

Maggio
2017



Analisi del rischio idraulico nel bacino del Fosso Santa Lucia Boschetto e ipotesi d'intervento

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, Frioni Matteo
29/05/2017



SOMMARIO

1. Premessa.....	2
2. Impostazione dello studio di valutazione del rischio idraulico	3
3. Inquadramento generale.....	4
3.1. Inquadramento Territoriale.....	4
3.2. Cartografia di riferimento	6
3.3. Caratteristiche idro-geolitologiche del bacino.....	7
3.4. Rete di monitoraggio idro-pluviometrico	10
3.5. Modello digitale del terreno	11
3.6. Eventi passati di inondazione	11
4. Analisi Idrologica	12
4.1. Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (L.S.P.P.)	12
4.2. Altezze di pioggia puntuali lorde.....	12
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 della pericolosità idraulica	15
5.1. Pericolosità nel tratto di monte	17
5.1.1. Definizione della configurazione del sistema	17
5.1.2. Ricostruzione della geometria delle sezioni e definizione dei parametri idraulici	18
5.1.3. Modellazione delle particolarità presenti lungo l'asta fluviale.....	24
5.1.4. Individuazione delle condizioni al contorno.....	26
5.1.5. Implementazione dell'idrologia del sistema	26
5.1.6. Ricostruzione dei profili di corrente e calcolo dei livelli di moto permanente.....	27
5.2. Pericolosità nel tratto di valle	33
5.3. Effetti di incremento della pericolosità in caso manutenzione ordinaria carente.....	52
5.4. Individuazione delle fasce di pericolosità	55
6. Individuazione dei beni esposti e valutazione della loro vulnerabilità.....	56
7. Valutazione del rischio idraulico	58
8. Ipotesi di intervento per la mitigazione del rischio idraulico.....	60
9. Altre criticità riscontrate nel corso dei sopralluoghi	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'esonabilità del reticolo idrografico minore.

Lo scopo del presente studio è la valutazione del rischio idraulico nel bacino del Fosso Santa Lucia Boschetto, 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.

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 Fosso Santa Lucia Boschetto.

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 naturale, dove è stato possibile effettuare una modellazione idraulica del fosso come asta fluviale; la seconda, riferita al tratto vallivo, dove il corso d'acqua è ripetutamente intubato e dove quindi sono state effettuate verifiche idrauliche locali delle sezioni di interesse in regime di moto uniforme.
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 Santa Lucia Boschetto come combinazione della pericolosità, della vulnerabilità e dell'esposizione.

Al capitolo 8 si sono quindi formulate delle ipotesi d'intervento per la mitigazione del rischio idraulico attuale.

Infine, all'ultimo capitolo è riportata la documentazione fotografica inerente ad alcune criticità riscontrate nel corso dei sopralluoghi nel bacino del Fosso Santa Lucia Boschetto.

3. Inquadramento generale

3.1. Inquadramento Territoriale

Il bacino idrografico del Fosso Santa Lucia Boschetto si estende all'interno del comune di Perugia per una superficie di 9.15 ettari, in località Santa Lucia (Figure 3.1 e 3.2).

Il Fosso Santa Lucia Boschetto è un affluente in sinistra del Torrente Genna, con confluenza nei pressi del percorso verde di Pian di Massiano.

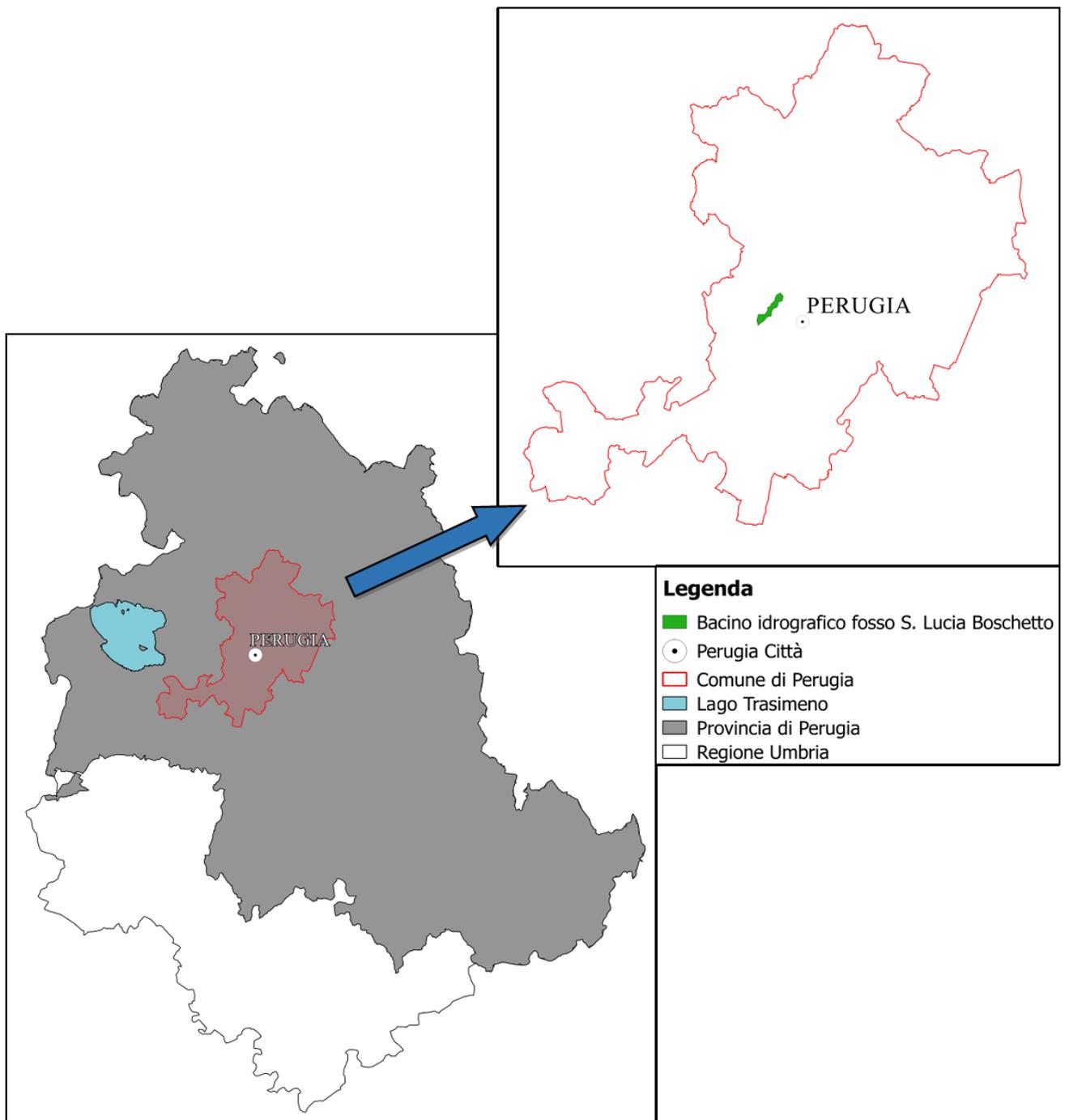


Fig. 3.1 – Posizione del bacino del Fosso Santa Lucia Boschetto all'interno della provincia di Perugia

Il bacino in esame risulta compreso nel box di coordinate geografiche 43° 10' e 43° 13' di latitudine Nord e 12° 35' e 12° 38' di longitudine Est da Greenwich.

Il bacino idrografico si sviluppa in direzione SW – NE e comprende parte dell'abitato di Montegrillo nell'area di testata; l'abitato di Santa Lucia nella parte centrale; e l'area verde di Pian di Massiano nella zona di confluenza.

Il Fosso Santa Lucia Boschetto si manifesta con il suo alveo naturale a valle della strada Perugia – San Marco, e viene alimentato da canalizzazioni artificiali che raccolgono le acque miste di una parte dell'abitato di Montegrillo. Il corso d'acqua prosegue a cielo aperto per un tratto di circa 900 metri fatta eccezione per un breve tratto intubato che costituisce l'attraversamento di Via Sonnino. In prossimità dell'area verde di S. Lucia attraverso uno stramazzo e una griglia, l'acqua è convogliata verso un collettore in profondità. Proseguendo verso valle, in seguito alla crescente antropizzazione, il fosso S. Lucia Boschetto è stato intubato per gran parte del suo corso.

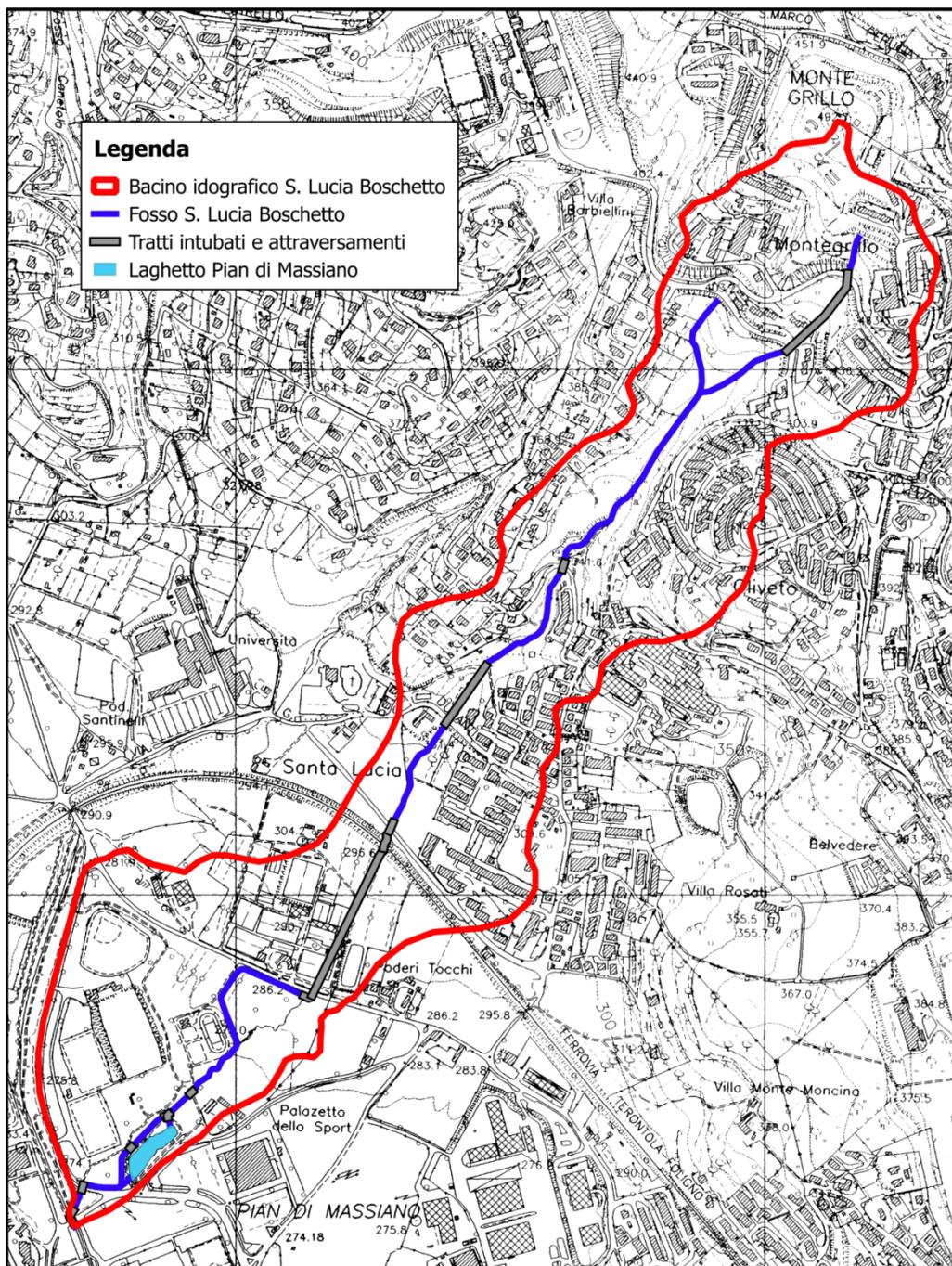


Fig. 3.2 – Inquadramento su carta CTR del bacino del Fosso Santa Lucia Boschetto

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 1:5000 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.

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 1:10.000.

Nel 66% dell'area del bacino affiora il Sintema di Perugia, della quale il 35,4% è rappresentato dal SubSintema di Magione, caratterizzato da conglomerati poco o nulla organizzati in scarsa matrice sabbiosa, e il restante 31% è rappresentato dal SubSintema di Santa Sabina contraddistinto da una sequenza prevalentemente limo-argillosa che poggia direttamente sulla formazione Marnoso-Arenacea; quest'ultima affiora nella parte centrale del bacino occupando circa il 10 % dell'area totale. La restante superficie è ricoperta principalmente da depositi recenti, tra cui depositi alluvionali e coltri eluvio-colluviali. (Figura 3.3 e Tabella 3.1)

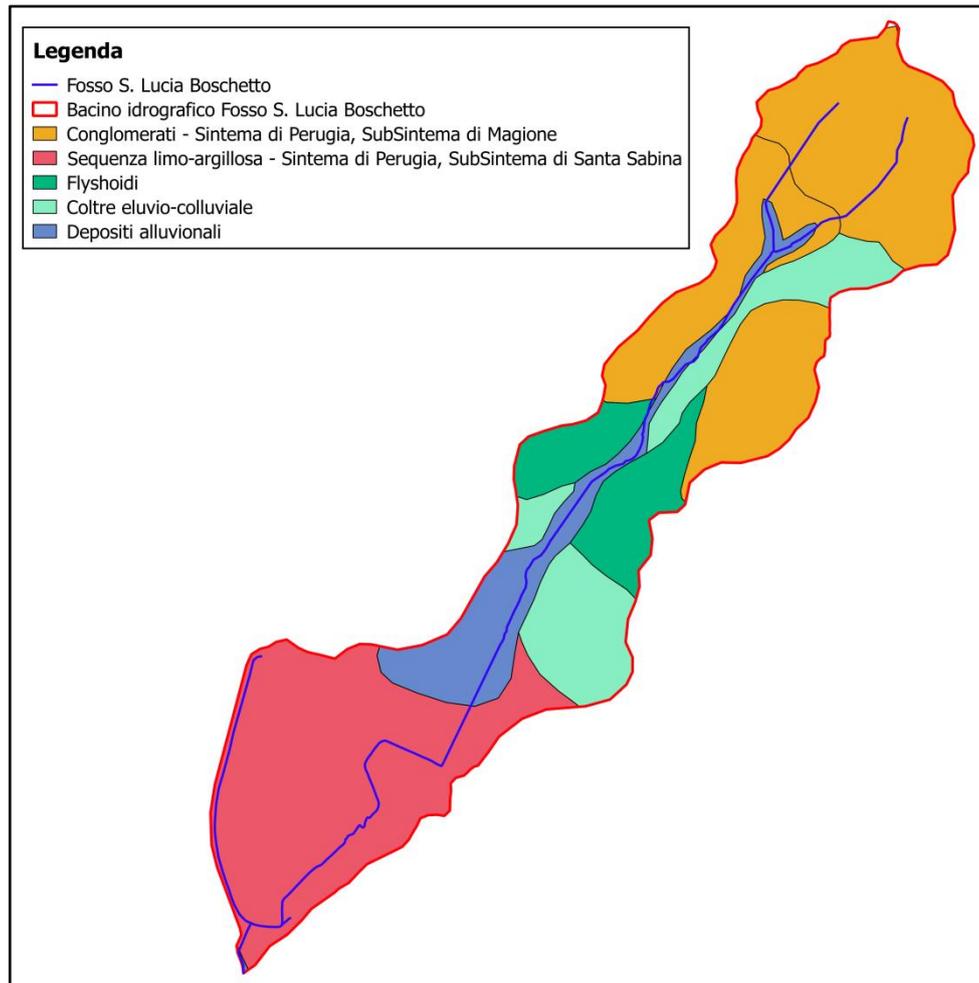


Fig. 3.3 – Bacino idrografico del Fosso Santa Lucia Boschetto: litologia.

Tab. 3.1 – Caratteristiche litologiche del bacino del Fosso Santa Lucia Boschetto.

Litologia		Area (%)
	Coltre eluvio-colluviale	13.5
	Depositi alluvionali	10.5
	Flyshoidi	9.5
	Sequenza limo-argillosa - Sintema di Perugia, SubSintema di Santa Sabina	31.1
	Conglomerati - Sintema di Perugia, SubSintema di Magione	35.4

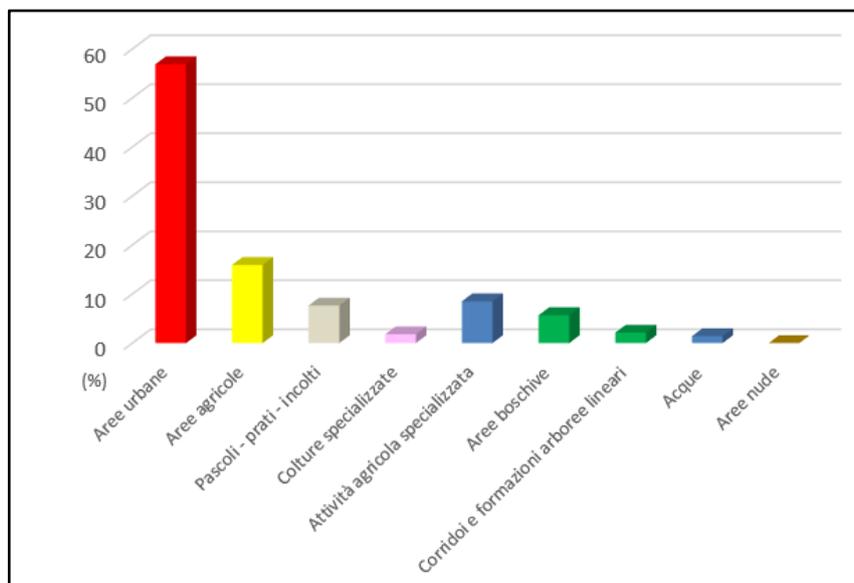
Le informazioni riguardanti l'uso del suolo sono state ricavate dalla carta dell'uso del suolo digitale del Comune di Perugia, sviluppata con uno studio di dettaglio tramite interpretazione foto-aerea. La superficie del bacino è ricoperta prevalentemente da aree urbane (56.8%) e da aree agricole (15.9%).

