

BETTER Water-management for Advancing Resilient-communities in Europe

Action C4 – Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS) for climate adaptation in urban areas

Intervention 1: PIAZZALE DELLA LIBERTÀ

Municipality of Santorso (VI)

Technical report

Project Data

Project location:	Veneto (Italy)
Project start date:	03/09/2018
Project end date:	30/09/2022
Total budget:	€ 2,103,964
EU contribution:	€ 1,188,160
(%) of eligible costs:	60%

Beneficiary Data

Name Beneficiary:	Comune di Santorso
Project manager:	Antonio De Martin
Postal address:	Piazza Aldo Moro 8 36014 Santorso (Italy)
Telephone:	+ 39 0445 649510
E-mail:	antonio.demartin@comune.santorso.vi.it
Project Website:	http://www.lifebeware.eu/

Design of the intervention

Partners involved:	TESAF and COMSAN	
Technical manager for TESAF:	Prof. Vincenzo D'Agostino	
Other collaborators for TESAF:	Dott. Roberta Pastorello, Prof. Lucia Bortolini	
Technical manager for COMSAN:	Geom. Fabio Saterini	
Other collaborators for COMSAN:	Geom. Giovanni Toniolo	

Legnaro, 31/12/2018



BETTER Water-management for Advancing Resilient-communities in Europe

Azione C4 – Sistemi sostenibili di drenaggio urbano (SuDS) per
l'adattamento climatico in aree urbane

Intervento 1: PIAZZALE DELLA LIBERTÀ

Comune di Santorso (VI)

Relazione tecnica



Dati del Progetto

Luogo del progetto:	Veneto (Italia)
Inizio del progetto:	03/09/2018
Fine del progetto:	30/09/2022
Budget totale:	€ 2,103,964
Contributo EU:	€ 1,188,160
(%) dei costi eleggibili:	60%

Dati del Beneficiario

Nome del beneficiario:	Comune di Santorso
Project manager:	Antonio De Martin
Indirizzo:	Piazza Aldo Moro 8 36014 Santorso (Italia)
Telefono:	+39 0445 649510
E-mail:	antonio.demartin@comune.santorso.vi.it
Sito del progetto:	http://www.lifebeware.eu/

Progettazione dell'intervento

Partners coinvolti:	TESAF e COMSAN	
Responsabile tecnico per TESAF:	Prof. Vincenzo D'Agostino	
Altri collaborator per TESAF:	Dott. Roberta Pastorello, Prof. Lucia Bortolini	
Responsabile tecnico per COMSAN:	Geom. Fabio Saterini	
Altri collaborator per COMSAN:	Geom. Giovanni Toniolo	

Legnaro, 31/12/2018



Indice

Indice.....	II
Glossario, Abbreviazioni, Acronimi	III
Abstract.....	1
1 Premessa.....	2
2 Obiettivi specifici dell'intervento	4
2.1 L'intervento 1 – Piazzale della Libertà (Santorso, VI)	4
3 Inquadramento del sito	7
3.1 Inquadramento generale del sito di intervento	7
3.2 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrologico	9
3.3 Analisi delle piogge	13
3.3.1 Regolarizzazione statistico-probabilistica	14
3.3.2 Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP)	17
3.4 Indagini propedeutiche	19
4 Dimensionamento idrologico-idraulico	22
4.1 Dimensionamento e verifica idrologico-idraulica del giardino pluviale.....	22
4.1.1 Afflusso massimo atteso	22
4.1.2 Efficienza del rain garden in esercizio	24
4.2 Monitoraggio di funzionamento del sistema	27
5 Indicazioni vegetazionali: scelta delle specie e aspetti manutentivi.....	30
6 Bibliografia.....	33
7 Allegati	34
7.1 Documentazione fotografica	34
7.2 Tavole di progetto	45

Glossario, Abbreviazioni, Acronimi

AS	Area servita
BEWARE	BEtter Water-management for Advancing Resilient-communities in Europe
CD	Coefficiente di deflusso
COMSAN	Comune di Santorso
COMMAR	Comune di Marano Vicentino
LSPP	Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica
SD	Strato drenante
SuDS	Sistemi di drenaggio urbano sostenibile
Tc	Tempo di corrivazione
Tr	Tempo di ritorno
Ve	Volume entrante
Vg	Volume gestito
Vinf	Volume infiltrato
Vsup	Volume superficiale
Vstor	Volume storage

Abstract

In the last decades, flood damage is increasing in Europe and climate change is likely to intensify the occurrence and frequency of flooding across the continent. A recent study of CNR-Isac (2019) shows that the consequences of climate change are particularly noticeable in Italy. In fact, the Earth's average global temperature rose by 0.46°C in 2016 in comparison to the period 1971-2000; whereas during the same period an increment of 1.45°C was registered in Italy. Simultaneously, the increasing frequency of heavy rainfall events and the extended soil sealing, exacerbated the already high vulnerability of the Italian territory to hydrogeological risk. Trigila et al. (2018) highlight that 22.5% of the national area is at risk of flooding, putting an estimated 16 million people at risk.

In this context, the BEWARE Project aims to increase the knowledge, implementation and benefits of NWRM (natural water retention measures), to promote a widespread responsibility for facing hydraulic risk and to create a global best-practice context. In particular, Action C4 of the project aims to realize some NWRMs in the two municipalities of Santorso and Marano Vicentino.

In this technical report, Intervention 1 that will take place in Piazzale della Libertà (Santorso municipality), is described. This intervention will help to mitigate the surface water flooding episodes that take place in the southern part of the parking lot, located inside Piazzale della Libertà.

This intervention has two main objectives:

- the first objective will be hydrologic/hydraulic: the aim is to manage the rainfall runoff falling on the parking lot. For this purpose, the following NWRMs will be built: 1) a **RAIN GARDEN** in the green area located in the southern part of the parking lot; 2) a **UNDERDRAINED BIORETENTION**, in the green area located in the eastern side of the parking lot.
- The second objective will be didactical and demonstrative. In fact, intervention 1 will be an excellent example of good measures that people could personally adopt and it will have a high visibility because it will be located in one of the main squares of the city. Moreover, it will be part of the didactical itinerary planned in Action E2.2.1 (Figura 2.2).

1 Premessa

Il cambiamento climatico a livello globale sta portando ad un aumento della temperatura e ad una variazione del regime pluviometrico, causando eventi meteorologici estremi e catastrofici sempre più frequenti. Tali criticità sono esasperate da un incremento di consumo di suolo che sollecita il sistema idraulico sia in contesto urbano che agricolo, mettendo a rischio la salute delle comunità mondiali, la produzione alimentare e l'equilibrio di habitat ed ecosistemi.

Le conseguenze del cambiamento climatico sono particolarmente serie anche per il nostro Paese. Secondo uno studio del CNR-Isac (2019), l'Italia si sta surriscaldando più velocemente della media globale. A prova di ciò, nel 2014 la temperatura raggiunta dal Pianeta Terra registrava un incremento di 0.46°C rispetto al trentennio 1971-2000, mentre l'Italia superava abbondantemente tale valore, con un incremento pari a 1.45°C. In parallelo, l'intensificazione delle piogge e l'impermeabilizzazione dei suoli aggravano la già critica situazione idrogeologica del nostro territorio. Infatti, secondo un recente rapporto sul dissesto idrogeologico pubblicato dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Trigila et al., 2018), il 91% dei Comuni italiani (contro l'88% nel 2015) si trova in zona a rischio idrogeologico. I dati trovano concreto riscontro nella maggiore frequenza con cui tali eventi si stanno manifestando negli ultimi decenni.

