Evento di piena modellato</i>	<i>Livello idrico di riferimento del Torrente Genna alla sezione di confluenza con il Fosso di Vestricciano</i>
Tr = 50 anni	Tr = 50 anni → 238.557 m s.l.m.
Tr = 200 anni	Tr = 100 anni → 238.804 m s.l.m.
Tr = 500 anni	Tr = 200anni → 238.995 m s.l.m.

5.2.2. Idrogrammi di piena

Come idrogrammi di piena in ingresso si sono considerati idrogrammi di tipo triangolare come in figura, con base pari al tempo di corrivazione del bacino, portate al colmo valutate con la metodologia al capitolo 4, portata di base pari al deflusso minimo corrispondente ad una portata di magra.



5.3. Delimitazione delle aree allagabili

Come risultato della modellazioni idraulica si possono individuare le linee rappresentative delle quote massime assolute di pelo libero della piena di riferimento e si possono quindi definire le curve di inviluppo delle aree inondate dalla piena di riferimento.

Di seguito si riportano le tavole dove vengono illustrate le aree allagabili per tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.



Comune di Perugia



Servizio Civile Nazionale

Redazione delle mappe di allagabilità finalizzata all'individuazione del rischio idraulico

Fosso di Vestricciano

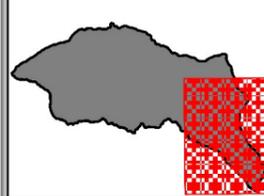
Aree allagabili
Tempo di ritorno 50 anni

Allegato
1

Tavola
1.1

Scala
1:6000

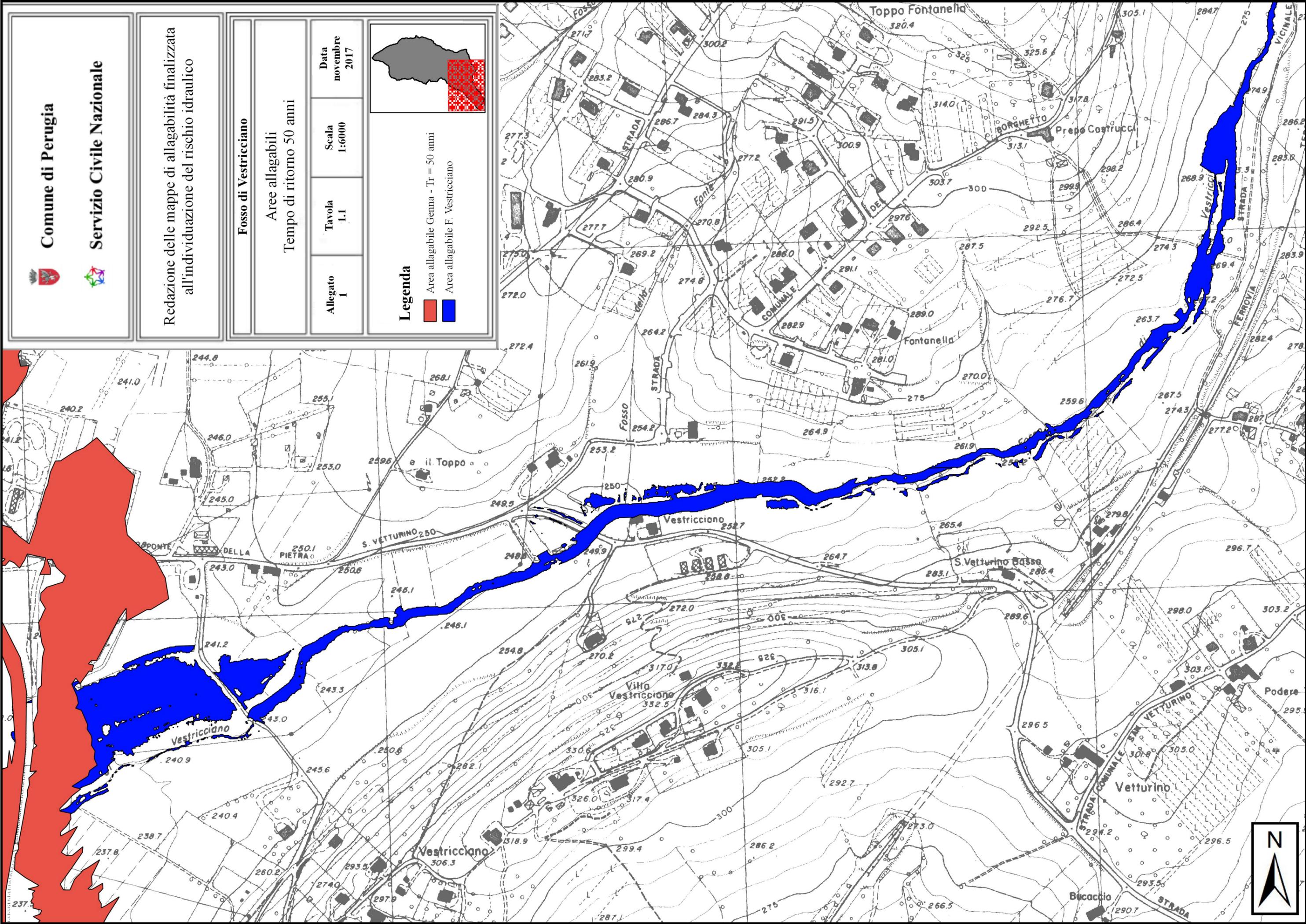
Data
novembre
2017



Legenda

 Area allagabile Genna - Tr = 50 anni

 Area allagabile F. Vestricciano





Comune di Perugia



Servizio Civile Nazionale

Redazione delle mappe di allagabilità finalizzata all'individuazione del rischio idraulico