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 Santa Lucia Boschetto*

Uso del suolo	Area (%)
Aree urbane	56.9
Aree agricole	15.9
Pascoli - prati - incolti	7.66
Colture specializzate	1.8
Attività agricola specializzata	8.52
Aree boschive	5.69
Corridoi e formazioni arboree lineari	2.11
Acque	1.4

Fig. 3.4 – *Uso del suolo del bacino del Fosso Santa Lucia Boschetto.*



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

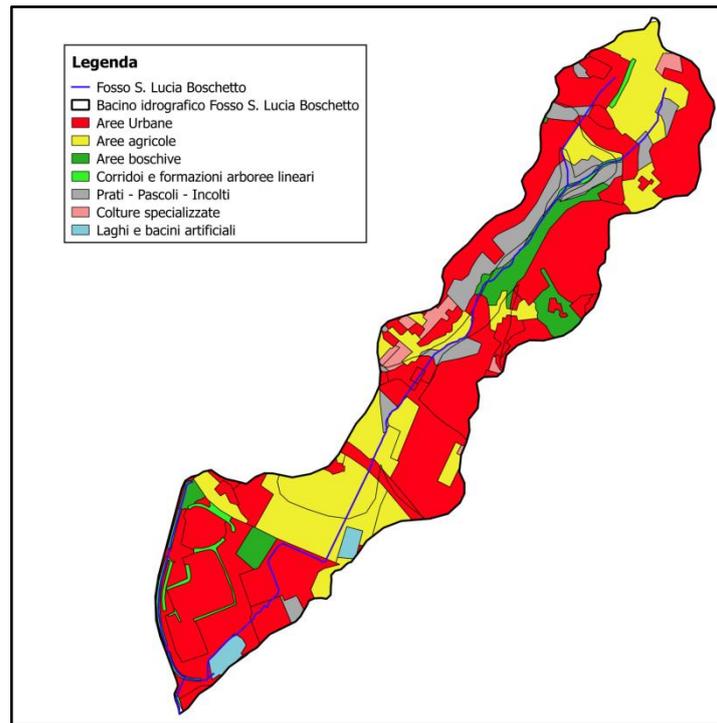


Fig. 3.5 – Bacino del Fosso Santa Lucia Boschetto: uso del suolo.

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).

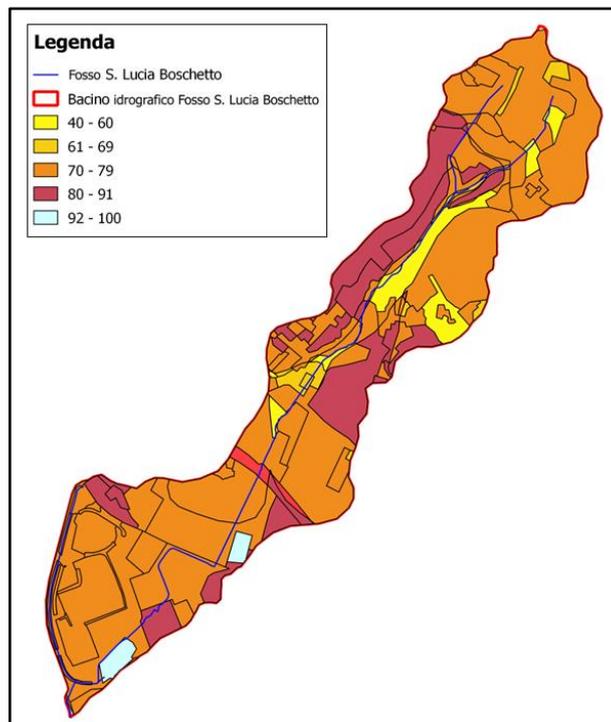


Fig. 3.6 – Bacino del Fosso Santa Lucia Boschetto: Curve Number (CN) per condizioni di umidità del suolo intermedie.

3.4. Rete di monitoraggio idro-pluviometrico

La rete idro-pluviometrica presente nell'area del bacino del Fosso Santa Lucia Boschetto è mostrata in Figura 3.7. Nelle vicinanze della zona in esame 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 nelle vicinanze del bacino del Fosso Santa Lucia Boschetto.

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

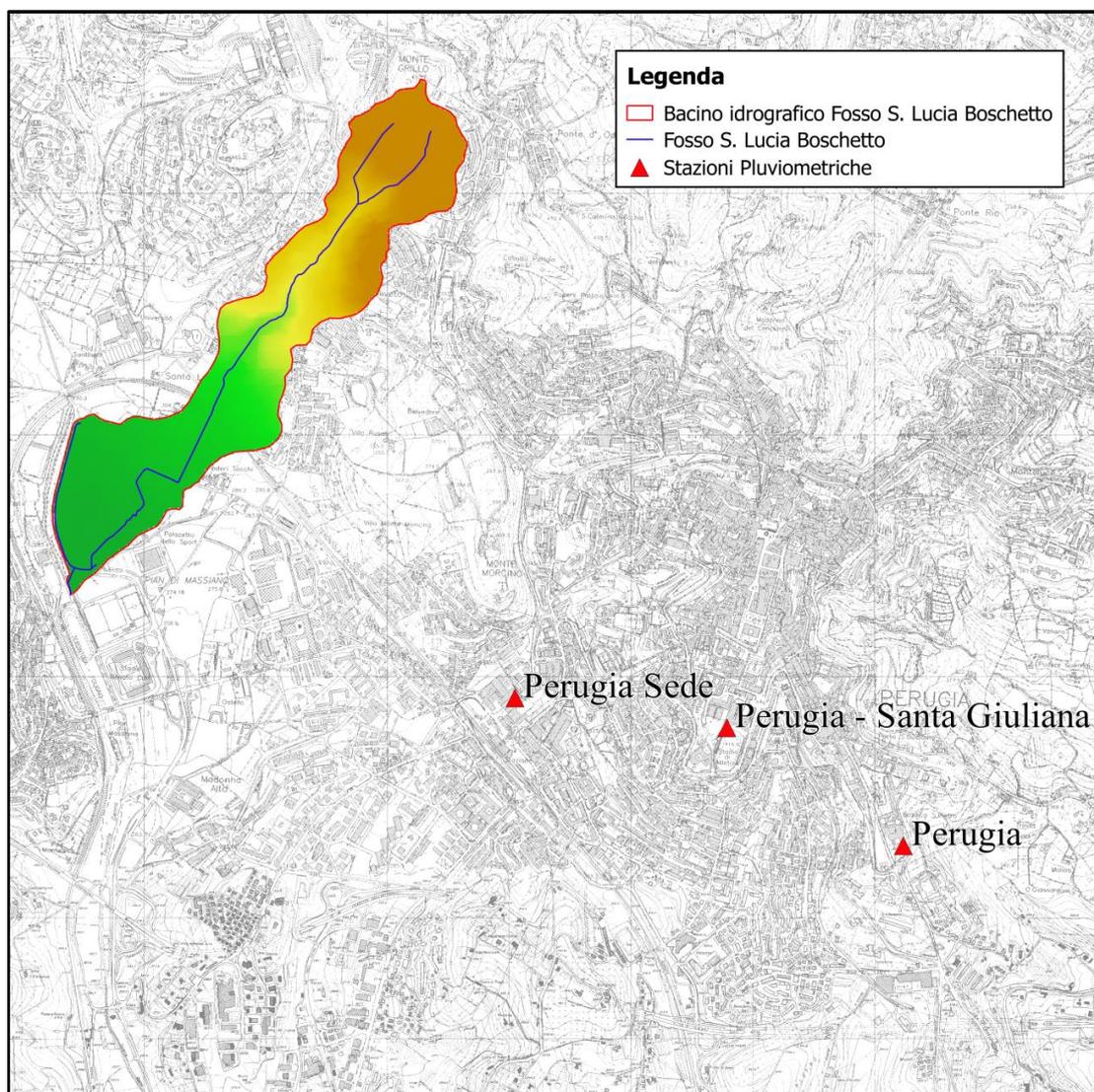


Fig. 3.7 – Bacino del Fosso S. Lucia Boschetto: stazioni idrometeorologiche presenti nelle vicinanze dell'area oggetto di studio.

3.5. Modello digitale del terreno

Per lo studio e la modellazione idraulica del Fosso Santa Lucia Boschetto 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).

3.6. Eventi passati di inondazione

La conoscenza degli eventi passati d'inondazione verificatesi lungo il Fosso S. Lucia Boschetto è di base per una approfondita analisi della vulnerabilità idraulica dei territori limitrofi.

A tale proposito si è riscontrato come le zone dell'area verde di S. Lucia e dell'abitazione subito a valle siano state interessate negli anni passati con una frequenza significativa da eventi d'inondazione, per incompatibilità delle sezioni subito a monte con il transito dell'onda di piena verificatasi in quelle circostanze, e conseguente fuoriuscita d'acqua dall'alveo di pertinenza.

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 piogge breve ed intense.

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 Sede, in quanto la più prossima all’area di studio 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 S. Lucia Boschetto

Tr (anni)	5	10	25	50	100	200
a	35.15	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:

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

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

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 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.

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:

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

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 della pericolosità idraulica

Acquisite le informazioni cartografiche necessarie, analizzata ed implementata l'idrologia del sistema, si è proceduto a valutare la pericolosità idraulica all'interno del bacino idrografico differenziando lo studio per i due seguenti tratti (Figura 5.1):

- 1) Tratto di monte, dall'attraversamento della Strada Perugia – S. Marco fino a monte dell'area verde di Santa Lucia: in questo tratto il fosso segue il suo percorso originario in alveo naturale, a meno di singolarità localizzate; mediante l'impiego del codice di calcolo Hec-Ras è stato possibile modellare l'asta fluviale e simulare gli eventi di piena di progetto.

Il tratto oggetto di studio ha una lunghezza complessiva di circa 700 metri, con la sezione al contorno di monte posta a valle della strada Perugia – S. Marco e quella di valle ubicata in corrispondenza della sezione con soglia a stramazzo a monte dell'area verde di Santa Lucia; lungo il tratto fluviale non sono presenti affluenti significativi né opere arginali.

La ricostruzione dei profili di moto permanente ha permesso di delimitare le fasce fluviali in questo primo tratto secondo le procedure adottate dal PAI.

- 2) Tratto di valle, dall'area verde di Santa Lucia fino alla confluenza con il Torrente Genna: in questo tratto il fosso ha perso quasi totalmente il suo percorso naturale ed il suo corso è caratterizzato dalla presenza di un gran numero di tratti intubati. Si è ritenuto inadeguato eseguire in questo tratto una modellazione dell'asta, preferendo piuttosto eseguire delle verifiche locali delle sezioni potenzialmente critiche.

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 soglia a stramazzo che caratterizza la sezione limite tra il primo ed il secondo tratto costituisce una disconnessione idraulica che giustifica lo studio separato dei due.

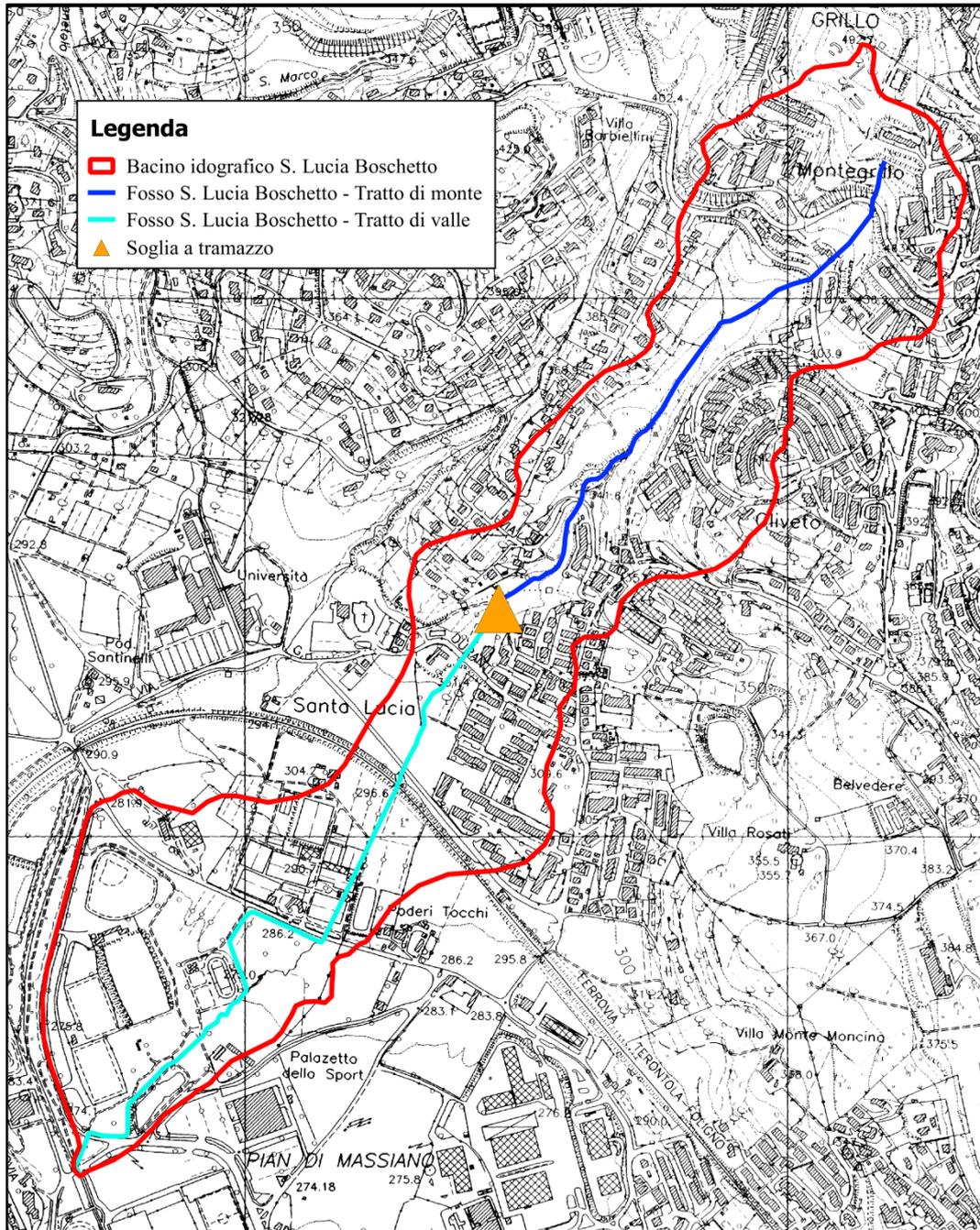


Fig. 5.1 – Fosso S. Lucia Boschetto – individuazione tratto di monte e di valle

5.1. Pericolosità nel tratto di monte

Il tratto del Fosso Santa Lucia Boschetto a monte dell'area verde di Santa Lucia è stato modellato mediante l'impiego del software HEC-RAS.

Una modellazione idraulica di tipo monodimensionale in regime di moto permanente è stata eseguita al fine di ricostruire il profilo di corrente e le caratteristiche idrauliche in tutte le sezioni, quindi per delimitare le fasce di pertinenza fluviale secondo le procedure adottate dal PAI.

Sebbene i processi di propagazione delle onde di piena siano fenomeni di moto vario, la scelta di un'analisi in moto permanente comporta una maggior stabilità dei processi computazionali del codice di calcolo e costituisce una scelta che permette di operare a favore di sicurezza.

Lo studio ha richiesto lo svolgimento delle seguenti fasi:

- 1) Definizione della configurazione del sistema;
- 2) Ricostruzione della geometria delle sezioni mediante modello DTM del terreno e rilievo topografico, e definizione dei parametri idraulici;
- 3) Modellazione delle particolarità presenti lungo l'asta fluviale (ponti, intubamenti, strutture laterali,...);
- 4) Individuazione delle condizioni al contorno e implementazione dell'idrologia del sistema;
- 5) Implementazione del codice di calcolo, ricostruzione dei profili di corrente e calcolo dei livelli di moto permanente.

5.1.1. Definizione della configurazione del sistema

Il tratto oggetto di studio ha una lunghezza complessiva di circa 700 metri, con la sezione al contorno di monte posta a valle della strada Perugia – S. Marco e quella di valle ubicata in corrispondenza della sezione con soglia a stramazzo a monte dell'area verde di Santa Lucia; lungo il tratto fluviale non sono presenti opere arginali.

L'asta fluviale presenta una singolarità corrispondente al tratto intubato di lunghezza pari a 12m realizzato per l'attraversamento di Via Sonnino, con sezione di monte posta ad una distanza progressiva dalla sezione di chiusura di 259m.

Un'ulteriore singolarità è rappresentata da un piccolo ponticello per attraversamento pedonale posto ad una distanza progressiva di 158m dalla sezione di chiusura; questa, per le proprie caratteristiche, dimensioni limitate e quota della soletta che non ostacolano in modo significativo il flusso d'acqua, non rappresenta un elemento significativo ai fini della modellazione idraulica.

Non sono presenti lungo il tratto studiato affluenti significativi, quindi il sistema è stato modellato come singola asta corrispondente all'asta principale del Fosso Santa Lucia Boschetto.

5.1.2. Ricostruzione della geometria delle sezioni e definizione dei parametri idraulici

Lo sviluppo plano-altimetrico del corso d'acqua nel suo tratto di monte è stato ottenuto utilizzando sia tecniche di rilievo topografico sia attraverso un modello DTM del terreno (ottenuto con tecniche di laser-scanning da piattaforma aerea).

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 7 sezioni per il tratto in esame, con una media di una sezione ogni 107 metri; ulteriori 4 sezioni sono state derivate direttamente dal modello DTM per il tratto più a monte del corso d'acqua, dove la morfologia del territorio e la fittissima vegetazione rendevano impossibile il rilievo topografico.

Sono state quindi implementate nel modello un totale di 11 sezioni georeferenziate, riportate in Figura 5.2 insieme alla loro distanza progressiva rispetto alla soglia a stramazzo presente a valle del tratto studiato.