Alla luce di tali cambiamenti e delle loro drammatiche conseguenze, le autorità pubbliche e le comunità sono chiamate a rispondere con azioni tempestive ma efficaci di pianificazione territoriale ed ambientale. Pianificare gli interventi non significa solo costruire opere strutturali per la difesa dagli allagamenti ma anche incrementare buone pratiche civiche nate da una sensibilità verso questi fenomeni. È infatti necessaria una strategia congiunta che preveda soluzioni tecniche, quali sistemi di drenaggio urbano sostenibile, uso di energie rinnovabili, normative edilizie sensibili all'uso di soluzioni sostenibili, uso di varietà agricole più adatte alle nuove condizioni climatiche, riqualificazione e il recupero di territori abbandonati, potenziamento degli strumenti di monitoraggio e previsione meteo, etc. A queste si aggiungono, non ultime, iniziative educative e di sensibilizzazione, atte a creare una cultura ambientale e del rischio, attraverso campagne di informazione e di educazione.

Il progetto LIFE BEWARE intende elaborare interventi di carattere tecnico/pratico e sociale per migliorare la sicurezza e la resilienza idraulica del territorio, affrontando le conseguenze del cambiamento climatico in modo efficace, promuovendo un approccio partecipativo, e favorendo l'azione dei singoli individui alla mitigazione del rischio idraulico per la collettività. BEWARE prevede una diffusione capillare delle iniziative proposte in modo da risultare un esempio virtuoso replicabile in altri contesti regionali, nazionali ed europei. Il progetto coinvolge concretamente varie categorie di destinatari, tra cui enti locali, amministratori, tecnici e professionisti (architetti, ingegneri, agronomi e forestali), agricoltori e cittadini. È in linea con le politiche comunitarie europee quale la Direttiva Alluvioni entrata in vigore il 26 novembre 2007 che promuove un approccio integrato per la gestione dei rischi di alluvioni e un'azione concreta e coordinata a livello comunitario nel processo di pianificazione.

Il progetto BEWARE si propone di accrescere le conoscenze, i benefici e l'effettiva attuazione delle misure di ritenzione idrica naturale sia nel territorio dei Comuni di Santorso e Marano Vicentino (Vicenza, Regione Veneto, IT) come in altri Comuni dell'UE grazie a interventi dimostrativi pienamente coordinati con le attività di informazione, comunicazione ed educazione. Gli obiettivi specifici sono:

1. Promuovere un approccio partecipativo circa l'adozione di opere sostenibili di ritenzione idrica;
2. Creare un contesto amministrativo, tecnico e finanziario favorevole alla diffusione delle opere sostenibili di ritenzione idrica;
3. Migliorare la sinergia politica internazionale con quella locale attraverso un'azione partecipata dei cittadini circa l'agenzia politica della UE sui cambiamenti climatici;
4. Dimostrare come piccole opere diffuse possano essere buone pratiche atte a garantire la sicurezza idraulica affrontando le conseguenze del cambiamento climatico in modo efficace;
5. Favorire la replicabilità delle azioni proposte in altre aree geografiche dell'Italia e dell'Europa.

Il progetto promuove una serie di opere di drenaggio sostenibile (SuDS – Sustainable Drainage Systems) e a basso costo, che i Comuni, le aziende agricole e i cittadini possono adottare e monitorare per ridurre le conseguenze degli allagamenti. L'obiettivo principale dell'uso dei SuDS è gestire le acque di pioggia che interessano aree urbanizzate in modo da riequilibrare il bilancio idrologico a favore dei volumi infiltrati ed evapotraspirati, riducendo i deflussi e il carico inquinante dei corpi idrici. Non ultimo, tali opere creano servizi ecosistemici, diretti o indiretti, legati soprattutto alla presenza di piante e vocati al benessere umano, tra i quali: regolazione atmosferica e climatica, recupero delle acque, incremento della biodiversità, controllo dell'erosione, produzione di biomasse, aumento dell'attrattiva e della salubrità dei luoghi.

Attraverso il coinvolgimento attivo, BEWARE vuole promuovere una responsabilità pubblica verso i rischi idraulici, sensibilizzando una pianificazione territoriale sostenibile e attenta alle sfide climatiche promuovendo buone pratiche trasferibili a scala globale.

2 Obiettivi specifici dell'intervento

Come precedentemente riportato, il progetto si articola in una fase iniziale di progettazione e realizzazione di sei interventi di cui cinque in contesto urbano (pallini di colore rosso in Figura 2.1) e uno in contesto agricolo (pallino di colore blu in Figura 2.1) per la riduzione dello stress idrico delle colture nel territorio dell'Alto Vicentino. L'azione C4 del progetto BEWARE prevede, infatti, la realizzazione di opere sostenibili di ritenzione idrica in diversi siti del Comune di Santorso e Marano Vicentino.

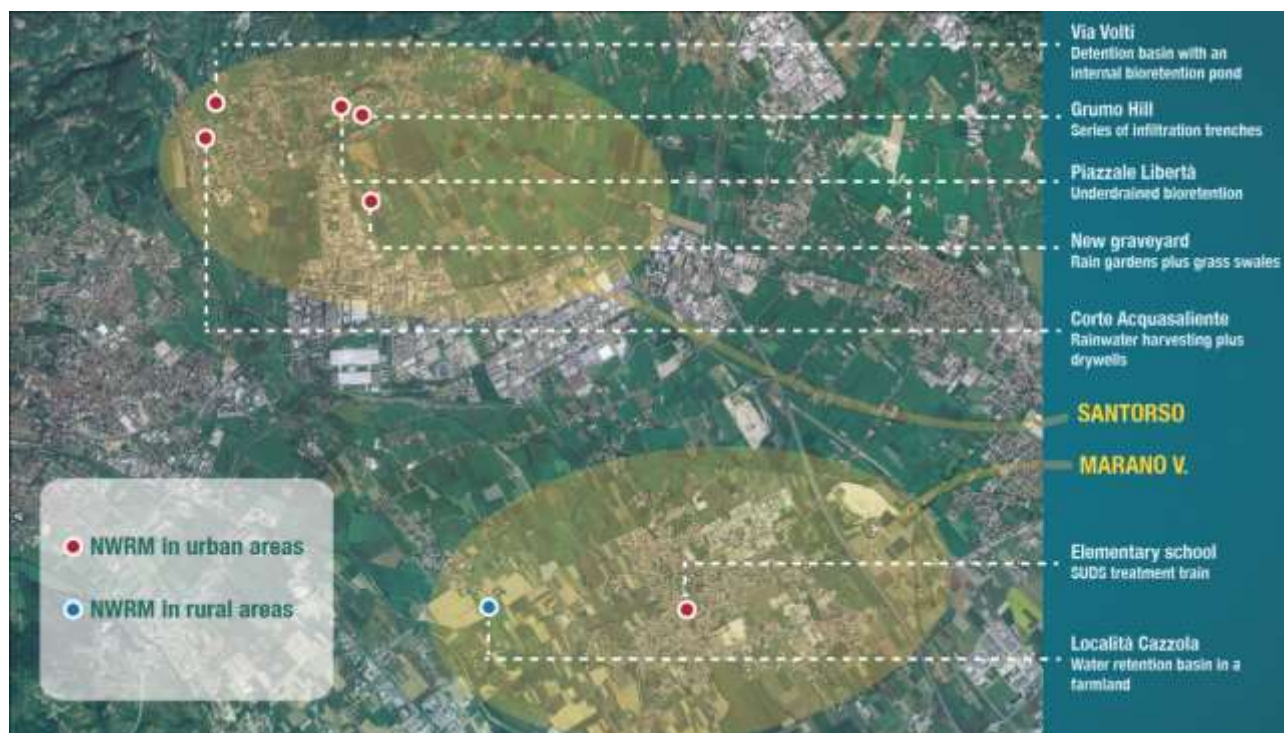


Figura 2.1. Mappa degli interventi, azione C4. La prima area corrisponde ad interventi urbani nel Comune di Santorso e la seconda nel Comune di Marano Vicentino con un intervento urbano e uno in contesto agricolo.