Fosso di Vestricciano

Aree allagabili

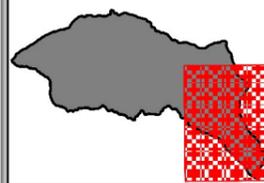
Tempo di ritorno 200 anni

Allegato 1

Tavola 1.2

Scala 1:6000

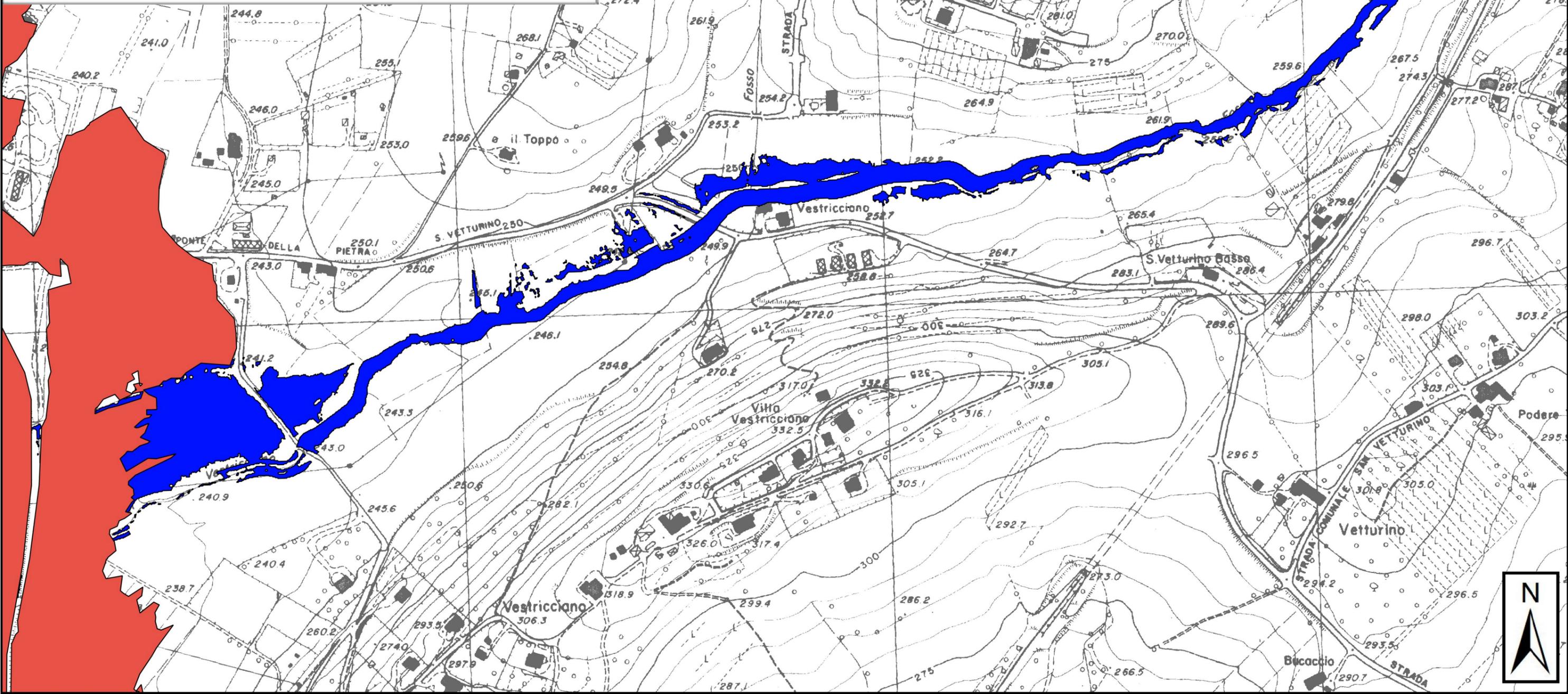
Data novembre 2017



Legenda

Area allagabile Genna - Tr = 100 anni

Area allagabile F. Vestricciano





Comune di Perugia



Servizio Civile Nazionale

Redazione delle mappe di allagabilità finalizzata all'individuazione del rischio idraulico

Fosso di Vestricciano

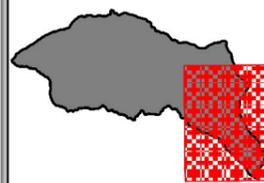
Aree allagabili
Tempo di ritorno 500 anni