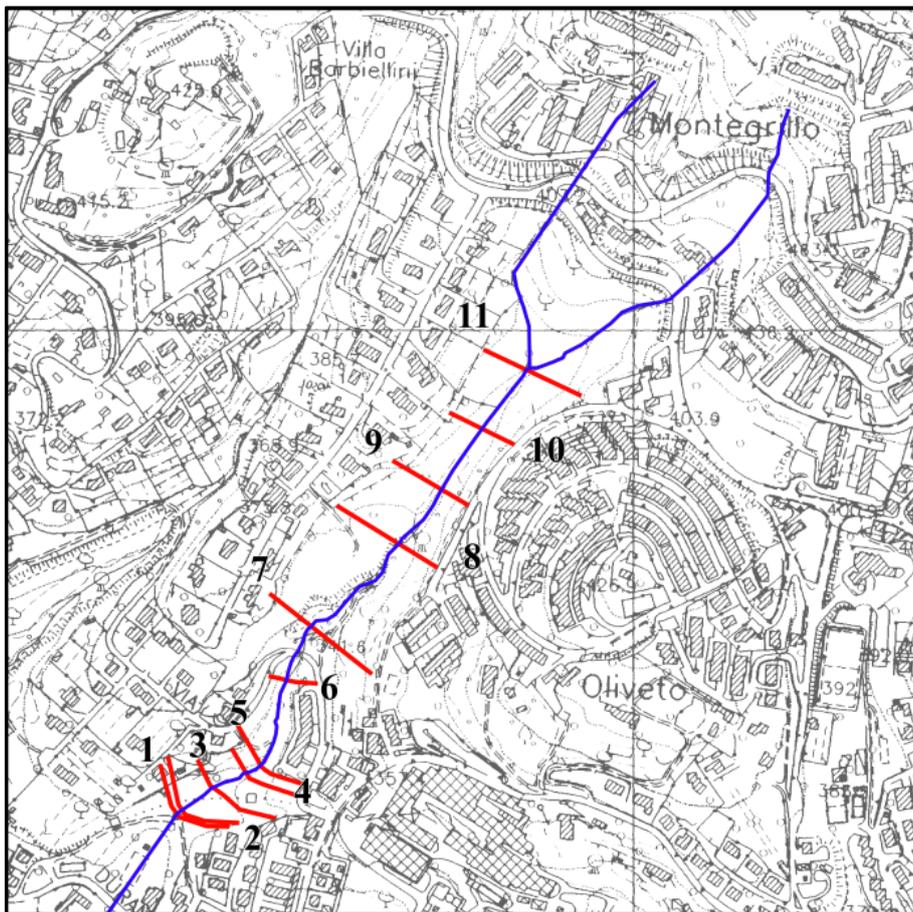


Fig. 5.2 - Posizione cartografica delle sezioni rilevate.

La geometria di ulteriori 11 sezioni (la cui posizione è rappresentata in arancione nella Figura 5.3) 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 (soprattutto nella zona più a monte dove le sezioni rilevate sono più rade) e rendendo così più stabile la fase computazionale.

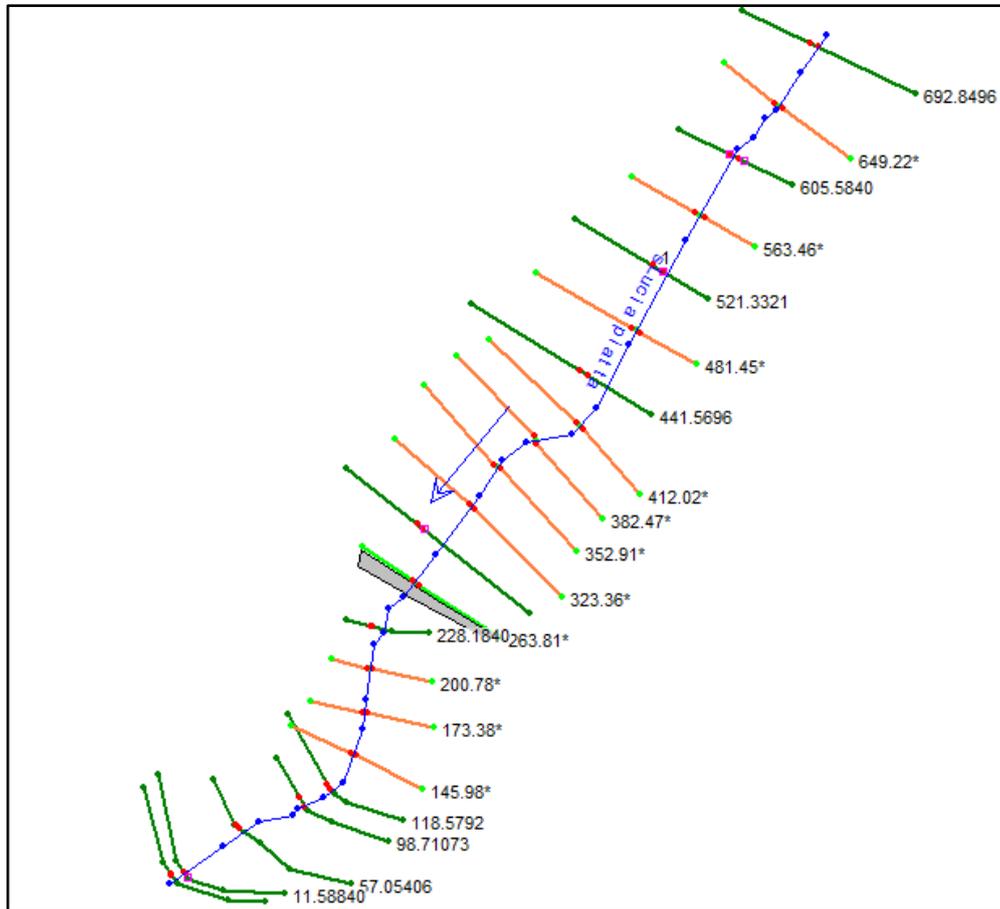


Fig. 5.3 - Posizione cartografica delle sezioni interpolate create mediante il Tool "XS interpolation".

Una volta ricostruita la geometria delle sezioni, i parametri di scabrezza in termini di coefficiente di Manning sono stati assegnati ai vari tratti del canale principale ed alle diverse aree golenali sulla base di quanto riscontrato dai sopralluoghi effettuati e facendo affidamento alle tabelle riportate dall'Hydrologic Engineering Centre (HEC). (Tabella 5.1)

Tab. 5.1 – *Tabella dei valori di Manning per i vari tipi di canale e aree golenali.*

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
A. Natural Streams			
1. Main Channels			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools			
b. Same as above, but more stones and weeds	0.025	0.030	0.033
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.030	0.035	0.040
d. Same as above, but some weeds and stones	0.033	0.040	0.045
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.035	0.045	0.050
f. Same as "d" but more stones	0.040	0.048	0.055
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.045	0.050	0.060
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.050	0.070	0.080
	0.070	0.100	0.150
2. Flood Plains			
a. Pasture no brush			
1. Short grass	0.025	0.030	0.035
2. High grass	0.030	0.035	0.050
b. Cultivated areas			
1. No crop	0.020	0.030	0.040
2. Mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. Mature field crops	0.030	0.040	0.050
c. Brush			
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. Light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
3. Light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
4. Medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.110
5. Medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.160
d. Trees			
1. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.050
2. Same as above, but heavy sprouts	0.050	0.060	0.080
3. Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches	0.080	0.100	0.120
4. Same as above, but with flow into branches	0.100	0.120	0.160
5. Dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
3. Mountain Streams, no vegetation in channel, banks usually steep, with trees and brush on banks submerged			
a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
B. Lined or Built-Up Channels			
1. Concrete			
a. Trowel finish	0.011	0.013	0.015
b. Float Finish	0.013	0.015	0.016
c. Finished, with gravel bottom	0.015	0.017	0.020
d. Unfinished	0.014	0.017	0.020
e. Gunite, good section	0.016	0.019	0.023
f. Gunite, wavy section	0.018	0.022	0.025
g. On good excavated rock	0.017	0.020	
h. On irregular excavated rock	0.022	0.027	
2. Concrete bottom float finished with sides of:			
a. Dressed stone in mortar	0.015	0.017	0.020
b. Random stone in mortar	0.017	0.020	0.024
c. Cement rubble masonry, plastered	0.016	0.020	0.024
d. Cement rubble masonry	0.020	0.025	0.030
e. Dry rubble on riprap	0.020	0.030	0.035
3. Gravel bottom with sides of:			
a. Formed concrete	0.017	0.020	0.025
b. Random stone in mortar	0.020	0.023	0.026
c. Dry rubble or riprap	0.023	0.033	0.036
4. Brick			
a. Glazed	0.011	0.013	0.015
b. In cement mortar	0.012	0.015	0.018
5. Metal			
a. Smooth steel surfaces	0.011	0.012	0.014
b. Corrugated metal	0.021	0.025	0.030
6. Asphalt			
a. Smooth	0.013	0.013	
b. Rough	0.016	0.016	
7. Vegetal lining	0.030		0.500

C. Excavated or Dredged Channels

1. Earth, straight and uniform			
a. Clean, recently completed	0.016	0.018	0.020
b. Clean, after weathering	0.018	0.022	0.025
c. Gravel, uniform section, clean	0.022	0.025	0.030
d. With short grass, few weeds	0.022	0.027	0.033
2. Earth, winding and sluggish			
a. No vegetation	0.023	0.025	0.030
b. Grass, some weeds	0.025	0.030	0.033
c. Dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.030	0.035	0.040
d. Earth bottom and rubble side	0.028	0.030	0.035
e. Stony bottom and weedy banks	0.025	0.035	0.040
f. Cobble bottom and clean sides	0.030	0.040	0.050
3. Dragline-excavated or dredged			
a. No vegetation	0.025	0.028	0.033
b. Light brush on banks	0.035	0.050	0.060
4. Rock cuts			
a. Smooth and uniform	0.025	0.035	0.040
b. Jagged and irregular	0.035	0.040	0.050
5. Channels not maintained, weeds and brush			
a. Clean bottom, brush on sides	0.040	0.050	0.080
b. Same as above, highest stage of flow	0.045	0.070	0.110
c. Dense weeds, high as flow depth	0.050	0.080	0.120
d. Dense brush, high stage	0.080	0.100	0.140

La Figura 5.4 rappresenta il risultato di questa prima fase per una delle sezioni rilevate:

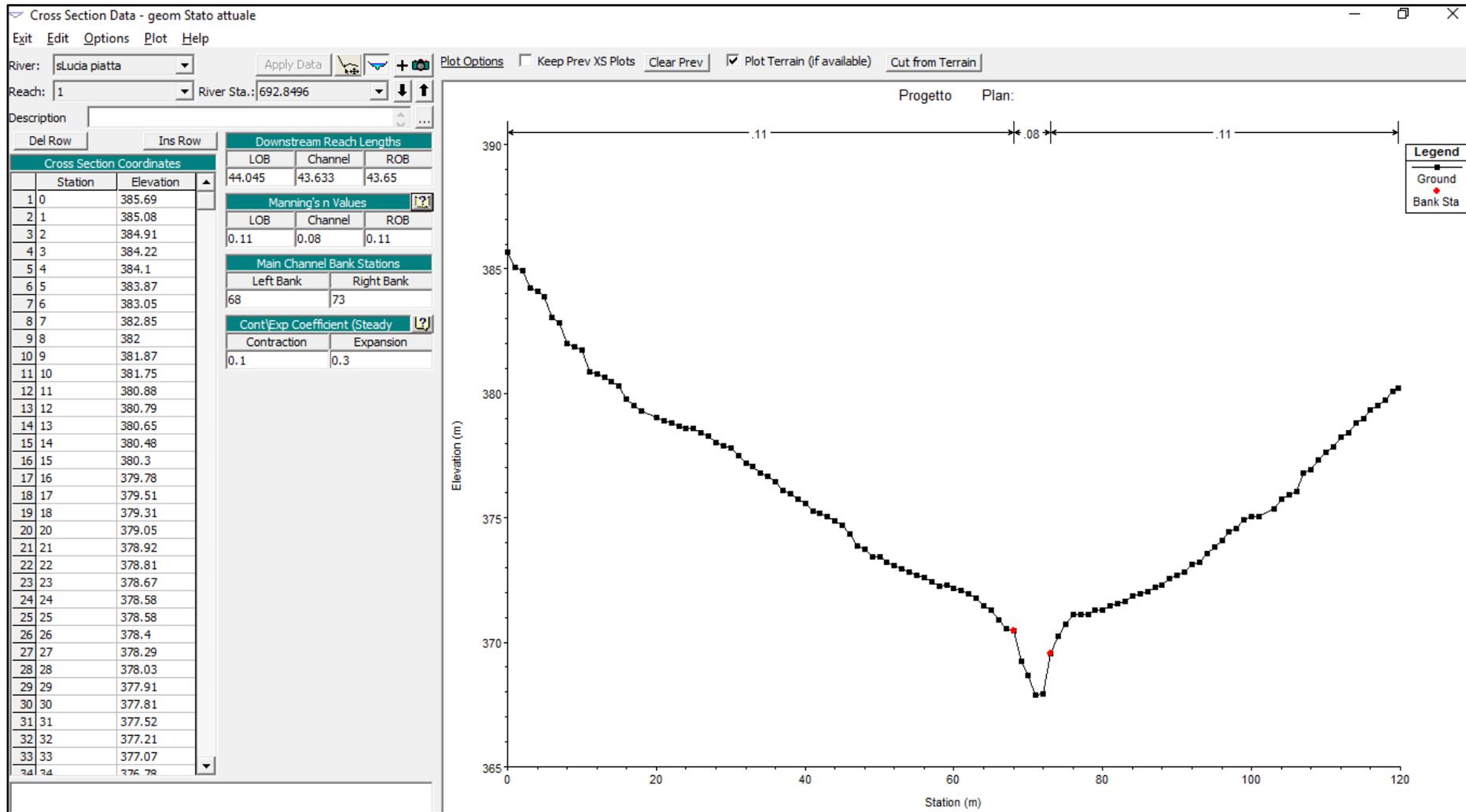


Fig. 5.4 – Esempio di una sezione rilevata e riportata in HEC-RAS

5.1.3. Modellazione delle particolarità presenti lungo l'asta fluviale

Per l'attraversamento stradale di Via Sonnino il fosso è stato intubato in una struttura a cannocchiale, mostrato nelle Figura 5.5 da monte e 5.6 da valle.



Fig. 5.5 – Attraversamento via Sonnino visto da monte.



Fig. 5.6 – Attraversamento via Sonnino visto da valle.

La struttura a cannocchiale è costituita da due tubazioni in calcestruzzo della lunghezza di circa 12 metri e di diametro 80 cm ciascuno.

Questa particolarità idraulica è stata modellata attraverso un elemento di tipo “Inline Structure” con doppio “Culvert” e con presenza di terrapieno rappresentato dal rilevato stradale. Sono stati assegnati la geometria ed i parametri idraulici in termini di coefficienti per perdite di carico localizzate in ingresso e in uscita e di coefficienti di scabrezza di Manning.

Si riporta la Figura 5.7 che rappresenta il risultato di questa fase:

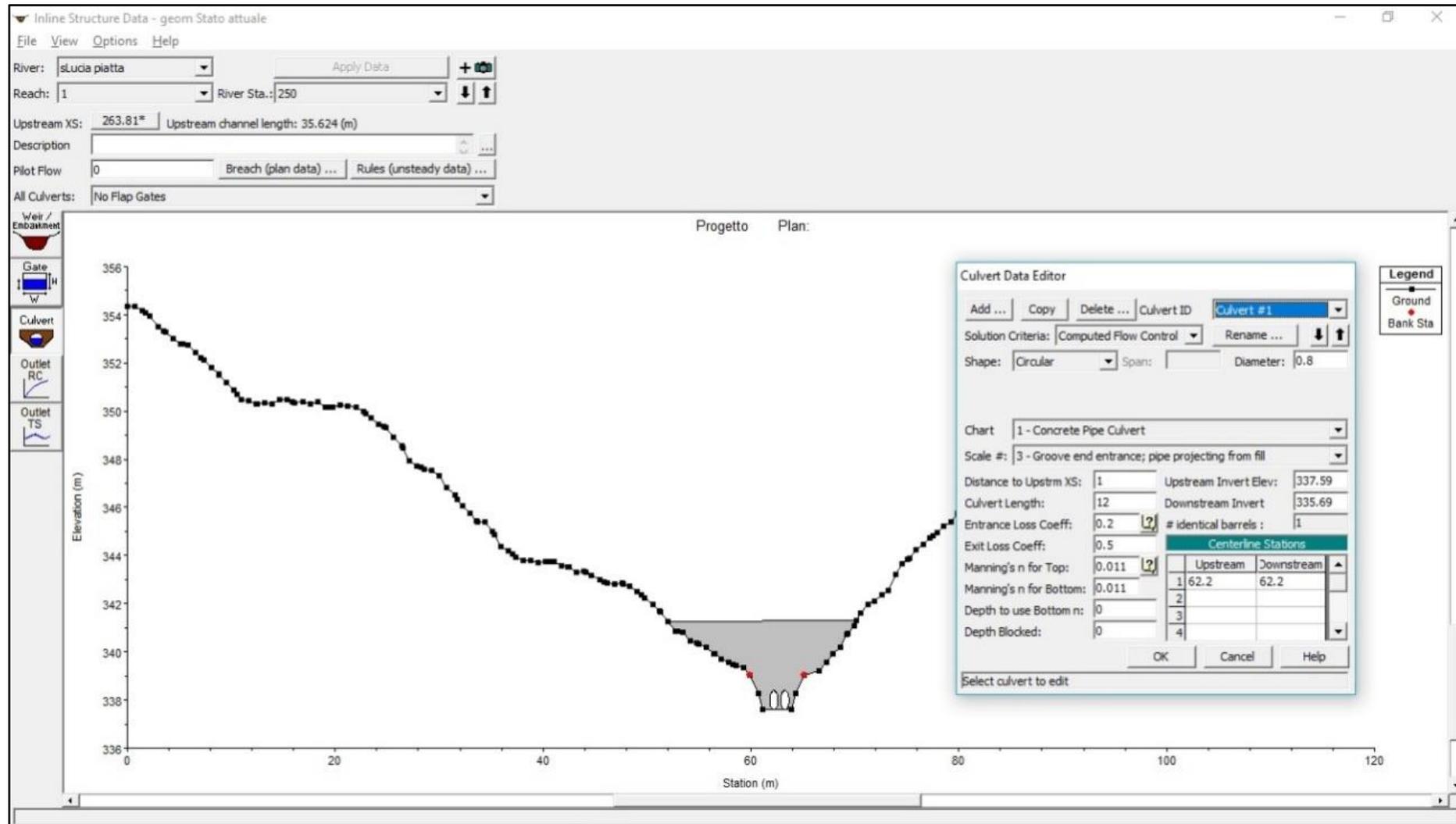


Fig. 5.7 – Sezione dell'attraversamento di Via Sonnino riportata in HEC-RAS

5.1.4. Individuazione delle condizioni al contorno

La ricostruzione dei profili di corrente in regime di moto permanente richiede la definizione di opportune condizioni al contorno alle sezioni di valle e di monte del tratto fluviale modellato.