Le opere strutturali saranno progettate e realizzate da una sinergia di attori quali il Dipartimento TESAF, il Consorzio di Bonifica dell'Alta Pianura Veneta, L'Agenzia veneta per l'innovazione del settore primario - Veneto Agricoltura, i Comuni e professionisti esterni (se necessari).

2.1 L'intervento 1 – Piazzale della Libertà (Santorso, VI)

Il primo intervento, che è anche oggetto di questo report, è il sistema di bioritenzione sito nel Comune di Santorso nella Piazza della Libertà. Le aree di bioritenzione sono zone depresse poco profonde costituite da substrati di terreno drenante occupate da vegetazione e che permettono di ridurre il volume dei deflussi di pioggia favorendo l'infiltrazione e migliorando anche la qualità dell'acqua. La struttura di queste aree, infatti, favorisce un'azione di fitodepurazione con la trattenuta di elementi nutritivi ed inquinanti

eventualmente presenti nelle acque di deflusso. Una variante con maggiori finalità estetiche è costituita dai *rain garden* o giardini pluviali, opere di varia grandezza con caratteristiche ornamentali, che possono essere facilmente inserite in qualsiasi contesto urbano per la loro versatilità. I giardini pluviali prevedono un costo di realizzazione contenuto e una manutenzione che si limita al controllo di patogeni e interventi di rimonda del secco e potatura delle specie messe a dimora.

L'**obiettivo primario** del sistema di bioritenzione in progetto nei pressi del parcheggio in Piazza della Libertà è **di tipo idrologico/idraulico**. La superficie impermeabile totale del parcheggio è di circa 1460 m² ed esso presenta una morfologia convessa tale per cui i deflussi tendono a ruscellare dall'asse centrale verso i bordi esterni. Per questo motivo, circa metà della superficie del parcheggio viene drenata direttamente verso il lato esterno in direzione est (direzione campo da calcio) senza raggiungere il rain garden che sarà localizzato nella parte più bassa a sud. Quindi l'opera in progetto permetterà di gestire il deflusso superficiale generato da una parte della superficie impermeabile del parcheggio di Piazza della Libertà (800 m² circa) andando a ridurre i volumi e i tempi di contribuzione dei deflussi al sistema di drenaggio urbano. L'intervento inoltre permetterà di ridurre i disagi che le precipitazioni determinano ai percorsi pedonali, posti nella parte bassa dell'area comunale, che portano al plesso scolastico sottostante, specialmente in occasione di eventi particolarmente intensi. **Secondariamente** tale intervento avrà una **funzione dimostrativa e divulgativa**, rientrando a tutti gli effetti all'interno dell'itinerario didattico diffuso previsto dall'azione E2.1.1 del progetto BEWARE (Figura 2.2). L'intervento, infatti, sarà un esempio di buona pratica che, Comuni confinanti o singoli cittadini, possono realizzare nei propri territori o contesti abitativi ai fini della riduzione del pericolo di allagamento. L'itinerario didattico ha infatti lo scopo di sensibilizzare e informare i cittadini, i turisti e i professionisti che, grazie anche alle altre azioni messe in campo dal progetto BEWARE, verranno accompagnati alla visita degli interventi. Gli studenti delle scuole saranno altresì fruitori di questo percorso (organizzato in sinergia con le attività di Villa Rossi) per promuovere una sensibilità ambientale e di pianificazione territoriale sostenibile fin dalla giovane età. Inoltre, la collocazione di questo intervento in corrispondenza di una delle piazze principali del paese, luogo di ritrovo della popolazione (e.g. mercato settimanale il giovedì mattina), in cui vengono organizzati eventi e manifestazioni (presenza di monumenti commemorativi), è stata scelta consapevolmente per dare la massima visibilità sia all'intervento stesso che al progetto LIFE BEWARE.

Infine, inoltre, per la particolare collocazione dell'intervento in pieno centro urbano, si è ritenuto importante dare all'opera un **valore estetico** utilizzando piante di tipo ornamentale tipiche dei rain garden.



Figura 2.2. Itinerario didattico per la visita ai sei siti di riqualificazione idraulica. Tour breve (in rosso) in partenza da Parco Rossi e tour lungo (in blu) che comprende la visita al laghetto di ritenzione e al giardino pluviale.

3 Inquadramento del sito

3.1 Inquadramento generale del sito di intervento

L'opera in progetto è localizzata nella parte sud di Piazza della Libertà, nel Comune di Santorso (VI), e interessa primariamente una porzione di verde pubblico di circa 66 m² compresa tra il monumento "Al Partigiano", dell'ANPI di Santorso, e il monumento "Agli Alpini".

Di seguito si riportano le seguenti cartografie in cui si evidenzia la zona interessata dall'intervento:

- Estratto ortofoto anno 2012 (Figura 3.1).
- Estratto catastale (Figura 3.2).
- Estratto Carta Tecnica Regionale (Figura 3.3).



Figura 3.1. Localizzazione della zona interessata da intervento su ortofoto anno 2012 (Portale Cartografico Nazionale).