Allegato
1

Scala
1:6000

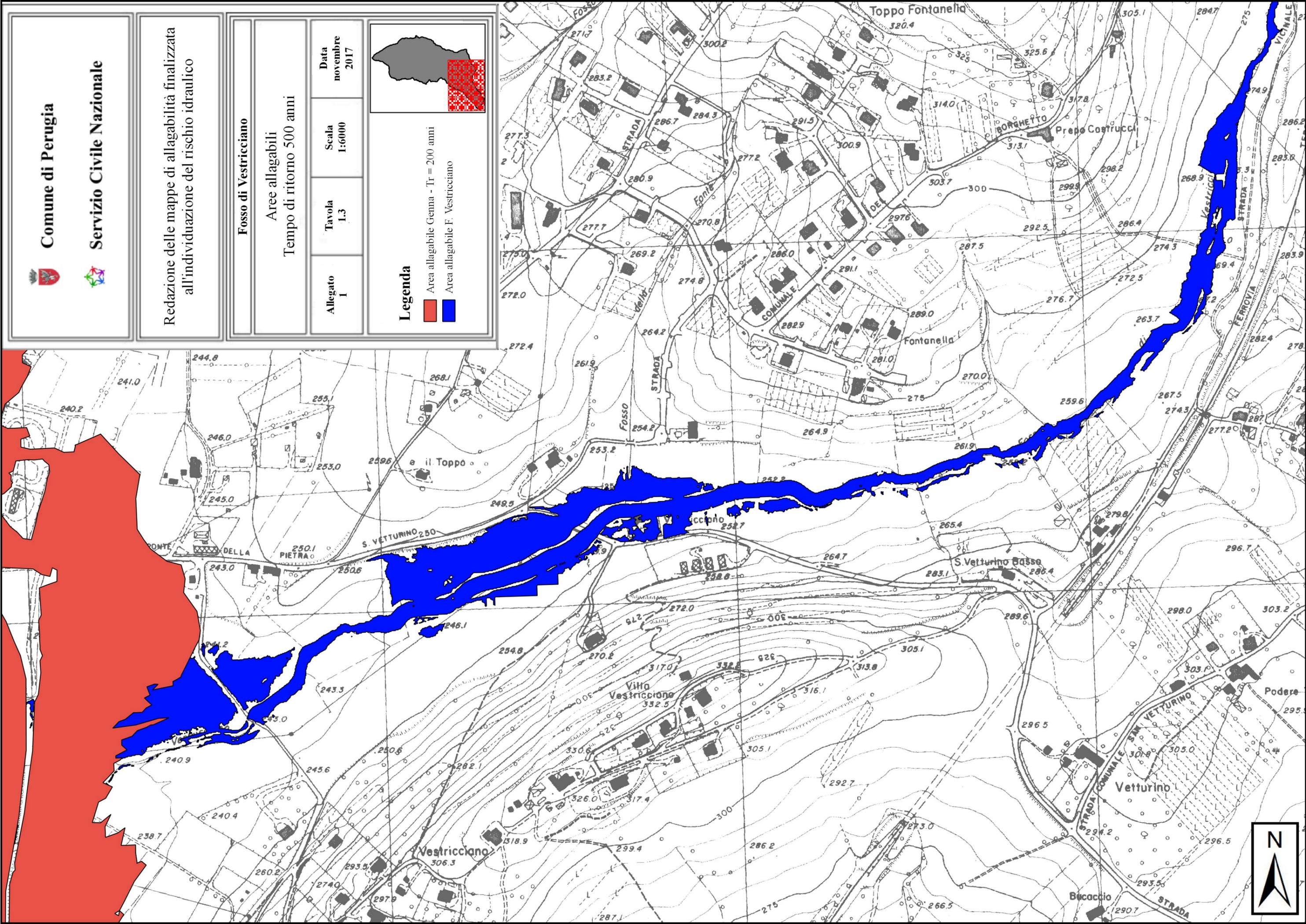
Tavola
1.3

Data
novembre
2017



Legenda

- Area allagabile Genna - Tr = 200 anni
- Area allagabile F. Vestricciano



6. Individuazione delle fasce fluviali

Il limite delle aree inondabili viene tradotto in fasce fluviali differenziando le aree a rischio per inondazione diretta, laddove cioè l'invasione delle acque partecipa direttamente al movimento da monte verso valle, da quelle cosiddette per inondazione indiretta, occupate dalle acque di piena a seguito di connessioni idrauliche o a seguito di rigurgiti, e dove il movimento delle acque nella direzione di propagazione da monte verso valle risulta trascurabile. Inoltre, ai fini della valutazione delle fasce fluviali A, B e C, sono state individuate le aree marginali, così come definite nella Relazione Generale del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino del Tevere, ovvero le aree per le quali la spinta totale (idrostatica e dinamica) è tale da non inficiare l'incolumità delle persone.

6.1. Fascia A

La fascia A rappresenta il corridoio fluviale di transito della piena con elevata probabilità di accadimento; è la fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno di 50 anni, sede prevalente del deflusso della corrente idrica della piena considerata, nonché soggetta a fenomeni esondativi non marginali ai fini della valutazione del pericolo.

Fascia A	
Tr = 50 anni	
Dir.	Indir.

6.2. Fascia B

La fascia B è la fascia di esondazione della piena con tempo di ritorno fino a 200 anni, sede prevalente dell'espansione della piena considerata e delle aree di inondazione indiretta, comprendente aree marginali e di inondazione indiretta della piena con tempo di ritorno di cui alla fascia A.

Fascia B		
Tr = 50 anni	Tr = 200 anni	
Marg.	Dir.	Indir.

6.3. Fascia C

La fascia C è la fascia di esondazione della piena con tempo di ritorno fino a 500 anni, sede prevalente dell'espansione della piena considerata e delle aree di inondazione indiretta, comprendente le aree marginali della piena con tempo di ritorno di cui alla fascia B.

Fascia C		
Tr = 200 anni	Tr = 500 anni	
Marg.	Dir.	Indir.

Di seguito si riportano le Tavole dove vengono illustrate le fasce fluviali A, B e C.