Il tratto in esame termina con la soglia a stramazzo in Figura 5.8 che convoglia l'acqua verso la griglia di raccolta che porta al tratto intubato al di sotto dell'area verde di Santa Lucia.

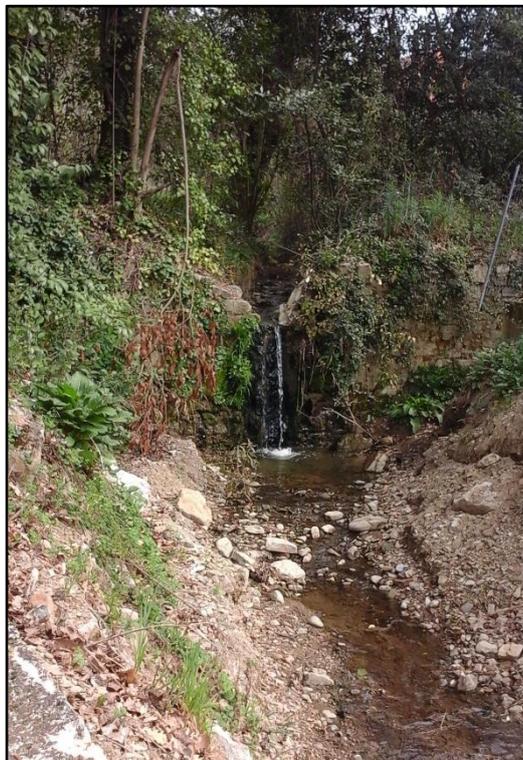


Fig. 5.8 – Vista della soglia a stramazzo

Ci si aspetta che la corrente passi al di sopra della soglia attraverso lo stato critico; per questo motivo alla sezione di valle del tratto studiato è stata assegnata la condizione al contorno di altezza critica (“Critical depth”) mentre alla sezione di monte è stata assegnata la condizione al contorno di “Normal depth” corrispondente all'altezza in condizioni di moto uniforme.

5.1.5. Implementazione dell'idrologia del sistema

Per la costruzione dei profili di corrente in regime di moto permanente l'idrologia del sistema è stata poi implementata nel codice di calcolo: sono state assegnate le portate attese per eventi di pioggia con tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni; i valori delle portate sono stati valutati mediante la procedura al capitolo 4 riferendosi a favore di sicurezza ad alte condizioni di umidità del suolo precedenti all'evento critico, considerando ovvero un Curve Number corretto per alte condizioni di umidità:

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{0.43 + 0.0057CN(II)}$$

I valori risultanti di portata di progetto sono riportati di seguito:

Tr = 50 anni	Q = 3.70 m ³ /s
Tr = 200 anni	Q = 5.45 m ³ /s
Tr = 500 anni	Q = 6.65 m ³ /s

5.1.6. Ricostruzione dei profili di corrente e calcolo dei livelli di moto permanente

L'implementazione del modello idraulico ha consentito la ricostruzione dei profili di corrente ed il calcolo dei livelli di moto permanente per gli eventi di piena attesi per eventi di pioggia di 50, 200 e 500 anni.

Evento di piena $Tr = 50$ anni

L'involuppo dei massimi livelli calcolati per l'evento di piena con tempo di ritorno 50 anni è mostrato in Figura 5.9; vengono anche mostrati la quota di fondo alveo e le quote di sommità destra e sinistra dell'alveo principale.

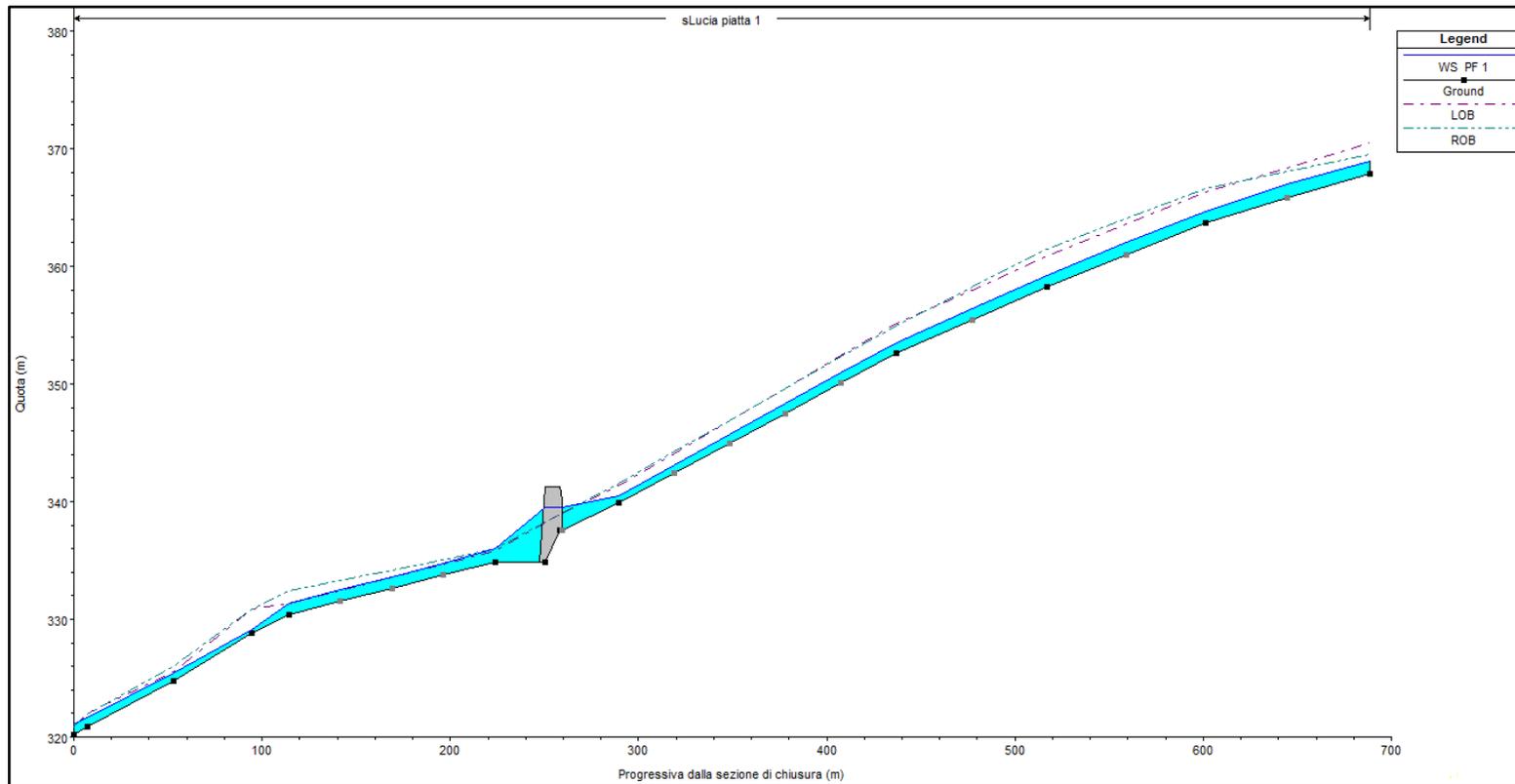


Fig. 5.9 - Involuppo dei massimi livelli calcolati per l'evento di piena con tempo di ritorno 50 anni.

Si può vedere che i massimi livelli raggiunti sono superiori alle quote di sommità dell'alveo principale in una fascia di alcuni metri a monte e a valle del rilevato corrispondente all'attraversamento di Via Sonnino.

Inoltre i massimi livelli superano tali quote nella sezione di chiusura, di cui è riportato un dettaglio nella Figura 5.10; il confine tra l'alveo principale e le zone golenali è qui evidenziato dai punti in rosso.

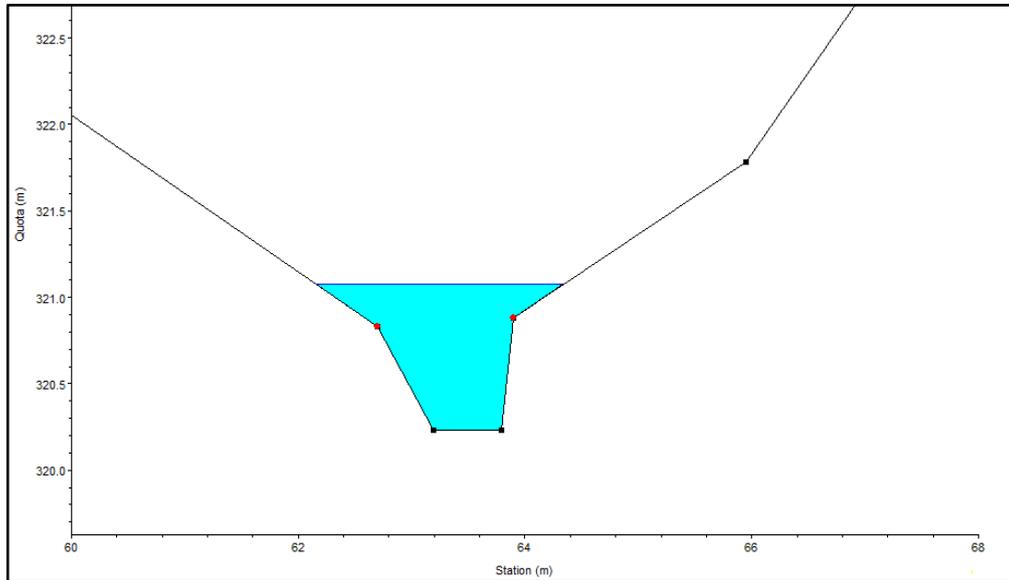


Fig. 5.10 – Sezione di chiusura, da notare il superamento delle quote di sommità dell'alveo da parte della piena con $Tr = 50$ anni.

Evento di piena Tr = 200 anni

L'involuppo dei massimi livelli calcolati per l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni è mostrato in Figura 5.11; vengono anche mostrati la quota di fondo alveo e le quote di sommità destra e sinistra dell'alveo principale.

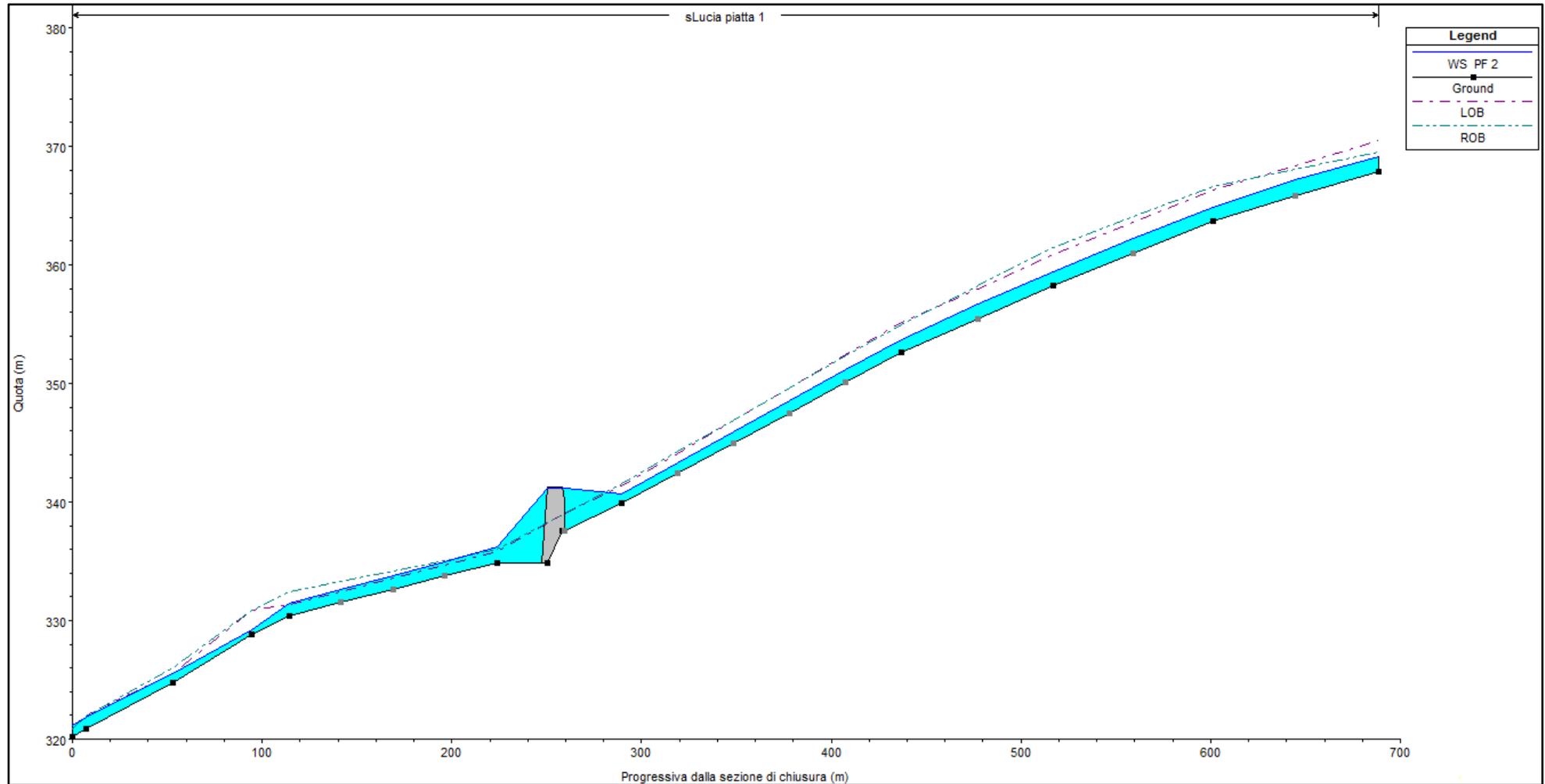


Fig. 5.11- Involuppo dei massimi livelli calcolati per l'evento di piena con tempo di ritorno 200 anni.

Si può vedere che i massimi livelli raggiunti sono superiori alle quote di sommità dell'alveo principale in una fascia di alcuni metri a monte e a valle del rilevato corrispondente all'attraversamento di Via Sonnino.

Inoltre i massimi livelli superano tali quote nella sezione di chiusura, di cui è riportato un dettaglio nella Figura 5.12; il confine tra l'alveo principale e le zone golenali è qui evidenziato dai punti in rosso.

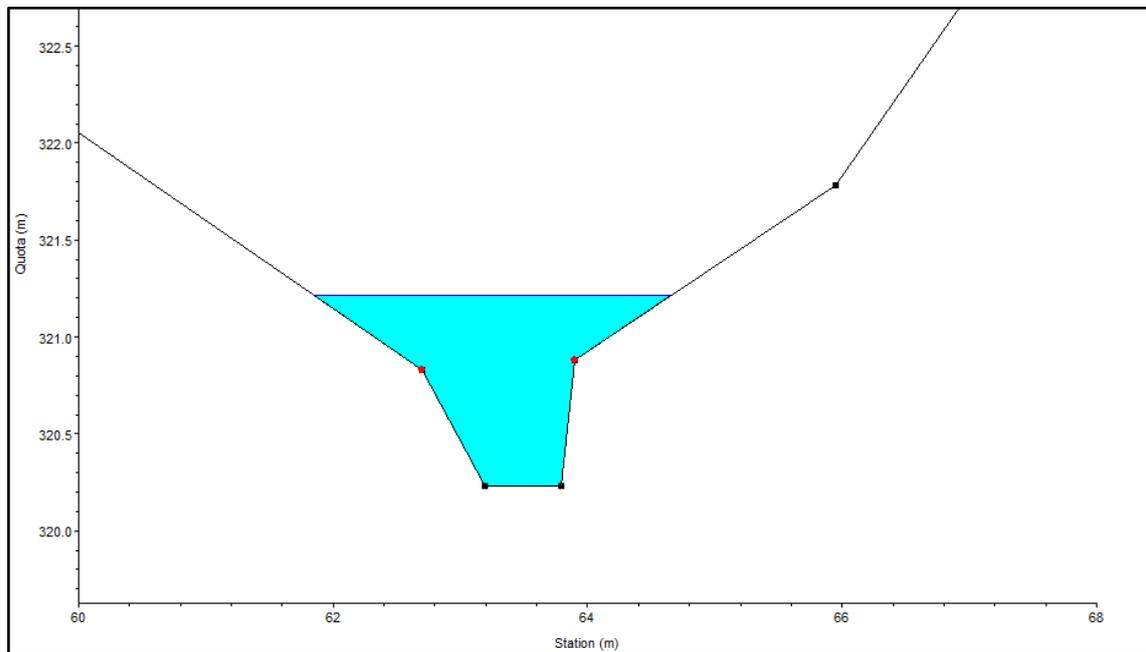


Fig. 5.12 - Sezione di chiusura, da notare il superamento delle quote di sommità dell'alveo da parte della piena con $Tr = 200$ anni.