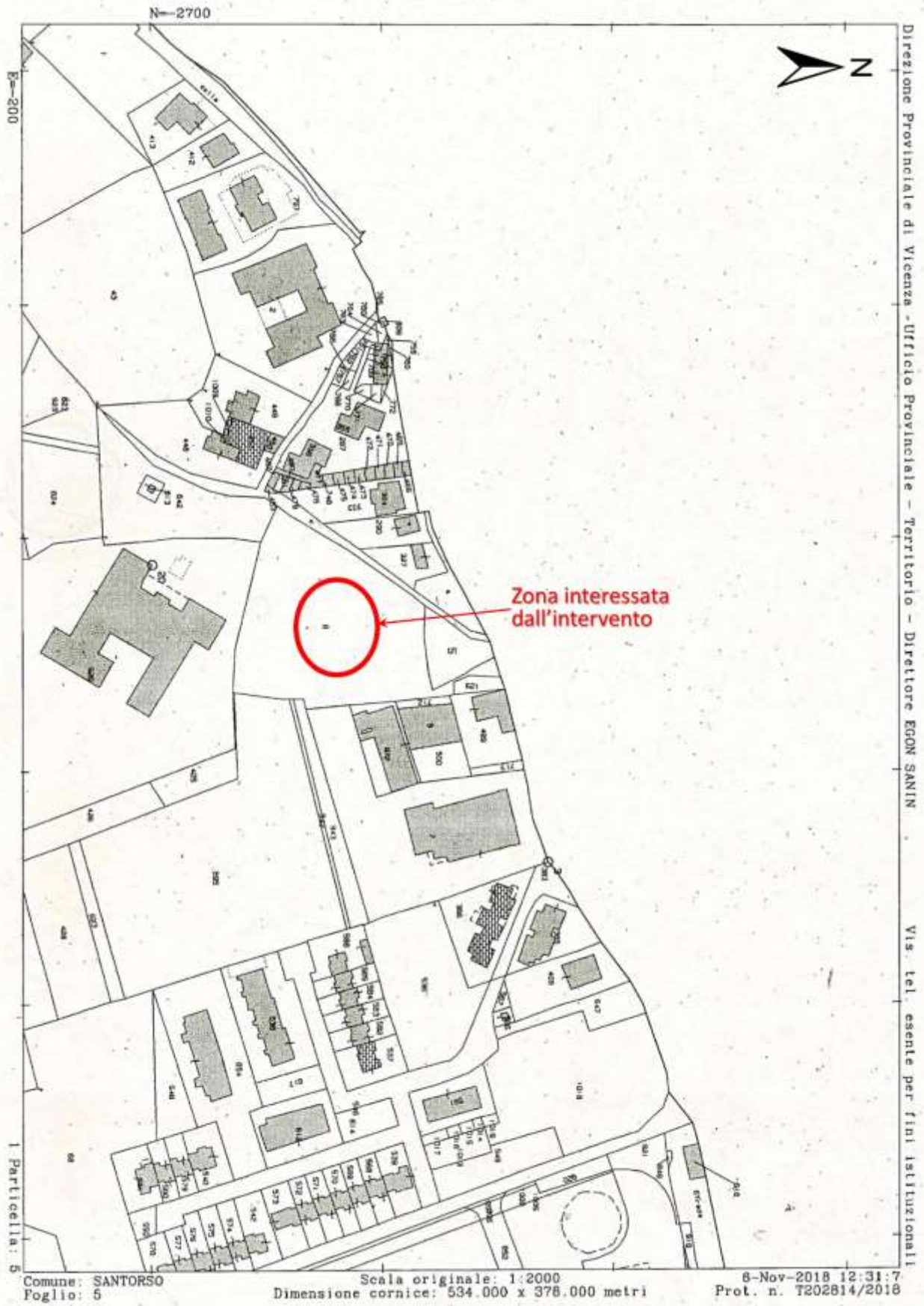


Figura 3.2. Localizzazione della zona interessata da intervento su mappa catastale.

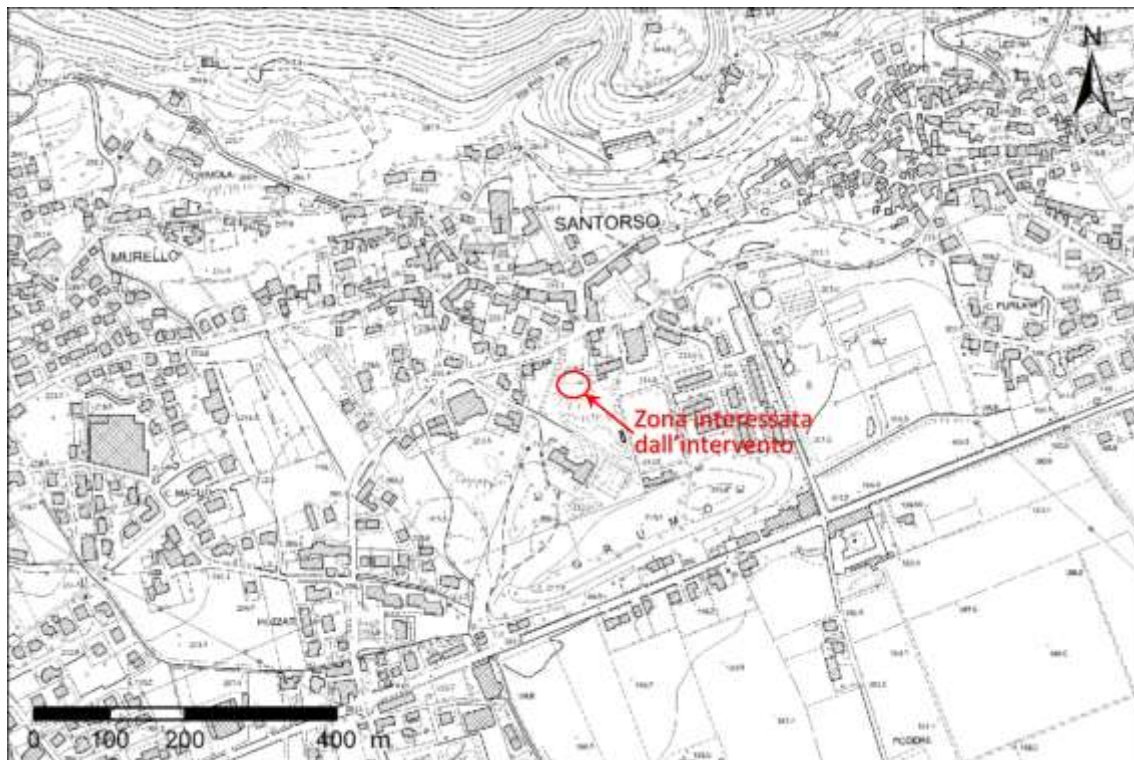


Figura 3.3. Localizzazione della zona interessata da intervento su Carta Tecnica Regionale (Scala 1:10000).

3.2 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrologico

L'intervento in progetto, localizzato nella parte sud di Piazza della Libertà (Comune di Santorso), ricade nell'area interessata dal conoide alluvionale del Rio Pria Alta (Figura 3.5), corso d'acqua a carattere torrentizio che ha origine a una quota di circa 750 m s.m. sul versante meridionale del monte Summano. La collocazione geomorfologica influenza la litologia della zona interessata dall'intervento che si compone principalmente di materiali poco addensati della copertura detritica eluviale/colluviale, costituiti da elementi granulari sabbioso-ghiaiosi in limitata matrice limo-sabbiosa (Figura 3.4). Dal punto di vista dell'intervento in progetto, interessante è l'analisi geologica dei depositi quaternari presenti nella zona del Comune di Santorso in forma di coltre di alterazione pedogenetica nelle aree rocciose e di materasso alluvionale. Essi sono dati da materiali sciolti a granulometria variabile, a prevalente composizione calcareo-dolomitica con permeabilità diversificata a seconda dell'origine: generalmente media, e localmente medio-elevata nei depositi fluvio-glaciali delle aree di pianura. La Carta Litologica del P.A.T. di Santorso, evidenzia che la zona oggetto di intervento ricade nella **classe di permeabilità 2A** (depositi mediamente permeabili per porosità), a cui corrisponde un **coefficiente di permeabilità K_{sat} compreso tra 1 e 10^{-4} cm/s.**

Andando nel dettaglio, Piazza della Libertà è collocata sulla parte sommitale di un piccolo rilevato (altezza massima rispetto al piano campagna di circa 10 m). L'origine di questo rilevato è stata indagata interrogando la memoria storica di cittadini e dipendenti comunali che abitano questi luoghi dal secondo

dopo guerra ad oggi. Le informazioni raccolte ci indicano che l'origine principale del sito è da attribuirsi ad un evento di frana che interessò il Cimitero di via del Santuario nei primi anni '50. Il materiale di frana crollato durante l'evento e la parte del muro di contenimento e delle infrastrutture del cimitero andate distrutte, vennero rimossi e collocati nella zona in cui sorge oggi Piazza della Libertà. Nei decenni successivi, fino alla fine degli anni '70, la zona continuò ad essere utilizzata dalla popolazione locale come discarica per lo più di materiale inerte. Vista l'epoca di utilizzo, e le informazioni fornite dai tecnici comunali, si esclude la presenza di rifiuti pericolosi nella zona soggetta ad intervento; una verifica in questo senso è stata comunque realizzata attraverso il sondaggio descritto nel Paragrafo 3.4.