Comune di Perugia

Servizio Civile Nazionale

Redazione delle fasce fluviali nel bacino idrografico del Fosso di Vestricciano

Fosso di Vestricciano

Fasce Fluviali

Allegato 2

Tavola 2.1

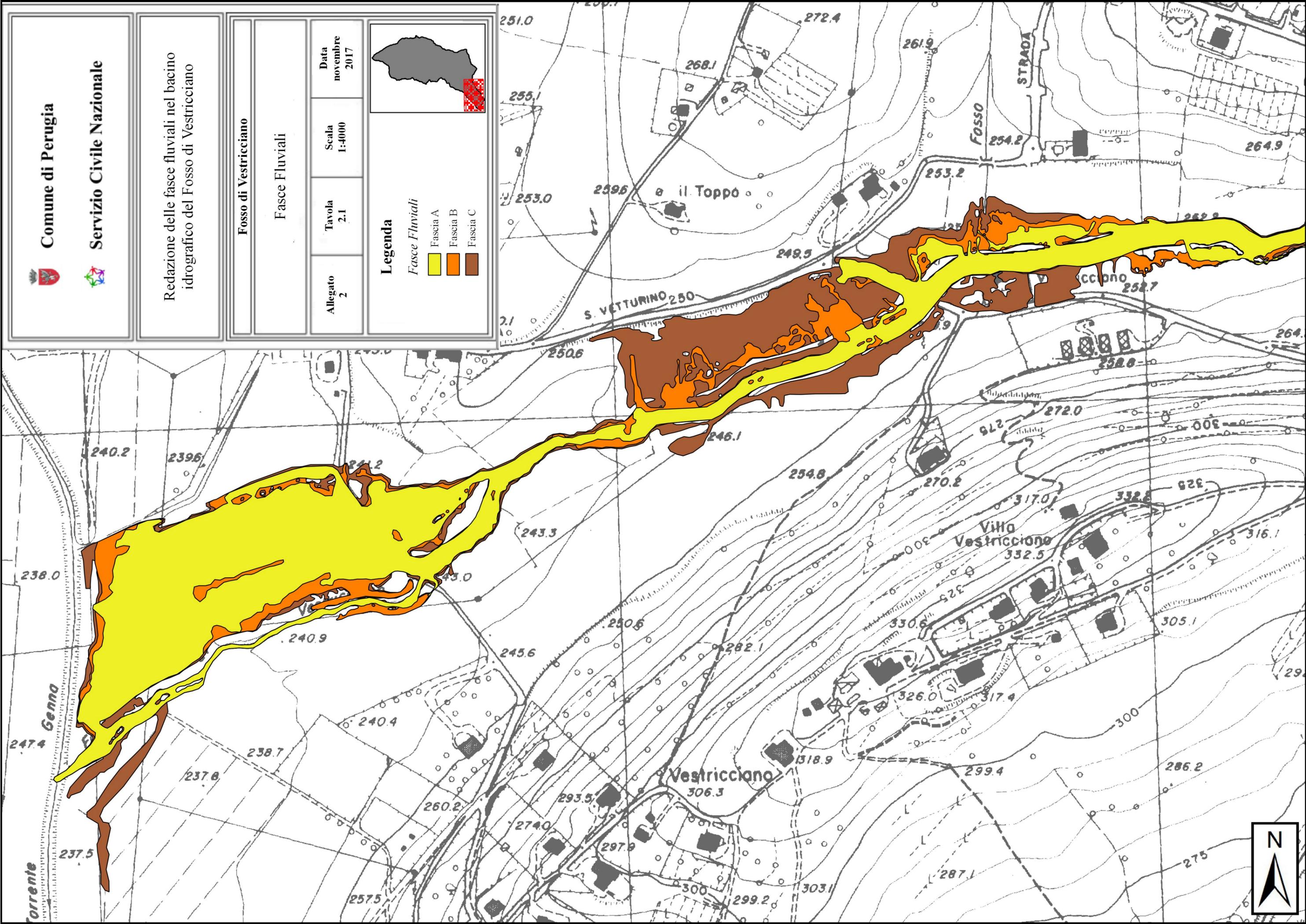
Scala 1:4000

Data novembre 2017

Legenda

Fasce Fluviali

- Fascia A
- Fascia B
- Fascia C



Comune di Perugia



Servizio Civile Nazionale



Redazione delle fasce fluviali nel bacino idrografico del Fosso di Vestricciano

Fosso di Vestricciano