Evento di piena Tr = 500 anni

L'involuppo dei massimi livelli calcolati per l'evento di piena con tempo di ritorno 500 anni è mostrato in Figura 5.13; vengono anche mostrati la quota di fondo alveo e le quote di sommità destra e sinistra dell'alveo principale.

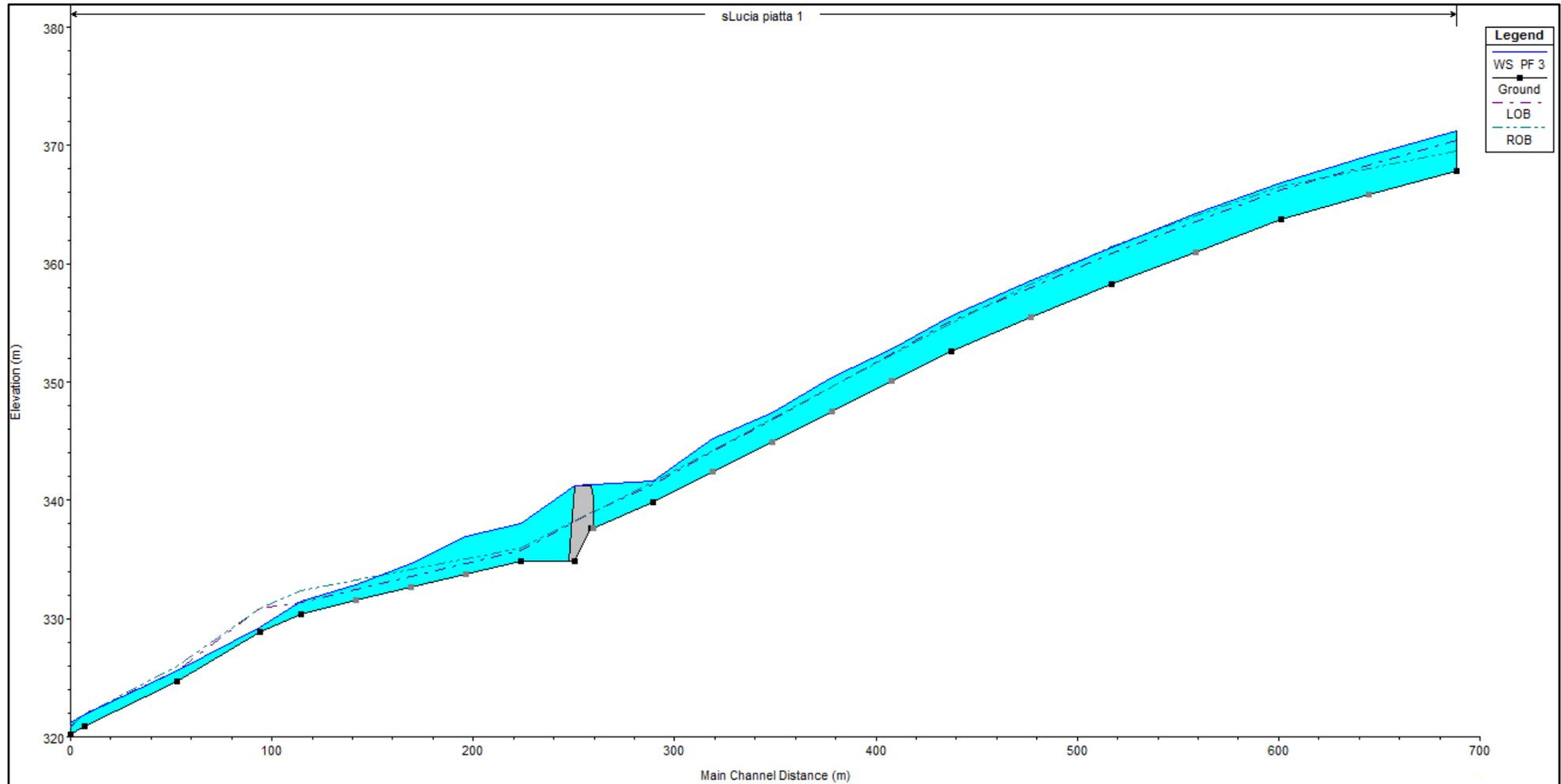


Fig. 5.13 - Involuppo dei massimi livelli calcolati per l'evento di piena con tempo di ritorno 500 anni

Si può vedere che i massimi livelli raggiunti sono superiori alle quote di sommità dell'alveo principale in una fascia di alcuni metri a monte e a valle del rilevato corrispondente all'attraversamento di Via Sonnino.

Inoltre i massimi livelli superano tali quote nella sezione di chiusura, di cui è riportato un dettaglio nella Figura 5.14; il confine tra l'alveo principale e le zone golenali è qui evidenziato dai punti in rosso.

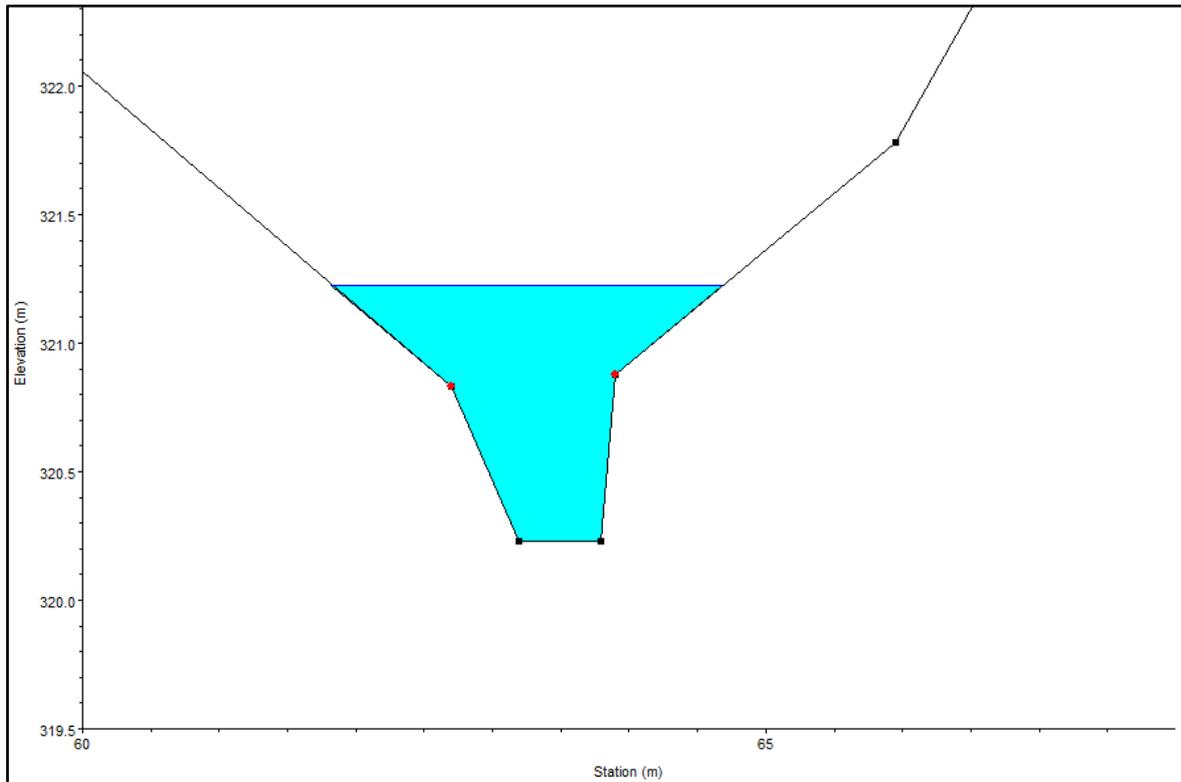


Fig. 5.14 - Sezione di chiusura, da notare il superamento delle quote di sommità dell'alveo da parte della piena con $Tr = 500$ anni.

5.2. Pericolosità nel tratto di valle

La pericolosità idraulica nel tratto di valle del Fosso S. Lucia Boschetto è stata valutata attraverso verifiche idrauliche locali delle sezioni d'interesse in regime di moto uniforme. Infatti, come già citato al Capitolo 5, 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:

- **Sezione A** - Attraversamento di tipo scatolare, presente pochi metri a monte della confluenza del Fosso Santa Lucia Boschetto con il Torrente Genna per l'attraversamento di Str. Ferro di Cavallo;
- **Sezione B** - Sezione circolare in corrispondenza dell'attraversamento di Viale del Percorso Verde;
- **Sezione C** - Attraversamento a cannocchiale in prossimità del laghetto del percorso verde di Pian di Massiano;
- **Sezione D** - Sezione circolare in corrispondenza dell'attraversamento del percorso pedonale all'interno del Percorso Verde di Pian di Massiano;
- **Sezione E** - Sezione di chiusura del tratto intubato che il fosso percorre a partire dalla zona a valle dell'attraversamento ferroviario fino a valle dell'attraversamento di Viale dell'Ingegneria;
- **Sezione F** - Attraversamento del tratto ferroviario compreso tra le stazioni di Perugia e Perugia Università;
- **Sezione G** - Sezione circolare in corrispondenza dell'attraversamento di Via Annibale Spagnoli detto Lino;
- **Sezione H** - Sezione circolare in corrispondenza dell'attraversamento dell'area verde di S. Lucia.

La localizzazione di tali sezioni è raffigurata in Figura 5.15:

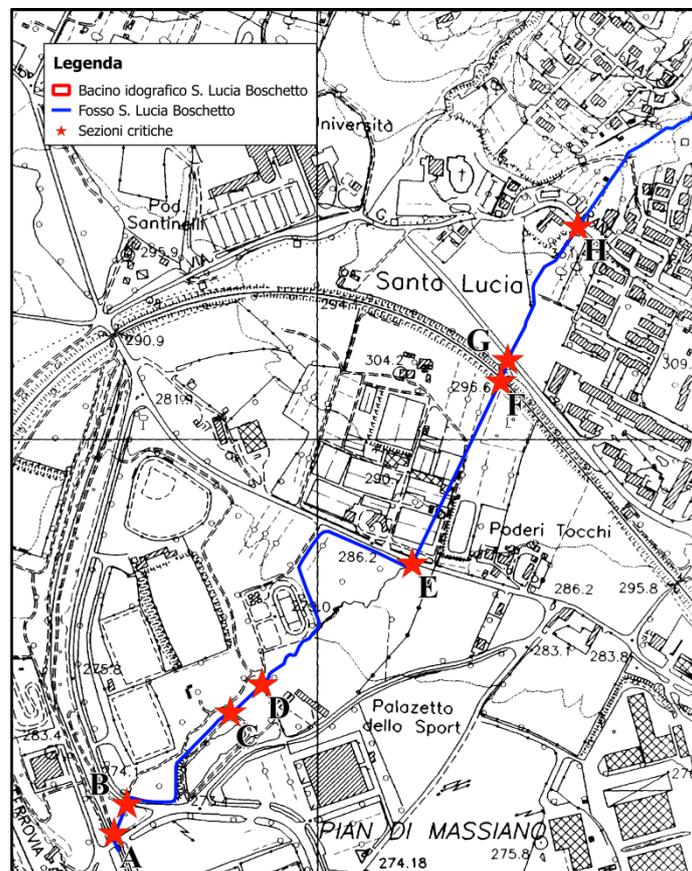


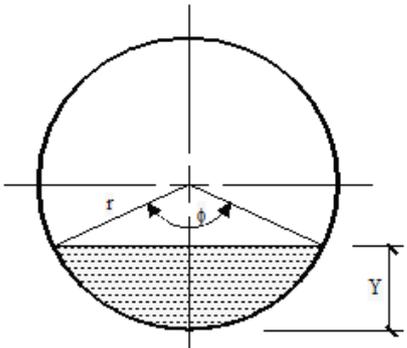
Fig. 5.15 – Localizzazione delle sezioni critiche nel tratto di valle del Fosso S. Lucia Boschetto

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:

$$Q_0 = A_0 \times \chi_0 \times \sqrt{R_0} \times i \quad \text{Chezy}$$

$$\chi_0 = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \quad \text{Bazin}$$


$$Y = r \times \left(1 - \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right)\right)$$

$$A = \frac{r^2}{2} \times (\varphi - \sin\varphi)$$

$$C = r \times \varphi$$

$$R = \frac{A}{C}$$

$$\% = \frac{Y}{2 \times r}$$

Per gli attraversamenti di tipo scatolare è stata calcolata la velocità della corrente transitante in moto uniforme considerando la situazione di massima portata a cielo aperto (situazione limite prima che la corrente vada in pressione), riferendosi alla geometria della sezione trapezia e mediante la relazione di Gauckler-Strickler:

$$V_m = K_S R^{2/3} i^{1/2}$$

Quindi la portata massima smaltibile dalla sezione è calcolata come prodotto tra V_m e l'area della sezione utile.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per ognuna delle sezioni considerate.

❖ Sezione A

Attraversamento di tipo scatolare, presente pochi metri a monte della confluenza del Fosso Santa Lucia Boschetto con il Torrente Genna per l'attraversamento di Str. Ferro di Cavallo – Santa Lucia. (Figura 5.16 e Figura 5.17)

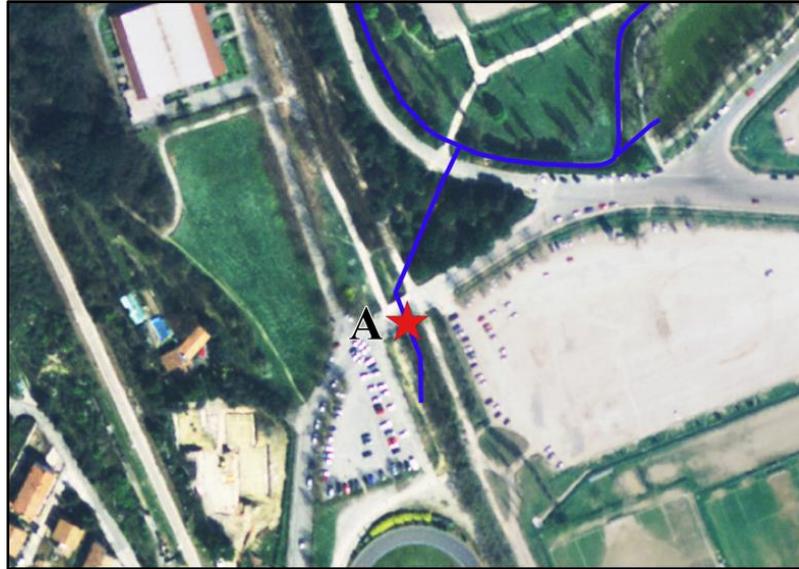


Fig. 5.16 – Posizione in carta della sezione A



Fig. 5.17 – Immagine dell'attraversamento stradale - sezione A

Tipologia: attraversamento scatolare in calcestruzzo

Dimensioni: $2,10 \times 1,80 \text{ m}$

Area della sezione utile: $3,78 \text{ m}^2$

Pendenza locale dell'alveo: $0,01$

Coefficiente di Strickler: 80

Velocità media della corrente in condizioni di moto uniforme: $V_m = 6,08 \text{ m/s}$

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 23 \text{ m}^3/\text{s}$

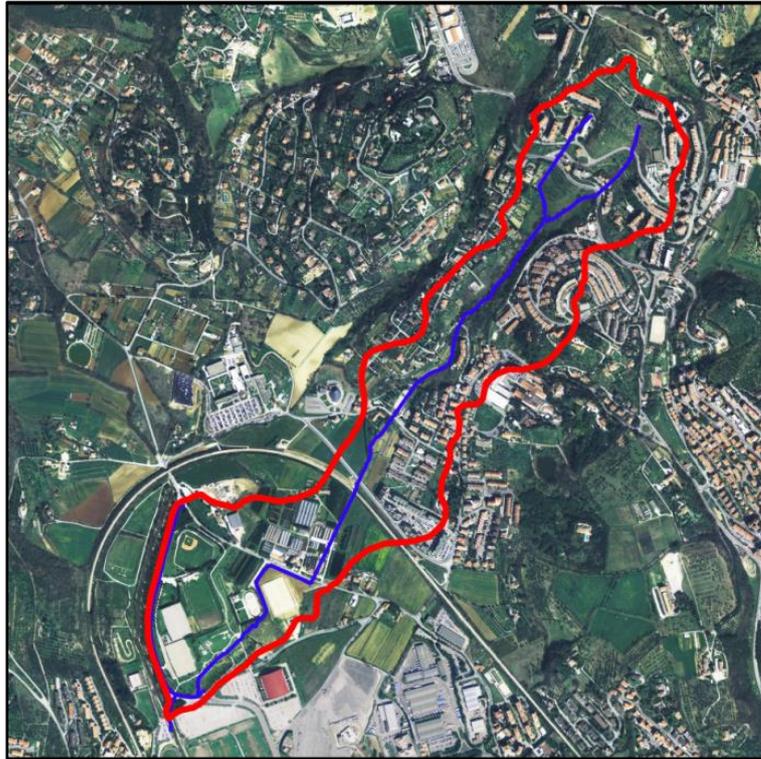


Fig. 5.18 - Bacino idrografico sotteso dalla sezione A

Il bacino idrografico sotteso dalla sezione A ha una superficie di 9,12 ettari ed è rappresentato in Figura 5.18.

Le portate di progetto, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 2.1, risultano essere:

Tr = 50 anni	$Q_{C,50} = 4,18 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{C,200} = 6,48 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,200} < Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{C,500} = 8,08 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,500} < Q_m$

La sezione A risulta compatibile con il transito delle portate attese.