Dal punto di vista idrologico, la zona di intervento ricade in prossimità della valle del rio Pria Alta, corso d'acqua a carattere torrentizio il cui bacino idrografico si colloca sul versante meridionale del monte Summano e la cui estensione è pari a 37,01 ha (sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'attraversamento con via del Santuario). Il corso d'acqua attraversa l'abitato di Santorso in un tratto tombinato (diametro della condotta pari a 120 cm) che parte da 40 m a monte di via della Rionza. Il corso d'acqua non è collegato idraulicamente alla zona di intervento (Piazza della Libertà), il cui sistema di drenaggio scarica le acque direttamente sulle sponde del rilevato su cui sorge la piazza.

L'abitato di Santorso, ubicato in area pedemontana, è interessato da significativi fenomeni di risorgiva (Figura 3.6) che si attivano specialmente in periodi piovosi, originando emergenze superficiali. La zona di intervento, invece, collocandosi in una zona a quota sopraelevata, non presenta questo tipo di problematica e, per quanto riguarda la **profondità della falda**, essa risulta a **una profondità compresa tra 5 e 10 m dal piano campagna** (Figura 3.6).

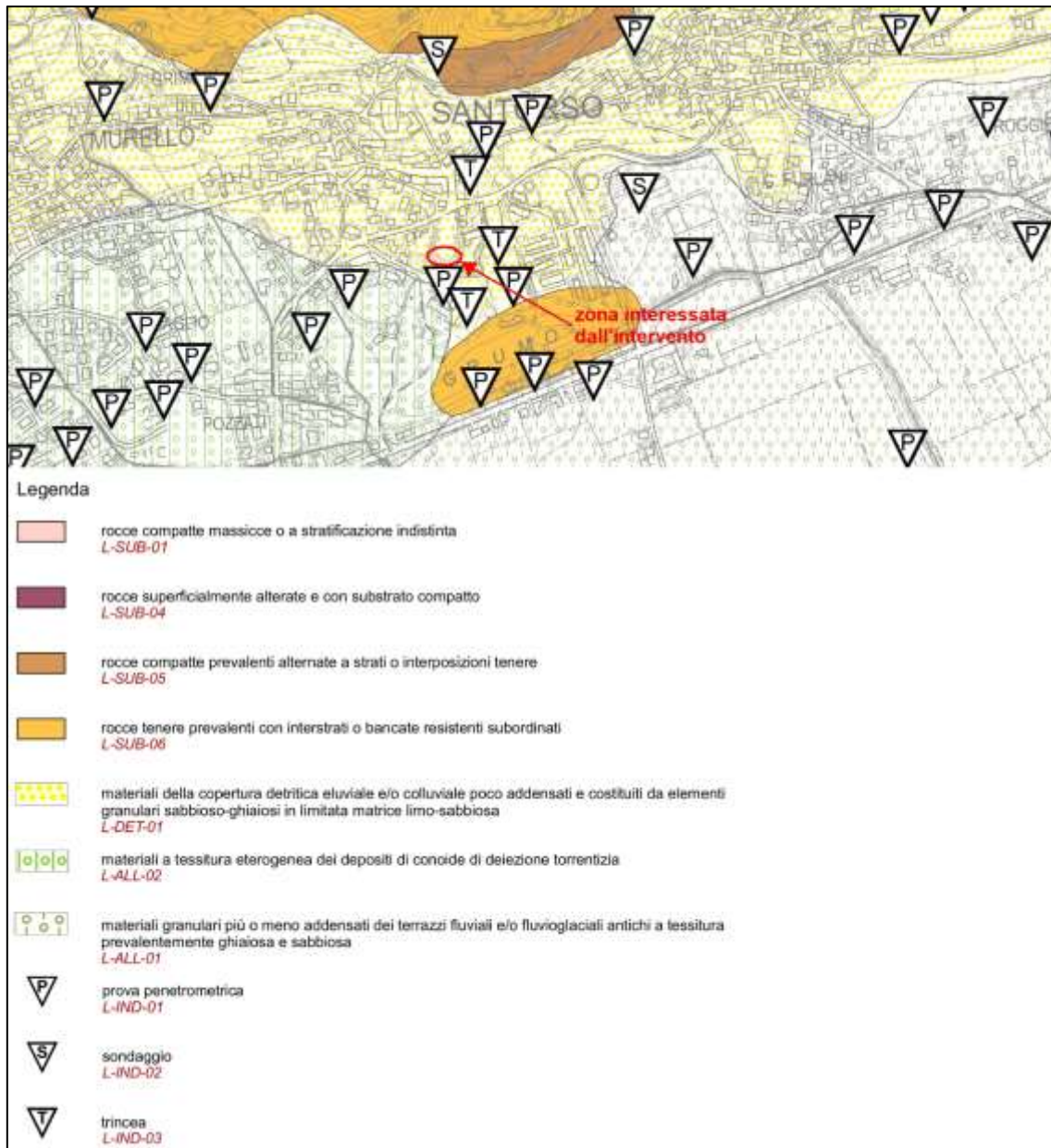


Figura 3.4. Localizzazione della zona interessata da intervento su Carta Litologica del P.A.T. del Comune di Santorso.