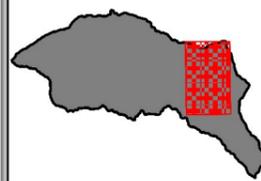
Fasce Fluviali

Allegato 2

Tavola 2.2

Scala 1:4000

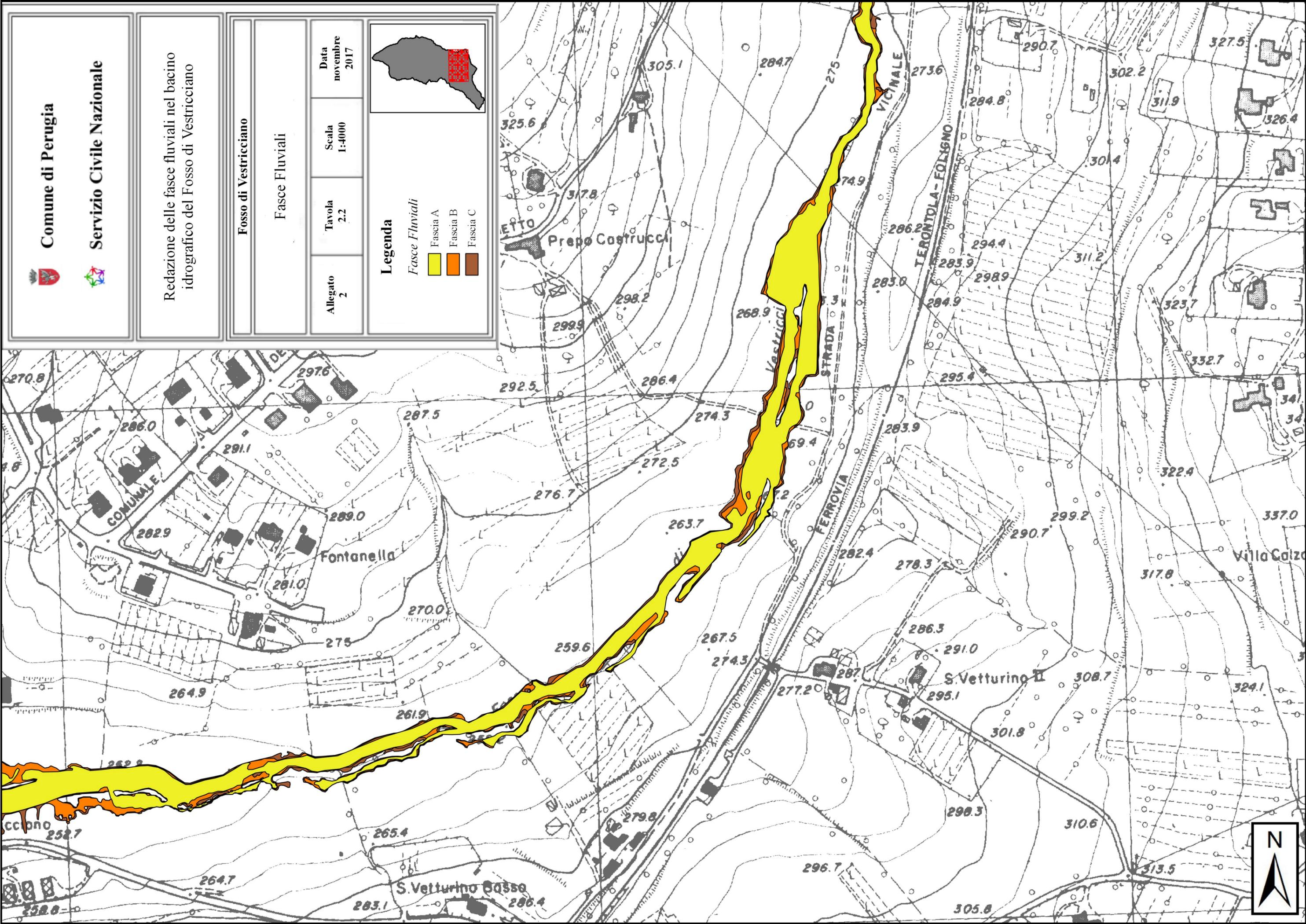
Data novembre 2017



Legenda

Fasce Fluviali

- Fascia A
- Fascia B
- Fascia C



Comune di Perugia

Servizio Civile Nazionale

Redazione delle fasce fluviali nel bacino idrografico del Fosso di Vestriciano

Fosso di Vestriciano

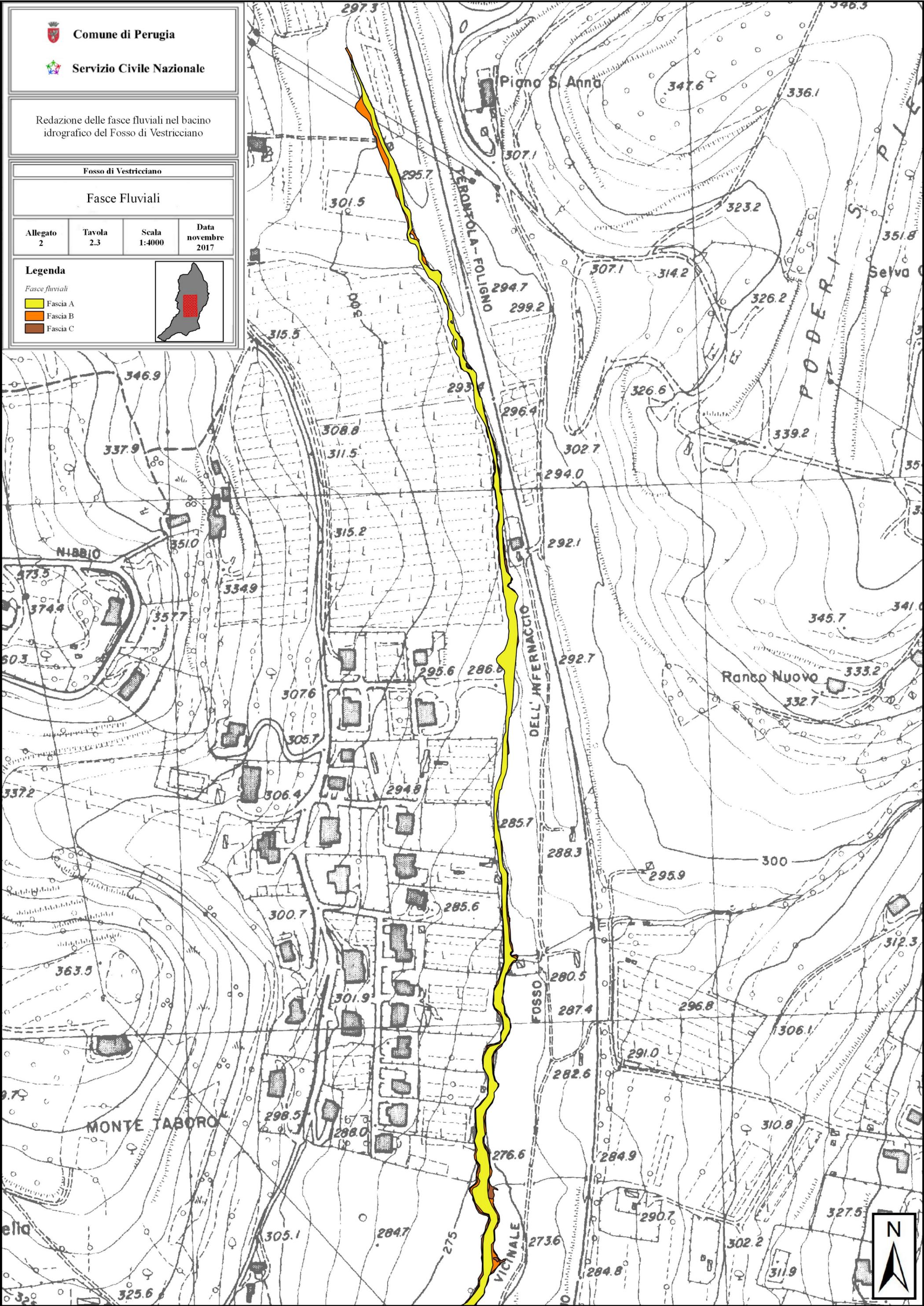
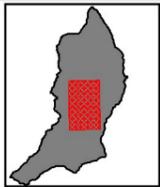
Fasce Fluviali