❖ Sezione B

Sezione circolare in corrispondenza dell'attraversamento di Viale del Percorso Verde.
(Figura 5.19 e Figura 5.20)

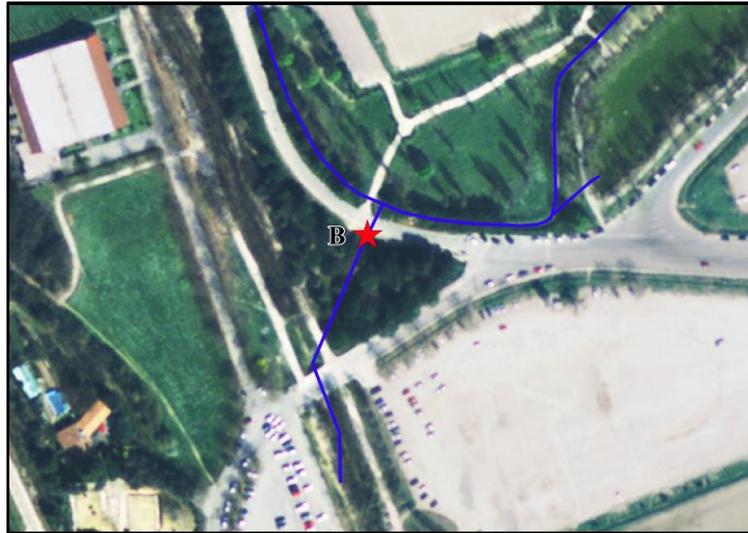


Fig. 5.19 – Posizione in carta della sezione B



Fig. 5.20 – Immagine dell'attraversamento stradale - sezione B

Tipologia: sezione circolare in calcestruzzo

Dimensioni: *diametro 140 cm*

Area della sezione utile: $1,54 \text{ m}^2$

Pendenza locale dell'alveo: $0,005$

Coefficiente di attrito (Bazin): $0,23$

Velocità della corrente al transito della massima portata: $V_m = 2,86 \text{ m/s}$

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 4,32 \text{ m}^3/\text{s}$

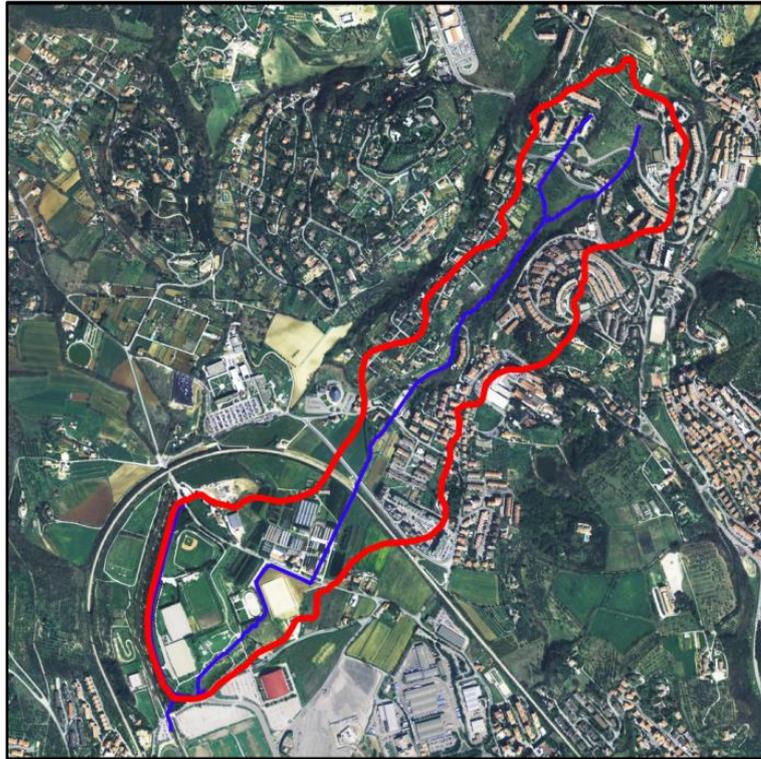


Fig. 5.21 - Bacino idrografico sotteso dalla sezione B

Il bacino idrografico sotteso dalla sezione B ha una superficie di 9,08 ettari ed è rappresentato in Figura 5.21.

Le portate di progetto, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 2.1, risultano essere:

Tr = 50 anni	$Q_{C,50} = 4,15 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{C,200} = 6,43 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,200} > Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{C,500} = 8,02 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,500} > Q_m$

La sezione B risulta compatibile con il transito della portata attesa riferita ad un tempo di ritorno di 50 anni ma incompatibile con il transito della portata attesa riferita ad un tempo di ritorno di 200 anni.

Classe di pericolosità: **B**

❖ Sezione C

Attraversamento a cannocchiale in prossimità del laghetto del percorso verde di Pian di Massiano. Le portate di magra vengono convogliate verso il suddetto laghetto, mentre in caso di piena il percorso del fosso perimetrale al laghetto raccoglie gran parte della portata attraverso la tubazione di destra. (Figura 5.22, 5.23)



Fig. 5.22 – Posizione in carta della sezione C



Fig. 5.23 – Immagine dell'attraversamento stradale - sezione C

Tipologia: due sezioni circolari in calcestruzzo

Dimensioni: *diametri 60 e 100 cm*

Fattore di riduzione della sezione - *tubazione di destra: 10% per principio di interrimento.*

Area della sezione utile: *0,79 m² e 0,28 m²*

Pendenza locale dell'alveo: *0,032*

Coefficiente di attrito (Bazin): *0,23*

Velocità della corrente al transito della massima portata:

tubazione di sinistra $V_{m,s} = 4,15 \text{ m/s}$

tubazione di destra $V_{m,d} = 5,24 \text{ m/s}$

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme:

tubazione di sinistra $Q_{\max,s} = 1,15 \text{ m}^3/\text{s}$

tubazione di destra $Q_{\max,d} = 4,04 \text{ m}^3/\text{s}$

totale $Q_m = 5,19 \text{ m}^3/\text{s}$

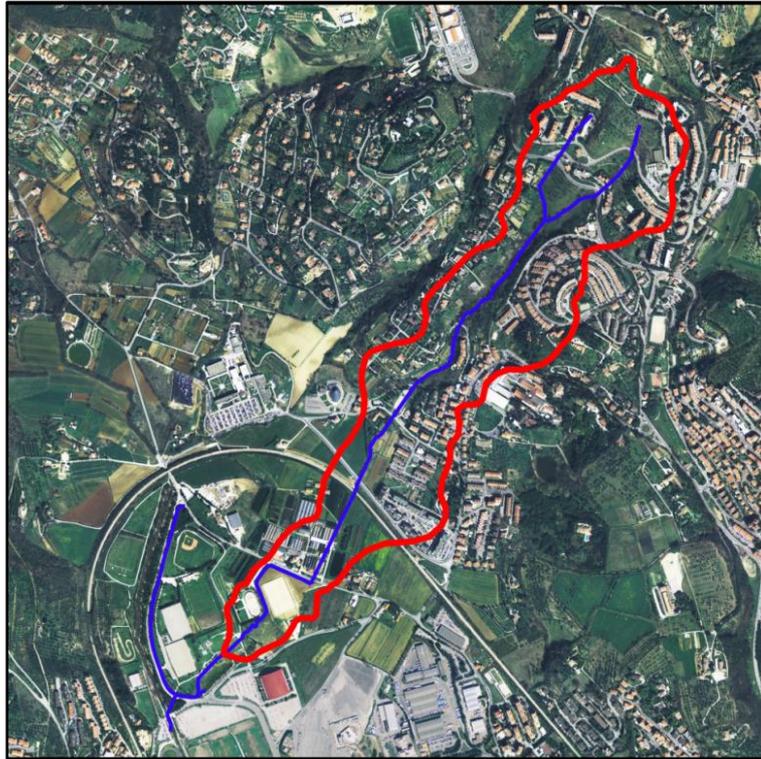


Fig. 5.24 - Bacino idrografico sotteso dalla sezione C

Il bacino idrografico sotteso dalla sezione C ha una superficie di 7,21 ettari ed è rappresentato in Figura 5.24.

Le portate di progetto, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 2.1, risultano essere:

Tr = 50 anni	$Q_{C,50} = 3,16 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{C,200} = 4,97 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,200} < Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{C,500} = 6,26 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,500} > Q_m$

La sezione C risulta compatibile con il transito della portata attesa riferita ad un tempo di ritorno di 200 anni ma incompatibile con il transito della portata attesa riferita ad un tempo di ritorno di 500 anni.

Classe di pericolosità: C

❖ Sezione D

Sezione circolare in corrispondenza dell'attraversamento del percorso pedonale all'interno del Percorso Verde di Pian di Massiano. (Figura 5.25 e Figura 5.26)



Fig. 5.25 – Posizione in carta della sezione D



Fig. 5.26 – Immagine dell'attraversamento stradale - sezione D

Tipologia: sezione circolare in calcestruzzo

Dimensioni: *diametro 150 cm*

Area della sezione utile: $1,77 \text{ m}^2$

Pendenza locale dell'alveo: $0,043$

Coefficiente di attrito (Bazin): $0,23$

Velocità della corrente al transito della massima portata: $V_m = 8,75 \text{ m/s}$

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 15,18 \text{ m}^3/\text{s}$

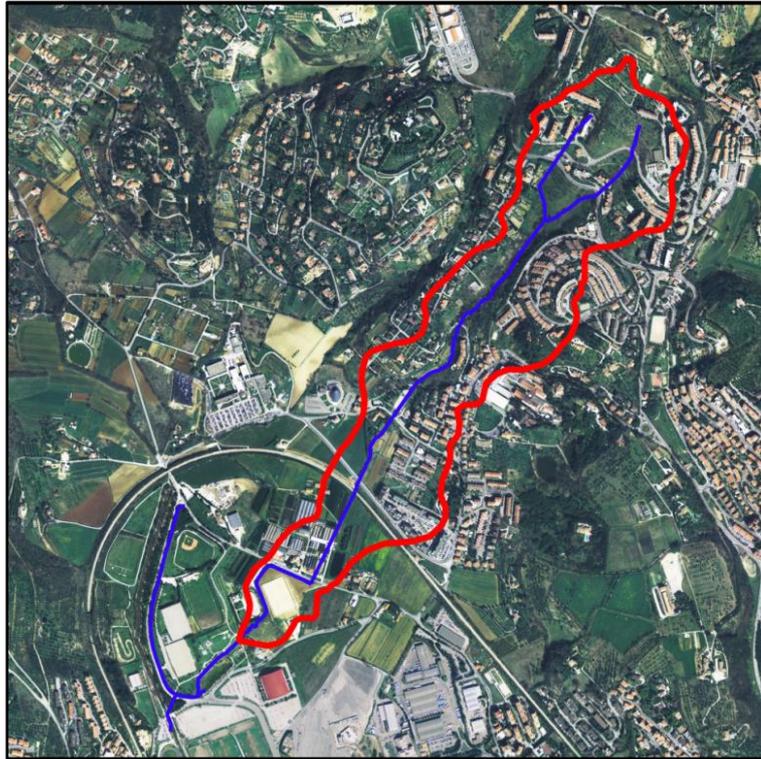


Fig. 5.27 - Bacino idrografico sotteso dalla sezione D

Il bacino idrografico sotteso dalla sezione D ha una superficie di 7,07 ettari ed è rappresentato in Figura 5.27.

Le portate di progetto, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 2.1, risultano essere:

Tr = 50 anni	$Q_{C,50} = 3,08 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{C,200} = 4,86 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,200} < Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{C,500} = 6,12 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,500} < Q_m$

La sezione D risulta compatibile con il transito della portate attese.

❖ Sezione E

Sezione circolare di chiusura del tratto intubato che il fosso percorre a partire dalla zona a valle dell'attraversamento ferroviario fino a valle dell'attraversamento di Viale dell'Ingegneria. (Figura 5.28 e Figura 5.29)



Fig. 5.28 – Posizione in carta della sezione E



Fig. 5.29 – Immagine dell'attraversamento stradale - sezione E

Tipologia: sezione circolare in calcestruzzo

Dimensioni: *diametro 100 cm*

Area della sezione utile: $0,79 \text{ m}^2$

Pendenza locale dell'alveo: $0,1$

Coefficiente di attrito (Bazin): $0,23$

Velocità della corrente al transito della massima portata: $V_m = 10,30 \text{ m/s}$

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 7,94 \text{ m}^3/\text{s}$

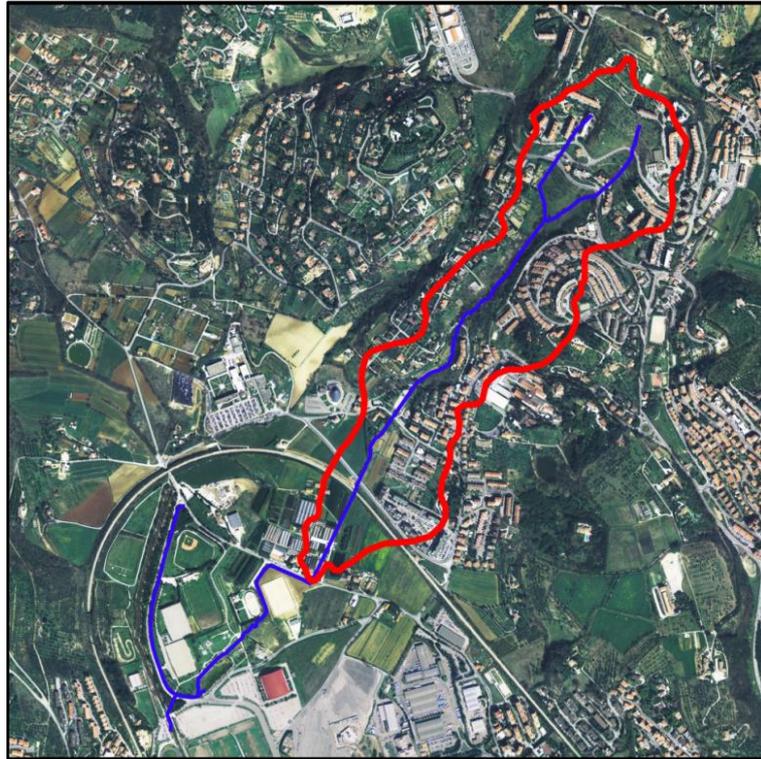


Fig. 5.30 - Bacino idrografico sotteso dalla sezione E

Il bacino idrografico sotteso dalla sezione E ha una superficie di 6,45 ettari ed è rappresentato in Figura 5.30.

Le portate di progetto, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 2.1, risultano essere:

Tr = 50 anni	$Q_{C,50} = 2,69 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{C,200} = 4,30 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,200} < Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{C,500} = 5,45 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,500} < Q_m$

La sezione E risulta compatibile con il transito della portate attese.

❖ Sezione F

Attraversamento del tratto ferroviario compreso tra le stazioni di Perugia e Perugia Università. Dal sopralluogo effettuato si è riscontrato un forte interrimento della sezione, che presenta attualmente un'area utile al deflusso molto limitata. (Figura 5.31 e Figura 5.32)

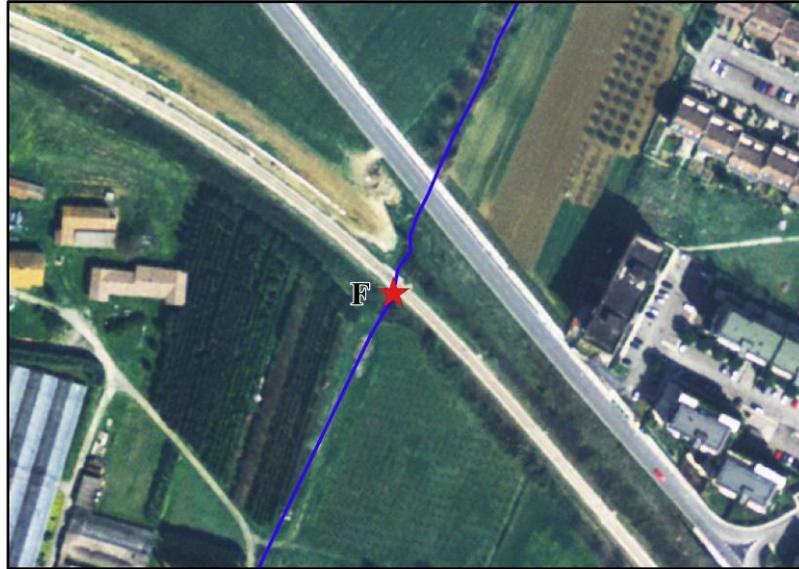


Fig. 5.31 – Posizione in carta della sezione F



Fig. 5.32 – Immagine dell'attraversamento ferroviario - sezione F

Tipologia: sezione trapezia con luce limitata dall'impalcato dell'attraversamento stradale

Dimensioni attuali: larghezza alla base 2.5m, pendenza sponde 1:3, luce libera 15 cm

Area della sezione utile: 0,44 m²

Pendenza locale dell'alveo: 0,035

Coefficiente di Strickler: 25

Velocità media della corrente in condizioni di moto uniforme: $V_m = 1,19 \text{ m/s}$

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 0,53 \text{ m}^3/\text{s}$

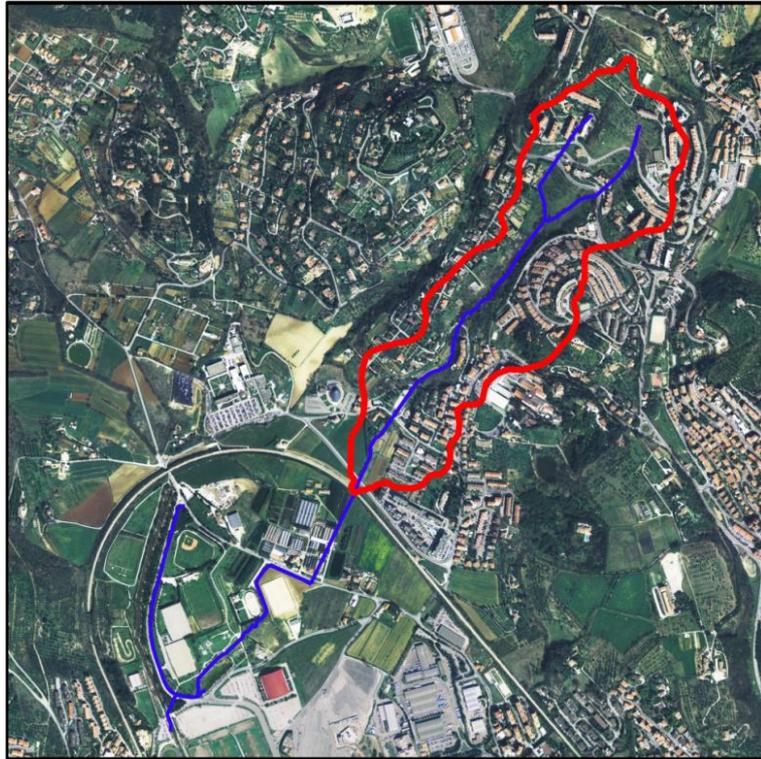


Fig. 5.33 - Bacino idrografico sotteso dalla sezione F

Il bacino idrografico sotteso dalla sezione F ha una superficie di 5,48 ettari ed è rappresentato in Figura 5.33.