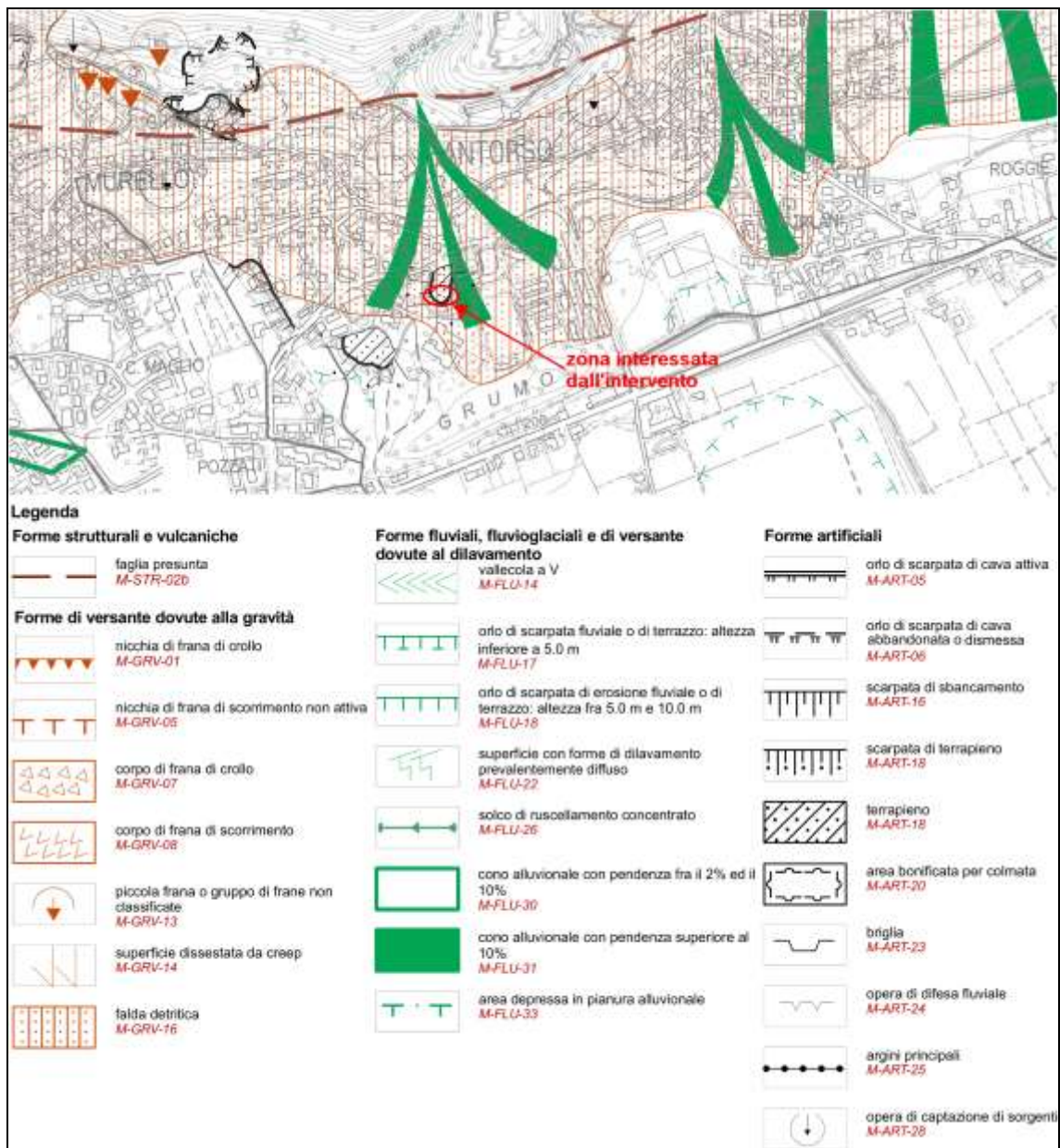


Figura 3.5. Localizzazione della zona interessata da intervento su Carta Geomorfologica del P.A.T. del Comune di Santorso.

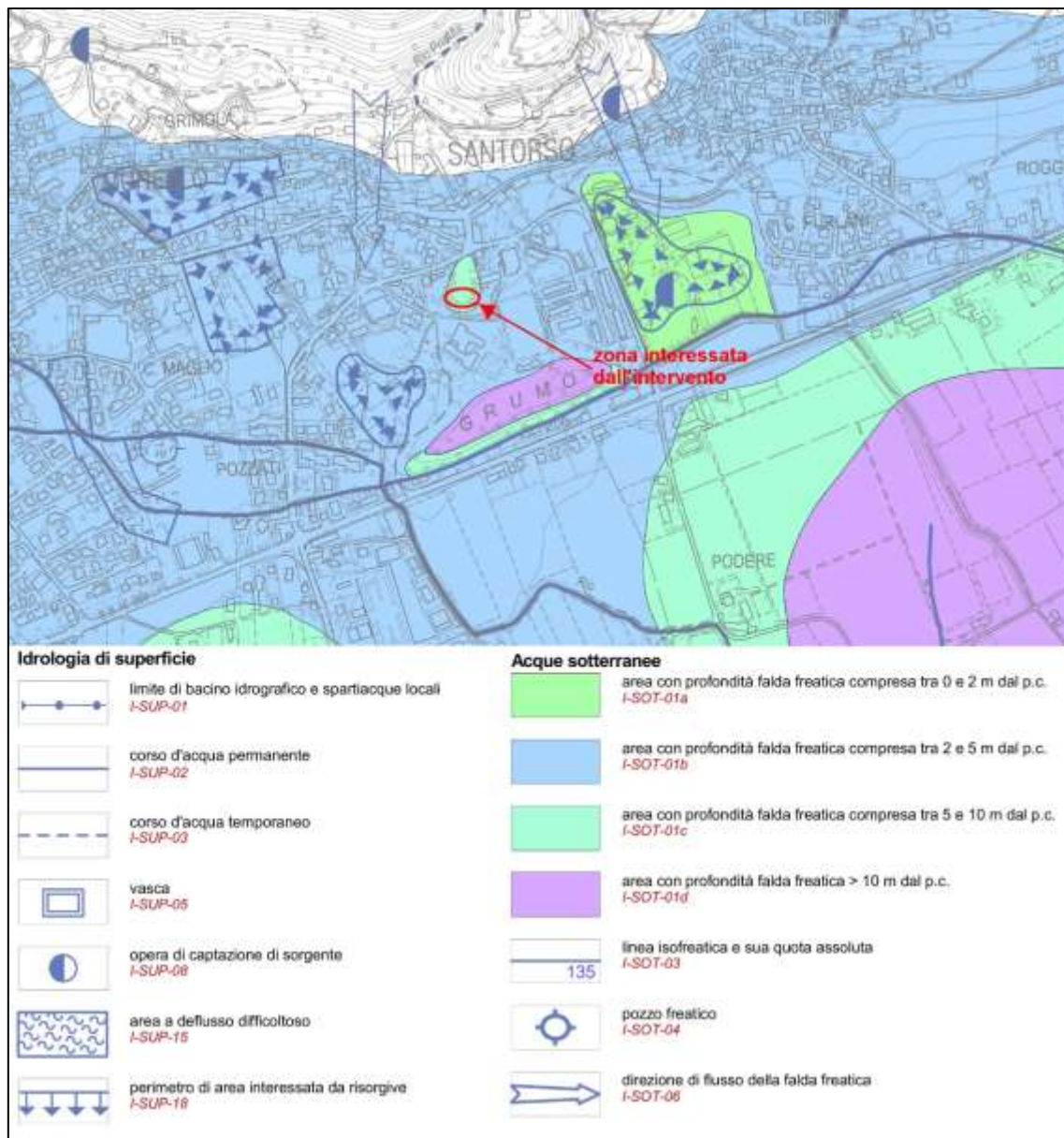


Figura 3.6. Localizzazione della zona interessata da intervento su Carta Idrogeologica del P.A.T. del Comune di Santorso.

3.3 Analisi delle piogge

L'analisi delle piogge ha la funzione di studiare le quantità d'acqua che saranno gestite dal rain garden. L'acqua in entrata nel giardino pluviale infatti, dipende fortemente dalla quantità di pioggia che cade nel piazzale e per dimensionare correttamente sia le superfici drenanti che i pozzetti di scarico, è necessario capire che portate ci si può attendere considerando precipitazioni con diversi tempi di ritorno.

In questa analisi sono stati utilizzati i dati del pluviometro di Monte Summano, posizionato in Comune di Piovene Rocchette (Coordinate Gauss-Boaga fuso Ovest: 1687851 E, 5069238 N). Questo pluviometro

è in funzione dal 1986 e la serie storica disponibile parte dall'anno successivo e arriva attualmente al 2017 con un'interruzione di quattro anni tra il 1989 e il 1992. (Tabella 3.1).