Allegato 2	Tavola 2.3	Scala 1:4000	Data novembre 2017
---------------	---------------	-----------------	--------------------------

Legenda

Fasce fluviali

-  Fascia A
-  Fascia B
-  Fascia C



7. Individuazione dei beni esposti e valutazione della loro vulnerabilità

Valutata la pericolosità idraulica da esondazione, si è proceduto a individuare i beni esposti al pericolo presenti nell'area delimitata dalle fasce di pericolosità e 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:

- *Edificati con orti e giardini*
- *Aree boschive e vegetazione ripariale*
- *Aree residenziali isolate*
- *Infrastrutture (strade e ferrovia)*
- *Prati*
- *Aree incolte*
- *Aree agricole*
- *Zone industriali produttive*

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 individuati, 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 x V* articolandolo in quattro gradi:

- **Molto Elevato (ME)**
- **Elevato (E)**
- **Medio (M)**
- **Basso (Ba)**

	BASSO	MEDIO	ELEVATO	MOLTO ELEVATO
<i>Edificato con orti e giardini</i>				X
<i>Aree boschive e vegetazione ripariale</i>	X			
<i>Strade</i>		X		
<i>Zone industriali produttive</i>			X	
<i>Prati</i>	X			
<i>Aree residenziali isolate</i>				X
<i>Aree incolte</i>	X			
<i>Aree agricole</i>				X
<i>Ferrovia</i>		X		

I risultati di questa fase sono riportati in Figura 7.1.

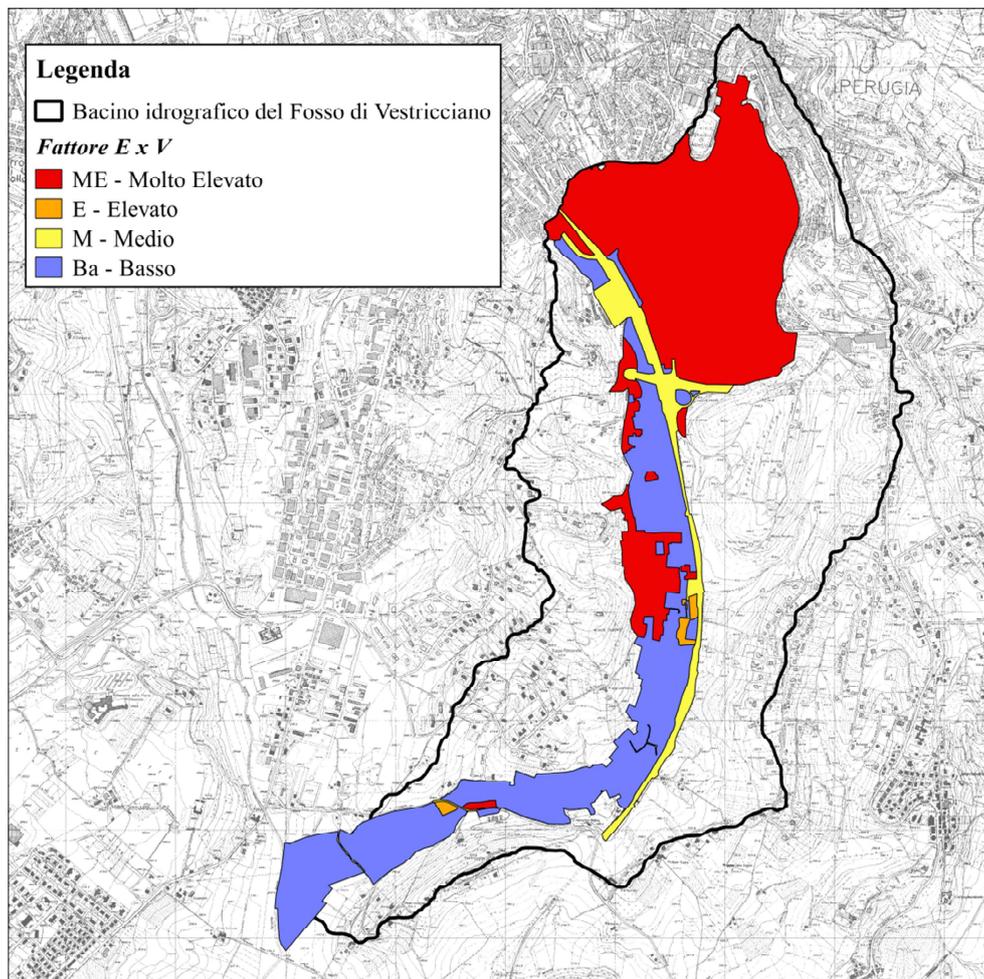


Fig. 7.1 – Mappa del parametro di esposizione e vulnerabilità nel bacino idrografico del Fosso di Vestricciano

8. Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio

8.1. Direttive tecniche del PAI

In accordo alle norme tecniche di attuazione redatte dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, il limite delle fasce fluviali è stato sovrapposto alla carta dell'uso del territorio ricavando le zone di rischio secondo il criterio in base al quale il rischio è il prodotto tra probabilità di accadimento dell'evento calamitoso, valore degli elementi a rischio e vulnerabilità degli stessi.

Sono definite quattro diverse classi di rischio:

- Rischio moderato **R1**
- Rischio medio **R2**
- Rischio elevato **R3**
- Rischio molto elevato **R4**

Dalla sovrapposizione delle carte, le zone a rischio sono state individuate assegnando le classi di rischio secondo la matrice riportata in tabella:

		<i>Fascia fluviale</i>		
		A	B	C
<i>Parametro di esposizione e vulnerabilità</i>	ME	R4	R3	R2
	E	R4	R3	R2
	M	R3	R2	R1
	Ba	R1	R1	R1

Di seguito si riportano le Tavole dove vengono illustrate le aree a rischio.

Comune di Perugia

Servizio Civile Nazionale

Redazione della mappa degli elementi a rischio
nel bacino idrografico del Fosso di Vestricciano

Fosso di Vestricciano

Aree a rischio

Allegato
3

Tavola
3.1

Scala
1:4000

Data
novembre
2017

Legenda

Aree a rischio

R2

R3

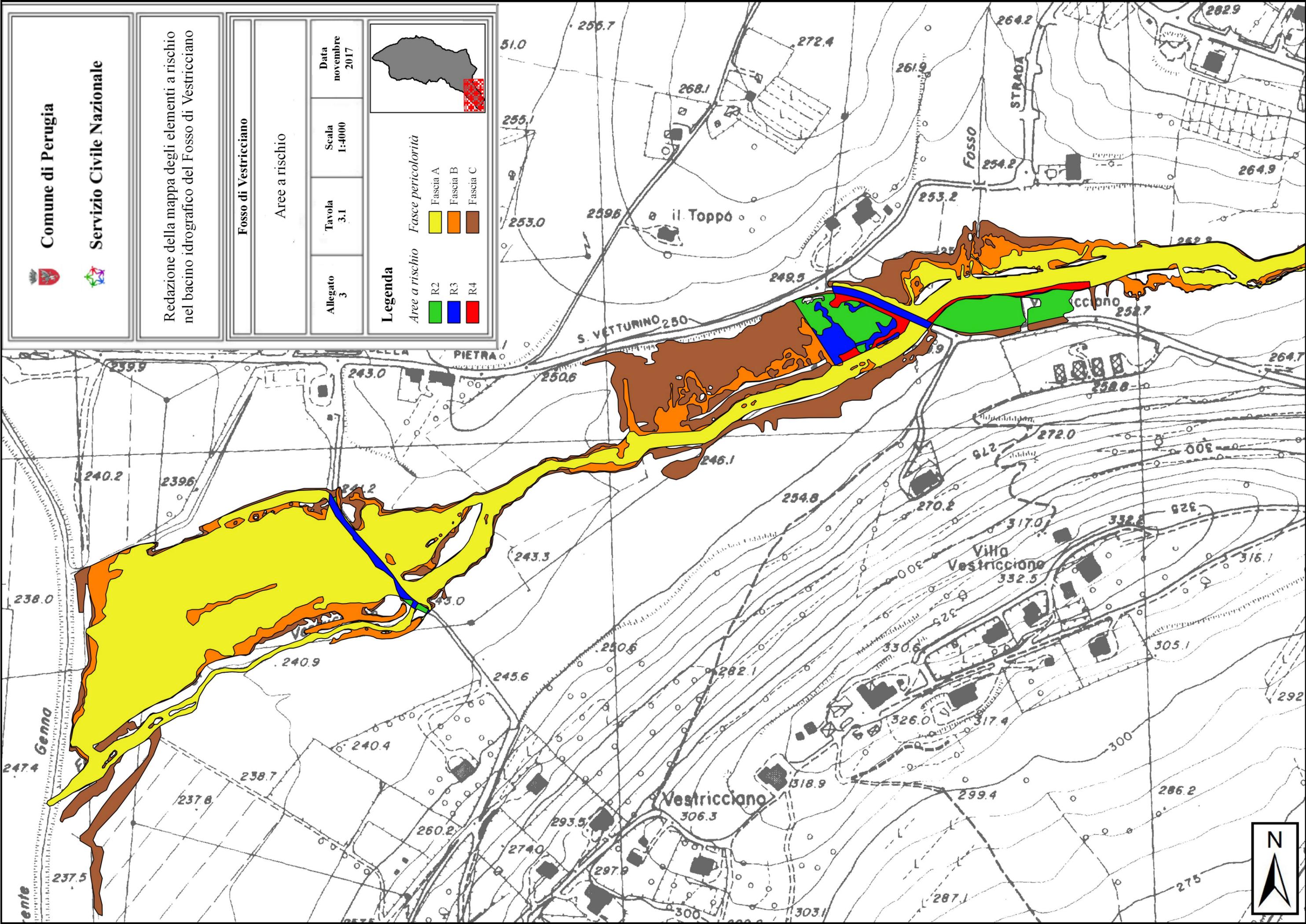
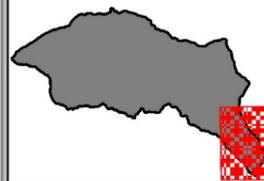
R4