Le portate di progetto, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 2.1, risultano essere:

Tr = 50 anni	$Q_{C,50} = 2,17 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,50} > Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{C,200} = 3,53 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,200} > Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{C,500} = 4,51 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,500} > Q_m$

La sezione F risulta incompatibile con il transito della portata attesa riferita ad un tempo di ritorno di 50 anni.

Classe di pericolosità: **A**

❖ Sezione G

Sezione circolare in corrispondenza dell'attraversamento di Via Annibale Spagnoli detto Lino.
(Figura 5.34 e Figura 5.35)



Fig. 5.34 – Posizione in carta della sezione G

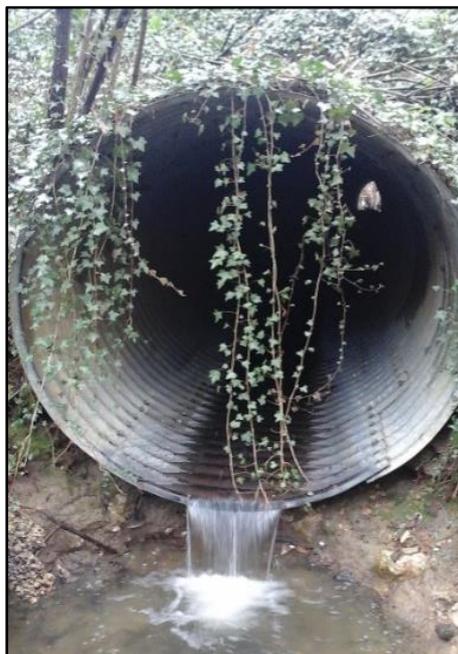


Fig. 5.35 – Immagine dell'attraversamento stradale - sezione G

Tipologia: sezione circolare in lamiera corrugata

Dimensioni: *diametro 200 cm*

Area della sezione utile: $3,14 \text{ m}^2$

Pendenza locale dell'alveo: $0,037$

Coefficiente di attrito (Bazin): $0,30$

Velocità della corrente al transito della massima portata: $V_m = 9,07 \text{ m/s}$

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 27,97 \text{ m}^3/\text{s}$

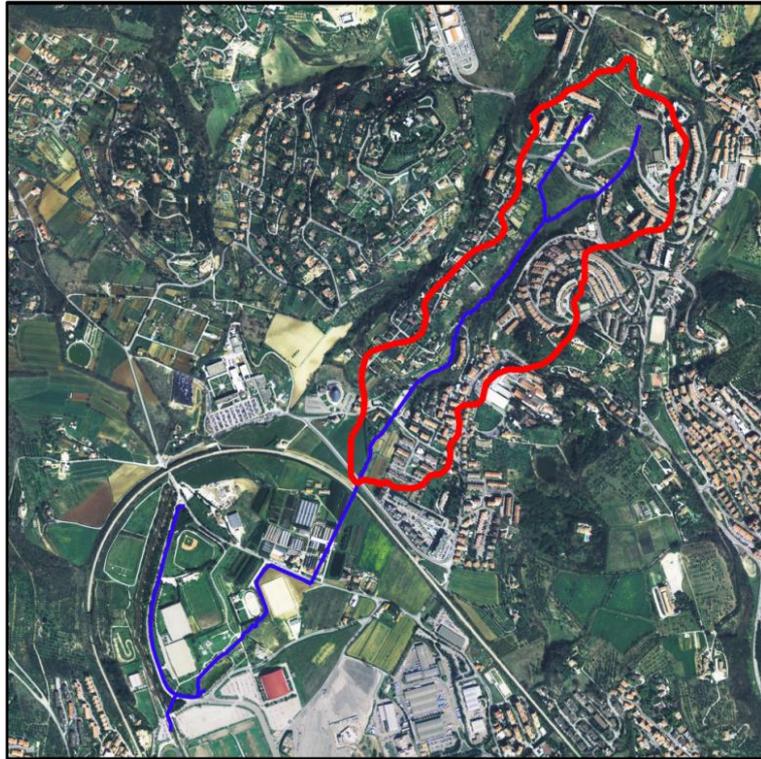


Fig. 5.36 - Bacino idrografico sotteso dalla sezione G

Il bacino idrografico sotteso dalla sezione G ha una superficie di 5,47 ettari ed è rappresentato in Figura 5.36.

Le portate di progetto, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 2.1, risultano essere:

Tr = 50 anni	$Q_{C,50} = 2,15 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{C,200} = 3,51 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,200} < Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{C,500} = 4,48 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{C,500} < Q_m$

La sezione G risulta compatibile con il transito della portate attese.

❖ Sezione H

Sezione circolare in corrispondenza dell'attraversamento dell'area verde di Santa Lucia.
(Figura 5.37 e Figura 5.38)



Fig. 5.37 – Posizione in carta della sezione H



Fig. 5.38 – Immagine della fine del tratto intubato a valle dell'area verde di Santa Lucia - sezione H

Tipologia: sezione circolare in calcestruzzo

Dimensioni: *diametro 120 cm*

Area della sezione utile: $1,13 m^2$

Pendenza locale dell'alveo: $0,005$

Coefficiente di attrito (Bazin): $0,23$

Velocità della corrente al transito della massima portata: $V_m = 2,54 m/s$

Portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme: $Q_m = 2,63 m^3/s$

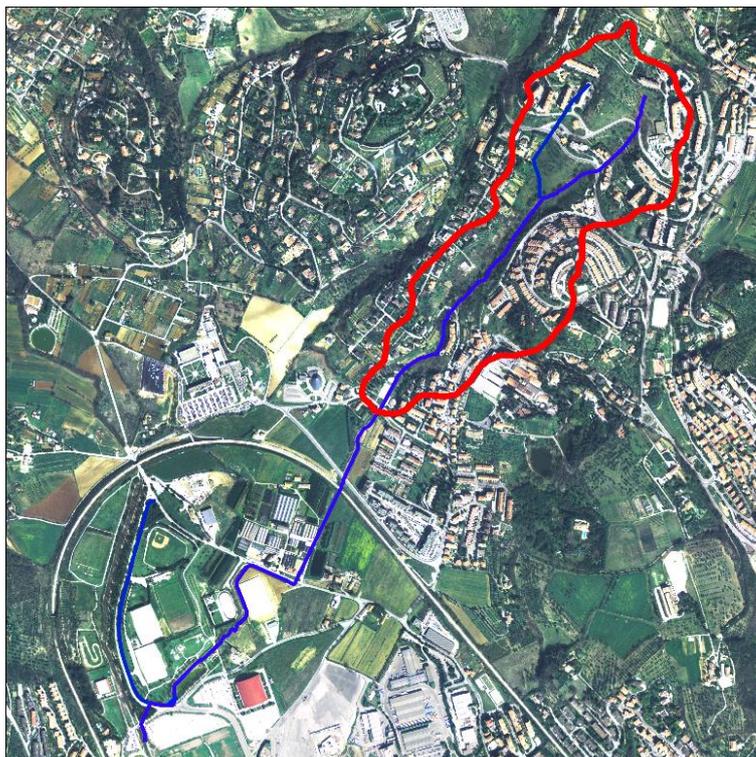


Fig. 5.39 - Bacino idrografico sotteso dalla sezione H

Il bacino idrografico sotteso dalla sezione H ha una superficie di 4,20 ettari ed è rappresentato in Figura 5.39.

Le portate di progetto, valutate con la metodologia di calcolo al capitolo 2.1, risultano essere:

Tr = 50 anni	$Q_{C,50} = 1,69 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,50} < Q_m$
Tr = 200 anni	$Q_{C,200} = 2,79 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,200} > Q_m$
Tr = 500 anni	$Q_{C,500} = 3,59 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{c,500} > Q_m$

La sezione H risulta compatibile con il transito della portata attesa riferita ad un tempo di ritorno di 50 anni ma incompatibile con il transito della portata attesa riferita ad un tempo di ritorno di 200 anni.

Classe di pericolosità: **B**

Si riepilogano in Tabella 5.2 i risultati delle verifiche idrauliche effettuate.

	Pericolosità Idraulica			
	Pericolosità A	Pericolosità B	Pericolosità C	<i>Sezione compatibile con le portate attese</i>
<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		

Tab. 5.2 – Classi di pericolosità idraulica da esondazione delle sezioni analizzate

5.3. Effetti di incremento della pericolosità in caso manutenzione ordinaria carente

Per un corso d'acqua intubato per gran parte del suo corso, come nel caso del Fosso Santa Lucia Boschetto nel tratto di valle analizzato al paragrafo 5.2, è fondamentale programmare e occuparsi della manutenzione ordinaria delle sezioni, garantendo l'integrità delle aree efficaci per il deflusso, evitando fenomeni d'interrimento e di rottura delle tubazioni.

L'interrimento e il deposito di detriti di varia natura (granulari, arbustivi,...) possono infatti comportare importanti riduzioni delle sezioni utili e un conseguente incremento della pericolosità idraulica.

A questo proposito, la sezione più critica tra quelle analizzate risulta essere la sezione H (tratto intubato al di sotto dell'area verde di Santa Lucia): il salto attraverso la griglia subito a monte di questo tratto e la debole pendenza dello stesso implicano infatti una riduzione della velocità e della capacità di trasporto della corrente, e quindi depositi locali; d'altra parte, le maglie della griglia a monte non sono abbastanza strette da trattenere il trasporto solido proveniente da monte. Di conseguenza, la sezione circolare, in caso di manutenzione ordinaria carente, si troverà spesso ad avere un'area efficace al deflusso ridotta.

Di fatto, dalle videoispezioni effettuate in data 24/05/2017 si è potuta costatare una parzializzazione molto significativa della sezione, con un'area utile al deflusso molto ridotta dalla presenza di materiale trasportato da monte dalla corrente.



Fig. 5.40 – Foto da videoispezione: interrimento della tubatura

Si riporta di seguito un'analisi dell'incremento della pericolosità idraulica per diversi fattori di riduzione della sezione circolare in corrispondenza dell'attraversamento dell'area verde di Santa Lucia, al fine di sottolineare l'importanza della manutenzione ordinaria e delle rimozione periodica dei sedimenti:

<i>Sezione circolare in corrispondenza dell'attraversamento dell'area verde di Santa Lucia</i>				
Fattore di riduzione della sezione (%)	Area della sezione utile (m²)	Portata massima smaltibile (m³/s)	Tempo di ritorno dell'evento critico	Classe di pericolosità
0	1.13	2.88	200	B
25	0.85	2.16	100	A/B
50	0.57	1.44	50	A
75	0.28	0.72	25	A
85	0.17	0.43	5	A

D'altra parte, anche rotture locali delle tubazioni comporterebbero un brusco incremento della pericolosità idraulica; a questo proposito, si segnala come dalle videoispezioni effettuate in data 24/05/2017 si sono potute osservare diverse lesioni lungo il tratto di tubazione che attraversa l'area verde di Santa Lucia.



Fig. 5.41 – Foto da videoispezione: lesioni strutturali

Per completezza si allega alla presente relazione il rapporto della suddetta videoispezione, con allegato materiale fotografico e video.

5.4. Individuazione delle fasce di pericolosità

Sulla base dei profili di moto permanente risultanti dalla modellazione idraulica dell'asta fluviale per il tratto di monte, delle verifiche idrauliche locali effettuate per il tratto di valle e delle informazioni morfologiche da cartografia sono state individuate le fasce di pericolosità idraulica (Figura 5.42):

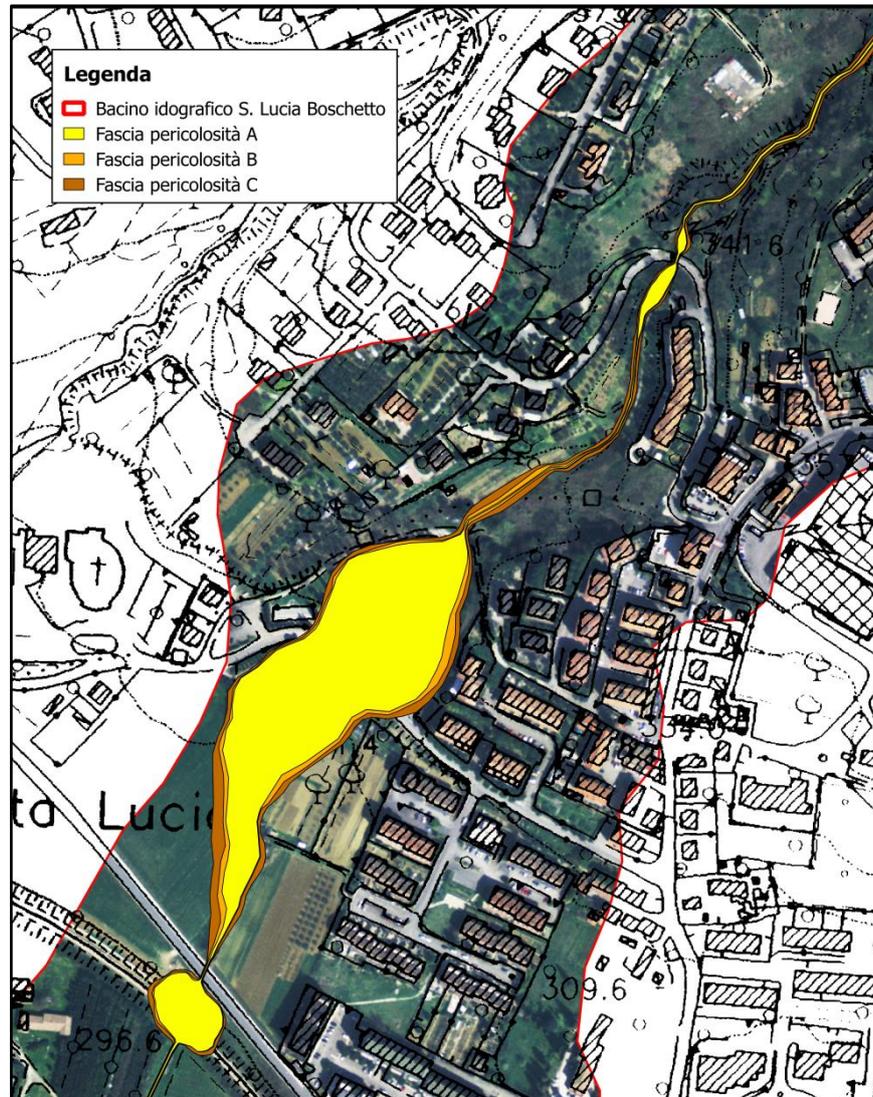


Fig. 5.42 - Mappa delle fasce di pericolosità idraulica nel bacino del Fosso S. Lucia Boschetto

6. 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:

- Edificato residenziale e commerciale
- Impianti sportivi
- Aree verdi attrezzate
- Linea ferroviaria
- Rete viaria e aree di parcheggio
- Seminativi e colture orticole

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: molto elevato (ME), elevato (E), medio (M), basso (Ba).

	BASSO	MEDIO	ELEVATO	MOLTO ELEVATO
<i>Edificato residenziale</i>				X
<i>Edificato commerciale</i>			X	
<i>Impianti sportivi</i>			X	
<i>Aree verdi attrezzate</i>	X			
<i>Linea ferroviaria</i>		X		
<i>Rete viaria e aree di parcheggio</i>		X		
<i>Seminativi e colture orticole</i>	X			

I risultati di questa fase sono riportati in Figura 6.1:

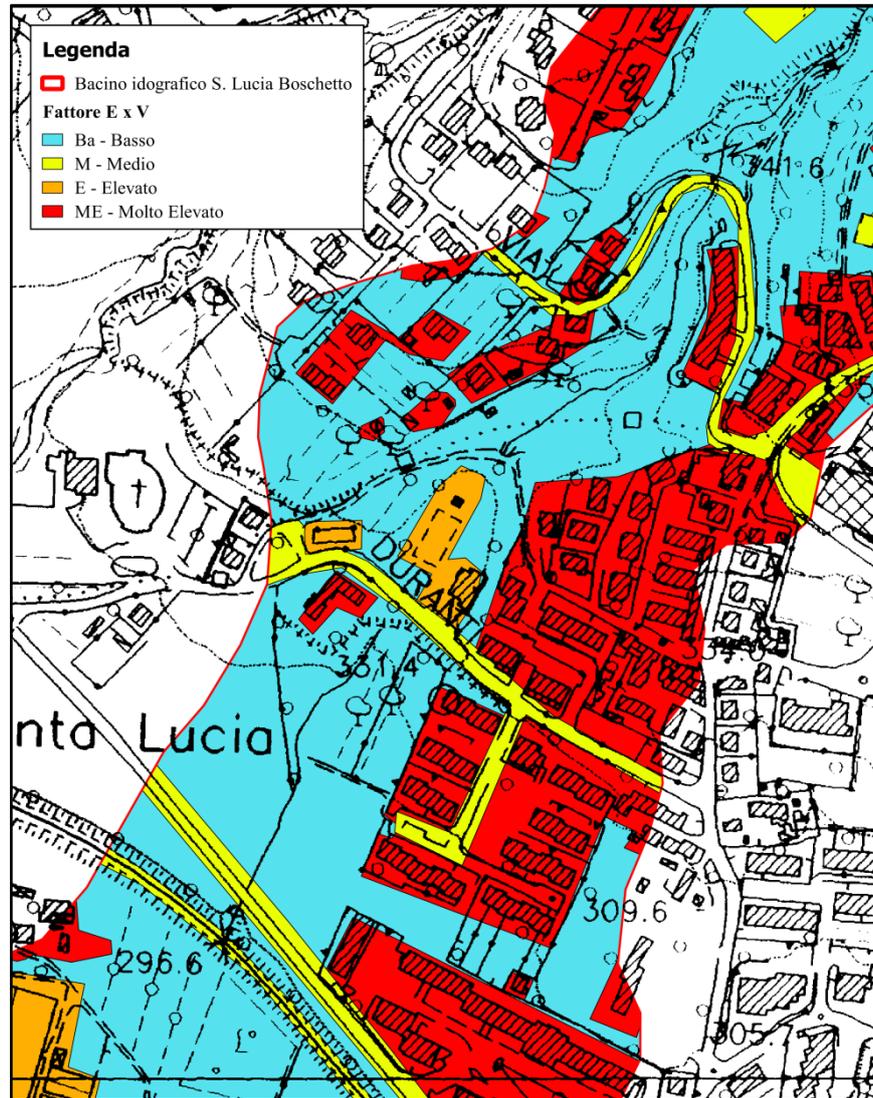


Fig. 6.1 – Mappa del parametro di esposizione e vulnerabilità nell'area d'interesse