Tabella 3.1. Massimi annuali corrispondenti a diverse durate di precipitazione registrati dal pluviometro di Monte Summano (VI). Dati forniti da ARPAV - Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio.

Anno	5 min (mm)	10 min (mm)	15 min (mm)	30 min (mm)	45 min (mm)	60 min (mm)
1987	8,4	14,4	17,4	24	30,6	36,2
1988	11,2	18,4	21,4	30	31,8	32
1993	8,6	14,8	19,4	31	34,8	39
1994	10,6	17,8	25	34,4	36,8	38,2
1995	7,6	11	14,2	22,6	25,2	25,8
1996	15,4	23,8	31,2	51,2	64	70,2
1997	5,6	9,4	10,4	15	16,4	20,8
1998	8,6	15,2	19,4	33	41,4	53,8
1999	9	14,2	18,4	25,6	27,8	31,4
2000	10	17	24,2	35,6	39,2	41,6
2001	14,6	26,2	33,2	47,4	49,8	50,6
2002	9,2	18,4	26,2	44,4	46	46,4
2003	12,4	20,4	21	21,4	21,4	21,6
2004	9,8	14	15,8	21,8	24,4	27,4
2005	14,4	18,6	20,4	28,8	36	41,6
2006	8,2	13	20,6	28,2	32	34,8
2007	10,8	20	29,4	46	47,2	47,2
2008	14	21,6	24,4	40,8	43,8	44
2009	7,2	11,8	13,2	16,2	19,4	19,6
2010	14,4	24,4	27,2	28,2	28,4	28,6
2011	11,8	17,4	26,6	37	43,6	44
2012	8	12,6	14,4	22,4	26,2	28,6
2013	9	13,2	16,4	18,8	23,6	28,2
2014	11	19	24,2	35,2	42	48,8
2015	7,8	12,8	15	20,8	27,2	32
2016	11,2	18,8	24,4	37,4	43	44,2
2017	16	27,6	38,2	59,8	79,2	83

3.3.1 Regolarizzazione statistico-probabilistica

L'obiettivo di questa analisi è quello di ricavare l'altezza di precipitazione attesa per un determinato tempo di ritorno, sapendo che quest'ultimo dipende dalla probabilità cumulata di non superamento dei massimi valori annuali. Questa considerazione deriva dall'ipotesi di indipendenza degli eventi, ossia la precipitazione massima di un anno non influenza la precipitazione massima dell'anno successivo.

Tra le molteplici distribuzioni di probabilità che si possono trovare in letteratura, si è dimostrata ben adattabile alle analisi delle serie dei massimi annuali di precipitazione, la distribuzione di Gumbel (o EV1):

$$P(x) = e^{-e^{-\alpha(h-u)}} = e^{-e^{-y}}$$

dove h è la variabile vera (massimo annuale), y è chiamata variabile ridotta della distribuzione P , e α e u sono due parametri per l'adattamento della funzione probabilistica.

Utilizzando il 'metodo dei momenti', i momenti della distribuzione P teorica vengono assimilati (desunti) dai momenti del campione. Perciò, i due parametri α e u vengono calcolati utilizzando la deviazione standard e la media del campione di dati. Vale la seguente relazione:

$$\alpha = \frac{1.283}{\sigma(h)}$$

dove σ è appunto la deviazione standard del campione, mentre il parametro u è calcolato come segue:

$$u = h_m - \frac{0.5772}{\alpha}$$

essendo h_m la media campionaria.

A questo punto è necessario verificare la bontà dell'adattamento della funzione riportando i punti sul cartogramma probabilistico di Gumbel. Per fare questo, si utilizza preliminarmente il metodo della Plotting Position, che prevede di ordinare i dati di precipitazione in senso crescente dal più piccolo al più grande, numerandoli in ordine da 1 a N (nel nostro caso $N=27$, Tabella 3.1). Mediante questa numerazione si può rappresentare su cartogramma probabilistico la frequenza cumulata di non superamento (P) utilizzando alcune funzioni specifiche proposte in letteratura; fra le più utilizzate vi sono: (1) la funzione di Weibull e (2) la funzione di Hazen. Nel primo caso la frequenza cumulata da plottare viene calcolata con la seguente formula:

$$P_{Weibull} = \frac{n}{N+1}$$

dove n è il numero d'ordine del valore considerato e N è la numerosità totale del campione, che nel nostro caso è appunto 27.

Mentre con la funzione di Hazen, la frequenza cumulata di "plotting" viene calcolata come:

$$P_{Hazen} = \frac{n-0.5}{N}$$

Per poter visualizzare graficamente i valori di Plotting Position nel cartogramma di Gumbel, bisogna calcolare la variabile ridotta y , con la seguente formula:

$$y = -\ln(-\ln P)$$

Successivamente, utilizzando i valori dei parametri α e u calcolati come indicato sopra, è possibile trovare l'altezza di pioggia per tutti i tempi di ritorno d'interesse attraverso l'equazione della retta regolarizzatrice:

$$h = \frac{y}{\alpha} + u$$

Si verifica infine se l'adattamento dei valori alla legge di Gumbel risulti corretto confrontando l'allineamento dei punti plottati con l'equazione della retta regolarizzatrice (Figura 3.7). Questa è una prima verifica speditiva dell'adattamento della funzione scelta e, come si vede ad esempio per una durata

di pioggia di 30 minuti (Figura 3.7), tutti i valori plottati seguono discretamente l'equazione determinata analiticamente.

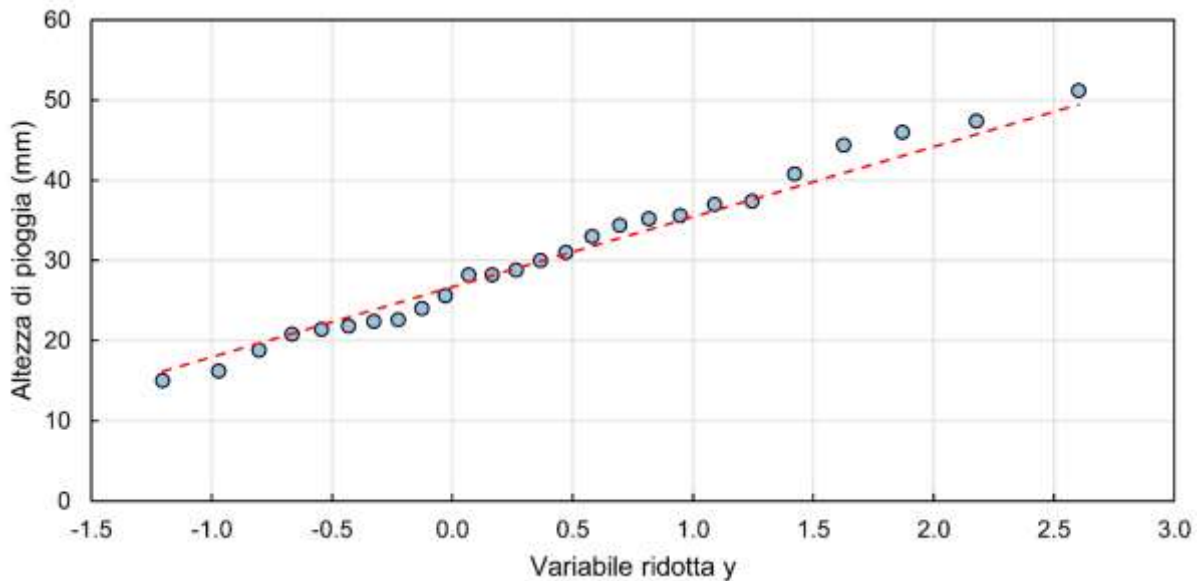


Figura 3.7. Cartogramma di Gumbel (Plotting Position Weibull) per i valori massimi annuali di precipitazione con durata di 30 minuti.