Fasce pericolosità

Fascia A

Fascia B

Fascia C





Comune di Perugia



Servizio Civile Nazionale

Redazione della mappa degli elementi a rischio nel bacino idrografico del Fosso di Vestricciano

Fosso di Vestricciano

Aree a rischio

Allegato 3

Tavola 3.2

Scala 1:4000

Data novembre 2017

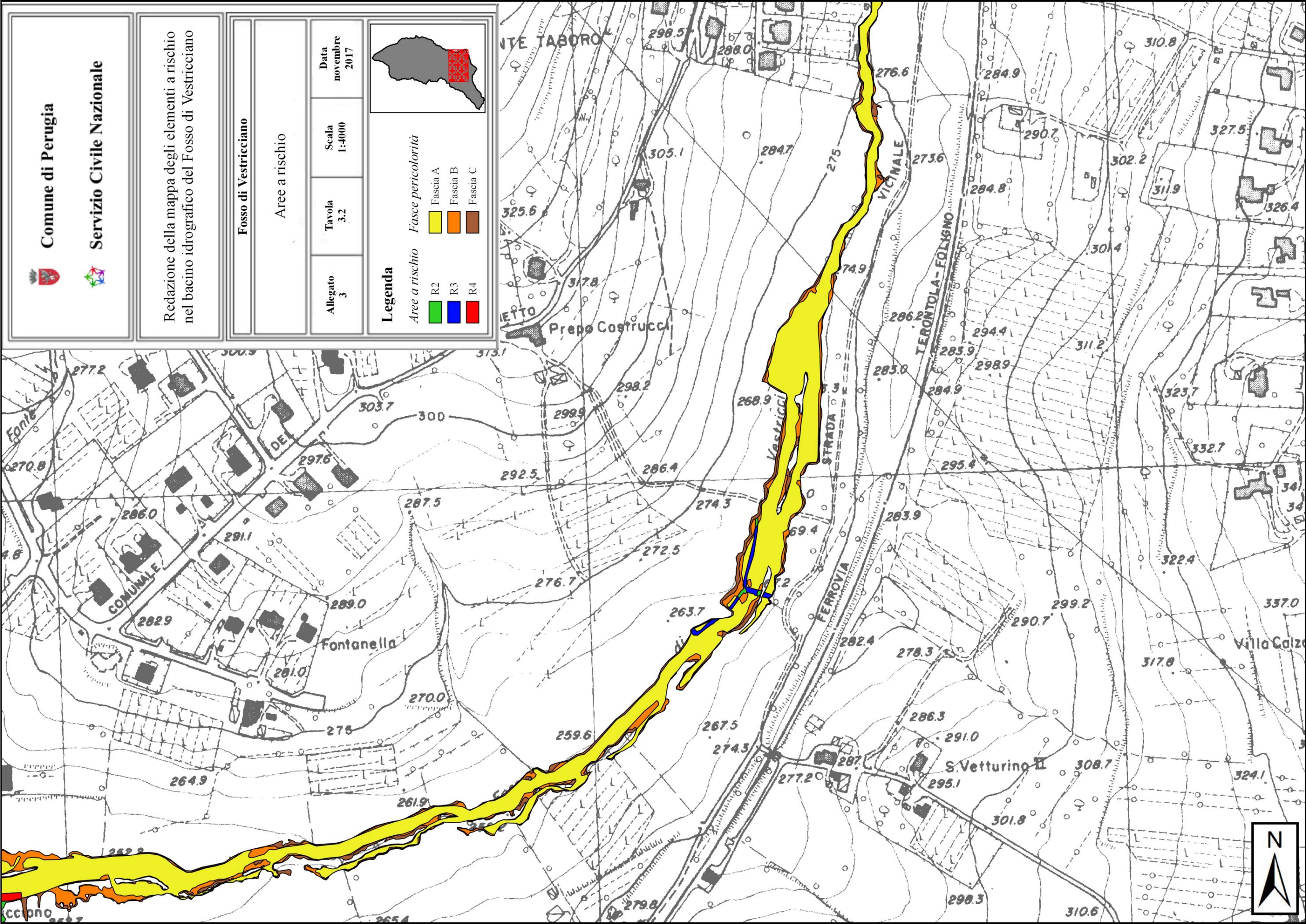
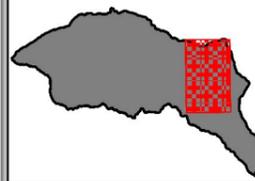
Legenda

Aree a rischio

- R2
- R3
- R4

Fasce pericolarità

- Fascia A
- Fascia B
- Fascia C





Comune di Perugia



Servizio Civile Nazionale

Redazione della mappa degli elementi a rischio nel bacino idrografico del Fosso di Vestricciano

Fosso di Vestricciano

Aree a rischio

Allegato 3

Tavola 3.3

Scala 1:4000

Data novembre 2017

Legenda

Aree a rischio

- R2
- R3
- R4

Fasce fluviali

- Fascia A
- Fascia B
- Fascia C