7. 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:

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

Dalla combinazione della mappa del parametro P (pericolosità) redatta al paragrafo 5.4 e della mappa del parametro $E \times V$ (esposizione e vulnerabilità) redatta al paragrafo 6.1, è stata ricavata la mappa del rischio idraulico da esondazione all'interno del bacino del Fosso Santa Lucia Boschetto (Figura 7.1), assegnando le classi di rischio alle singole aree secondo la matrice riportata in tabella 7.1:

		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. 7.1 – Classi di rischio idraulico in funzione della classe di pericolosità e del parametro di esposizione e vulnerabilità

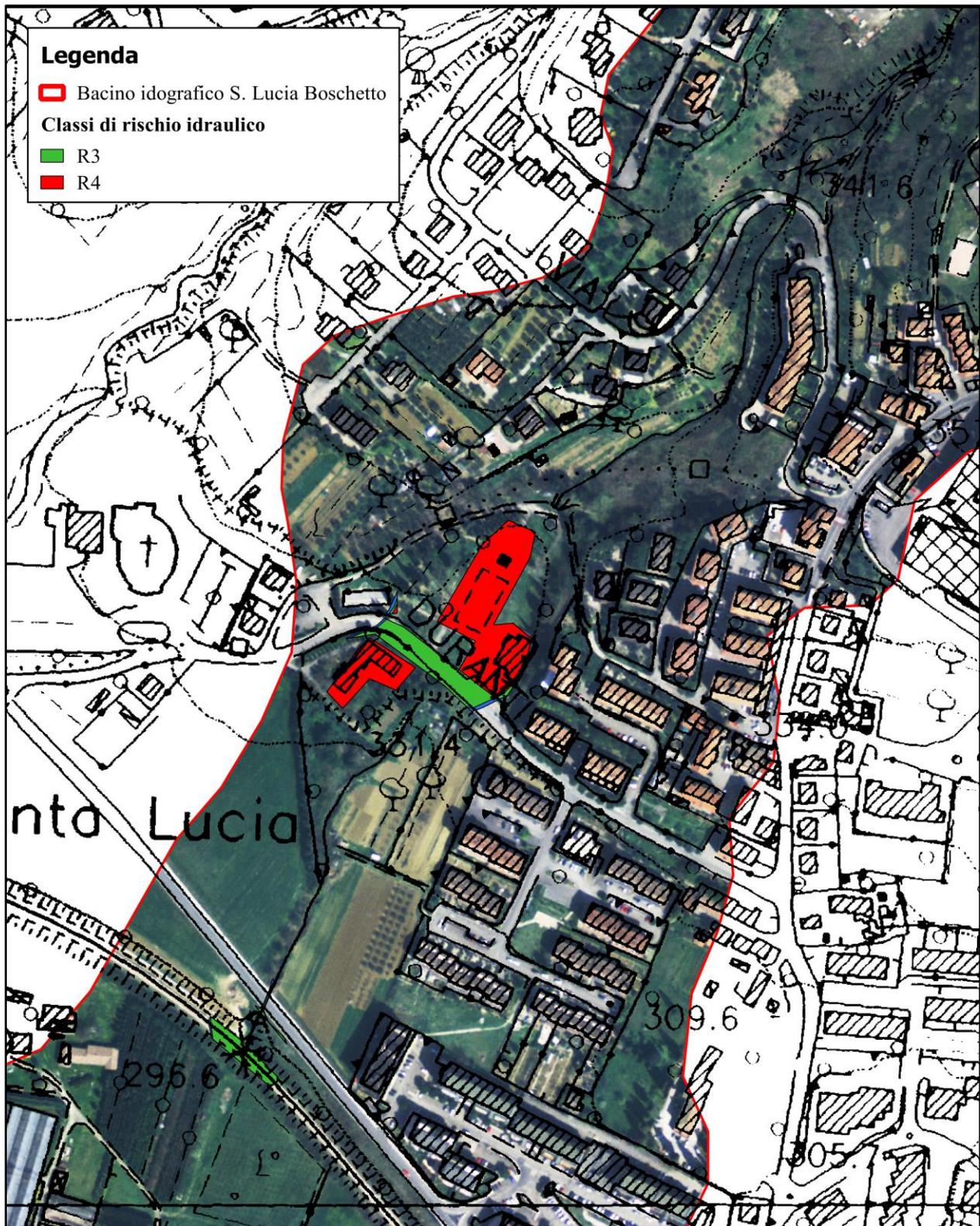


Fig. 7.1 – Mappa del rischio idraulico nel bacino del fosso S. Lucia Boschetto

8. Ipotesi di intervento per la mitigazione del rischio idraulico

Dalle analisi effettuate nei capitoli precedenti si è riscontrata la presenza nella situazione attuale di aree a rischio elevato e molto elevato, in particolare in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario, dell'area verde di Santa Lucia e dell'edificato a valle di questa.

Si valutano di seguito ipotesi di intervento per la mitigazione del rischio idraulico.

Interventi urgenti e di immediata eseguibilità, per la riduzione della pericolosità per elementi localizzati

- *Ripristino della sezione utile in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario*



Fenomeni di deposito e di interrimento hanno nel tempo occluso quasi totalmente la sezione utile al deflusso al di sotto dell'attraversamento ferroviario, rendendola incompatibile con il transito delle portate attese (Capitolo 5 – Sezione H).

Sono da prevedere al più presto interventi di pulizia del fondo alveo: in particolare, per garantire il transito della portata con tempo di ritorno di 50 anni, si deve garantire una luce libera minima di 35 cm alla quale corrisponde una sezione utile di 1.24 m² ed una portata massima smaltibile in condizioni di moto uniforme di 2.39 m³/s.

La situazione critica è già stata segnalata a Ferrovie dello Stato Spa.

- *Ripristino della sezione utile in corrispondenza dell'attraversamento dell'area verde di Santa Lucia*



Il materiale solido trasportato da monte dalla corrente ha occluso considerevolmente la sezione, riducendo in modo significativo l'area utile al deflusso. Interventi di rimozione del materiale e di ripristino della sezione efficace originaria sono da prevedere quanto prima.

- *Messa in sicurezza delle aree allagabili a monte dell'attraversamento di Via Sonnino*



Le aree golenali potenzialmente allagabili a monte ed a valle dell'attraversamento di Via Sonnino interessano, oltre che le formazioni arboree ripariali a bordo alveo, una piccola zona dove dai sopralluoghi effettuati si è riscontrata la presenza di capanni per animali (cani e pollame). È da prevedere la messa in sicurezza degli animali presenti, specialmente nei casi in cui si ritiene probabile il sopraggiungere di una portata di piena con tempi di ritorno superiori ai 50 anni.

Ipotesi di intervento per la mitigazione del rischio idraulico nella zona dell'area verde di Santa Lucia

Gli impianti sportivi e ricreativi, le attività commerciali e l'edificato residenziale nella zona dell'area verde di Santa Lucia sono stati interessati negli ultimi anni con una frequenza significativa da eventi di allagamento.

Di fatto, dall'analisi svolta al capitolo 5, tutta questa zona risulta essere un'area a rischio idraulico molto elevato.

Per la mitigazione del rischio si propongono di seguito diverse ipotesi di intervento:

➤ *Ipotesi di intervento A - Ripristino di un'area predisposta alla laminazione dei volumi d'acqua*

Si ammette con questa ipotesi la fuoriuscita della corrente dall'alveo fluviale a monte della griglia e dalla tubazione al di sotto dell'area verde, ma si prevede il contenimento dei volumi d'acqua entro aree predisposte che non interferiscano con le attività ivi presenti e con l'edificato a valle.

Questa ipotesi di intervento è supportata dall'analisi della cartografia storica: quella che oggi costituisce l'area verde di Santa Lucia, in passato era infatti un bacino d'acqua che raccoglieva le acque del Fosso Santa Lucia Boschetto per restituirle subito a valle; l'area in esame recupererebbe quindi parzialmente la sua funzione storica naturale.

Si può pensare di predisporre alla laminazione dei volumi d'acqua l'area mostrata nella seguente figura, costituita dal piazzale cementato nell'area verde di Santa Lucia e dalla zona asfaltata subito a monte di questo. La superficie di questa area è pari a $A_{\text{bacino}} = 1780 \text{ m}^2$.

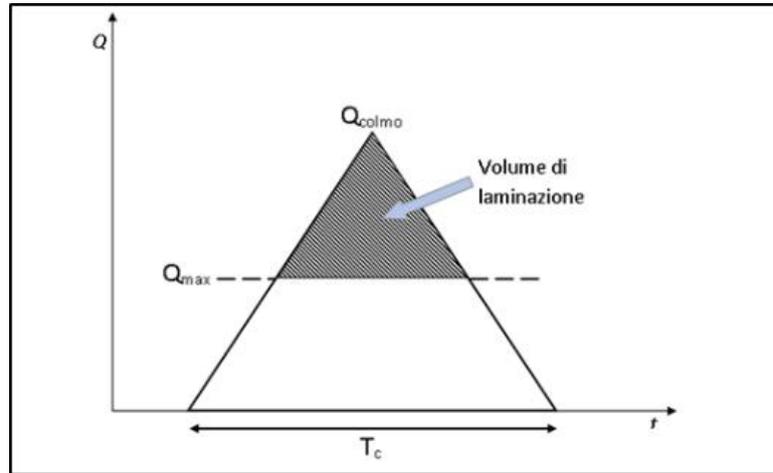


Il nuovo bacino dovrà garantire un opportuno contenimento delle acque con un adeguato franco di sicurezza.

Lo spessore d'acqua che il nuovo bacino dovrà contenere si può valutare come:

$$h_{\text{prog}} = V_{\text{laminazione}} / A_{\text{bacino}}$$

Il volume di laminazione di progetto può essere valutato seguendo lo schema in figura, considerando come idrogramma di piena di progetto un idrogramma di tipo triangolare, con base dell'idrogramma di piena pari al tempo di corrivazione del bacino:



Dove Q_{colmo} rappresenta la portata massima attesa valutata al capitolo 4 e Q_{max} la portata massima smaltibile dalla tubazione attuale, considerando a favore di sicurezza una sezione utile ridotta (coefficiente di riduzione del 30%).

Fissando come obiettivo il contenimento della piena di progetto con tempo di ritorno di 50 o di 200 anni si ottengono i diversi risultati riportati in tabella:

	Tr = 50 anni	Tr = 200 anni
Q_{colmo} (m ³ /s)	3.7	5.5
$V_{laminazione}$ (m ³)	338.8	956.7
$h_{progetto}$ (m)	0.2	0.55

Agli spessori d'acqua $h_{progetto}$ così calcolati si dovranno aggiungere degli adeguati franchi di sicurezza.

➤ *Ipotesi di intervento B – Realizzazione di un canale secondario con funzione di troppo pieno*

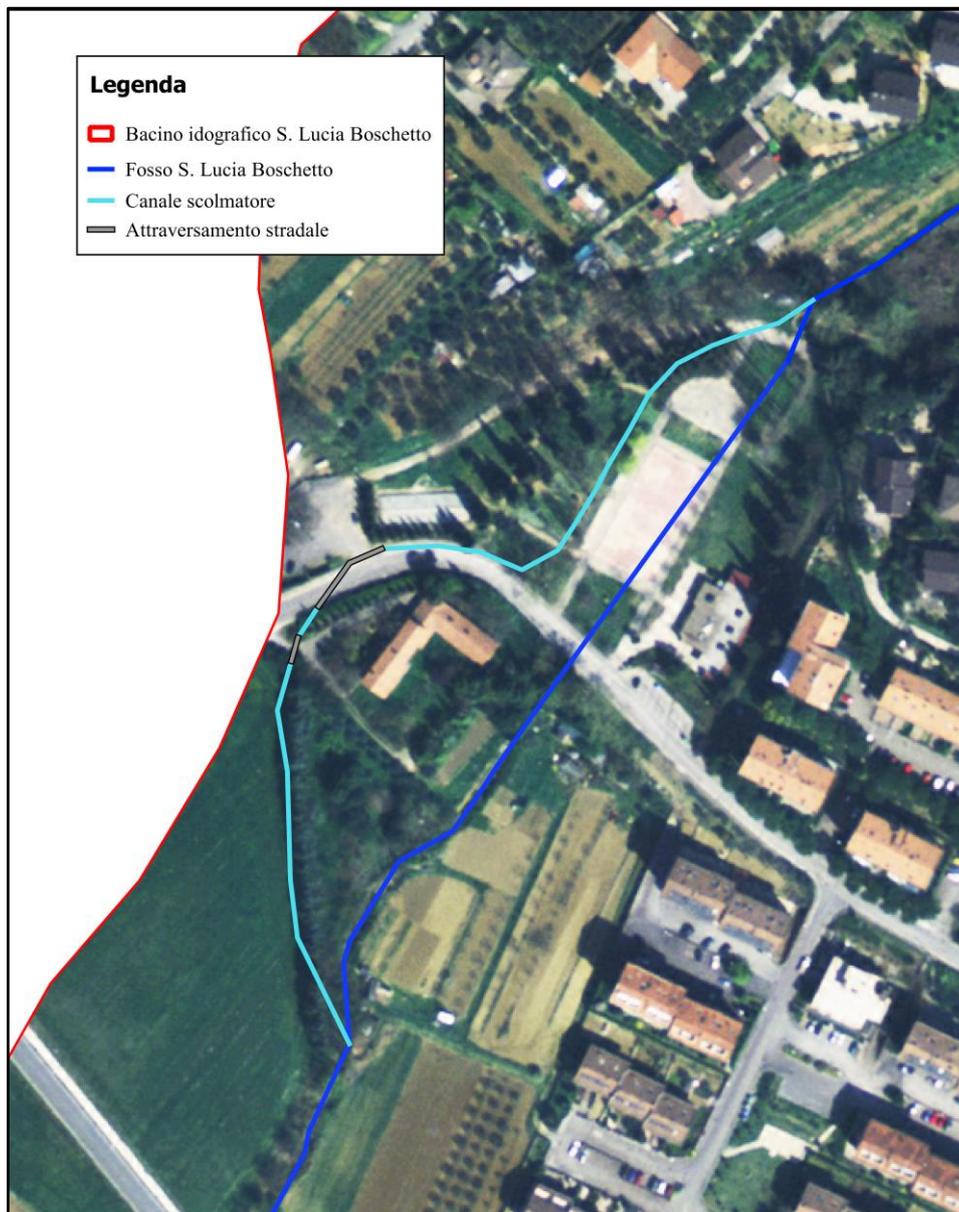
Si prevede con questa ipotesi la realizzazione di un canale secondario che funga da canale scolmatore per il Fosso Santa Lucia Boschetto, e che convogli le acque in eccesso verso una sezione (sufficientemente a valle dell'area verde di Santa Lucia) compatibile con le portate di progetto.

Il suddetto canale deve essere progettato affinché possa convogliare una portata Q_{progetto} pari alla differenza tra le portate attese e la portata massima convogliabile in regime di moto permanente precedentemente valutata (Q_{max}):

per $Tr = 50$ anni
per $Tr = 200$ anni

$Q_{\text{progetto}} = 1,69 \text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_{\text{progetto}} = 3,45 \text{ m}^3/\text{s}$

Si riporta di seguito un possibile tracciato individuato per la realizzazione del canale di progetto:



➤ *Ipotesi di intervento C – Ampliamento e mantenimento delle sezioni utili al deflusso*

Si prevede con questa ipotesi un ampliamento ed un mantenimento delle sezioni utili al deflusso del tratto intubato in corrispondenza dell'attraversamento dell'area verde di Santa Lucia, in modo da renderle compatibili con il transito della portata attesa per un tempo di ritorno di 200 anni.

In particolare, per garantire il deflusso regolare della portata attesa pari a $Q_{200} = 5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ s'ipotizza di realizzare una tubazione a sezione circolare con diametro pari a 1600mm, e di prevedere una manutenzione ordinaria con pulizia della griglia di raccolta e rimozione periodica del materiale solido depositato, in modo che la sezione non risulti mai occlusa per più del 10% della sua area.

Infatti, la portata massima smaltibile $Q_{\text{max,prog}}$ dalla tubazione di progetto in regime di moto uniforme, con una riduzione della sezione utile non superiore al 10%, risulta pari a $Q_{\text{max,prog}}$

9. Altre criticità riscontrate nel corso dei sopralluoghi

Nel corso dei sopralluoghi effettuati lungo il Fosso Santa Lucia Boschetto si sono riscontrate alcune criticità diverse da quelle di natura idraulica finora analizzate ed alcune situazioni anomale da segnalare.

Si riporta di seguito la relativa documentazione fotografica:



Fig. 9.1 – Punto di emungimento acque a ridosso della proprietà di Primizie Vivai



Fig. 9.2 – Presenza di vegetazione che ostacola l'ingresso dell'acqua nel tratto intubato a valle dell'attraversamento ferroviario



Fig. 9.3 – Eventi di frane spondali in alveo, che causano, in alcuni punti, piccoli sbarramenti opponendosi al naturale deflusso delle acque; inoltre causano cedimenti del terreno di fondazione di piccole strutture abbandonate ubicate a ridosso del fosso (capanni per animali e rimesse per gli attrezzi).



Fig. 9.4 – Presenza di vegetazione arborea franata in alveo