Per verificare in modo più oggettivo la bontà del metodo di Gumbel, si esegue anche un test statistico, chiamato test di Matalas. Questo test verifica che il coefficiente di asimmetria (G) del campione della serie storica non differisca in maniera statisticamente significativa da quello della P teorica. Se si considera una distribuzione del coefficiente di asimmetria secondo la legge normale e si assume un livello di significatività del test del 5%, si ritiene accettabile il risultato ottenuto dalla distribuzione di Gumbel solo se i valori empirici di G distano dalla media delle asimmetrie $E(\gamma)$, in valore assoluto, meno del doppio dello scarto quadratico medio $\sigma(\gamma)$.

Prima di effettuare il test, è necessario calcolare i seguenti parametri:

- Valore teorico di G costante per la distribuzione teorica (avente N infinito) pari a 1.1396;
- Valore teorico di G per un numero molto elevato di serie sintetiche di dimensione N che seguono perfettamente la distribuzione EV1: $E(\gamma)$ (media o valore atteso di G);
- Scarto quadratico dei coefficienti di asimmetria delle serie sintetiche indicate sopra: $\sigma(\gamma)$.

Per svolgere il test, prima di tutto bisogna calcolare G :

$$G = \frac{m_3}{m_2^{(3/2)}} = N^{1/2} \frac{\sum_{i=1,N} (x_i - x_m)^3}{[\sum_{i=1,N} (x_i - x_m)^2]^{3/2}}$$

Poi si leggono dal grafico di riferimento (Tabella 3.2) i valori di $E(\gamma)$ e $\sigma(\gamma)$ in funzione della numerosità del campione N (nel nostro caso 27).

Tabella 3.2. Valori tabulari di $E(\gamma)$ e $\sigma(\gamma)$ forniti per campioni di diversa numerosità (N).

N	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$E(\gamma)$	0,525	0,74	0,841	0,898	0,937	0,964	0,986	1,002	1,015
$\sigma(\gamma)$	0,626	0,586	0,555	0,526	0,504	0,485	0,468	0,452	0,437

Infine, si controlla se è verificata la disequazione:

$$|G - E(\gamma)| < 2 \sigma(\gamma)$$

Se essa è verificata, allora la distribuzione scelta per descrivere il campione è adeguata. Nel nostro caso il test è risultato soddisfatto per tutte le durate di pioggia analizzate, ossia i campioni relativi a 5, 10, 15, 30, 45 e 60 minuti (positive sono risultate anche tutte le verifiche grafiche preliminari condotte sul cartogramma probabilistico precedentemente descritto).

Tabella 3.3. Altezze di pioggia attese per diversi tempi di ritorno e differenti durate di precipitazione presso la stazione di monte di Summano.

Durata (minuti)	h calcolata (mm)				
	TR = 2 anni	TR = 5 anni	TR = 10 anni	TR = 30 anni	TR = 50 anni
5	10,09	12,55	14,17	16,63	17,75
10	16,48	20,63	23,37	27,52	29,41
15	20,83	26,64	30,49	36,31	38,96
30	29,90	39,81	46,37	56,29	60,81
45	34,08	46,26	54,33	66,52	72,09
60	36,88	49,61	58,05	70,79	76,60

3.3.2 Linee Segnatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP)

I dati di precipitazione ottenuti con l'analisi precedente, sono stati utilizzati per la costruzione delle relative LSPP corrispondenti ai seguenti tempi di ritorno: 2, 5, 10, 30 e 50 anni.

Ogni curva di probabilità pluviometrica può essere descritta da un'equazione del tipo:

$$h = a t^n$$

dove a e n sono due parametri ricavabili con il metodo dei minimi quadrati dai dati di precipitazione precedentemente determinati (una coppia di parametri per ogni tempo di ritorno TR). Passando ai logaritmi, risulta che:

$$\log_{10} h = \log_{10} a + n (\log_{10} t)$$

Ponendo: $H = \log_{10} h$; $T = \log_{10} t$; $A = \log_{10} a$, si ottiene la seguente equazione:

$$H = A + n T$$

Quindi, H e T si calcolano facilmente come il logaritmo dei valori di altezza di pioggia e durata. A questo punto, elaborando i dati per ogni tempo di ritorno (vedasi ad esempio Figura 3.8, in cui sono rappresentati i punti corrispondenti al $TR = 10$ anni), si ricava l'equazione della retta: $H = A + nT$ e da questa i corrispondenti valori di a e n .

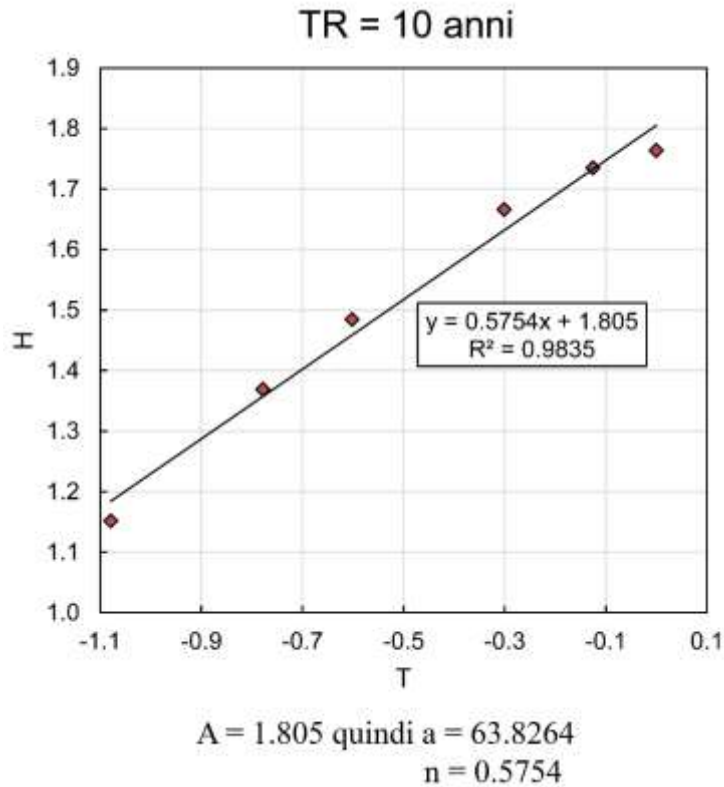


Figura 3.8. Relazione tra T e H per Tempo di Ritorno di 10 anni.

In Tabella 3.4 sono riportati i valori di a e n dell'equazione della LSPP calcolati per ogni tempo di ritorno di interesse. In Figura 3.9 è rappresentato l'andamento delle diverse LSPP ottenute.

Tabella 3.4. Valori dei parametri a e n calcolati per diversi tempi di ritorno e utilizzati per la costruzione delle corrispondenti LSPP rappresentate in Figura 3.9.

Tempo di ritorno (anni) TR	LSPP	
	a	n
2	40,01	0,5194
5	54,33	0,5582
10	63,83	0,5754
30	78,18	0,5943
50	84,74	0,6010

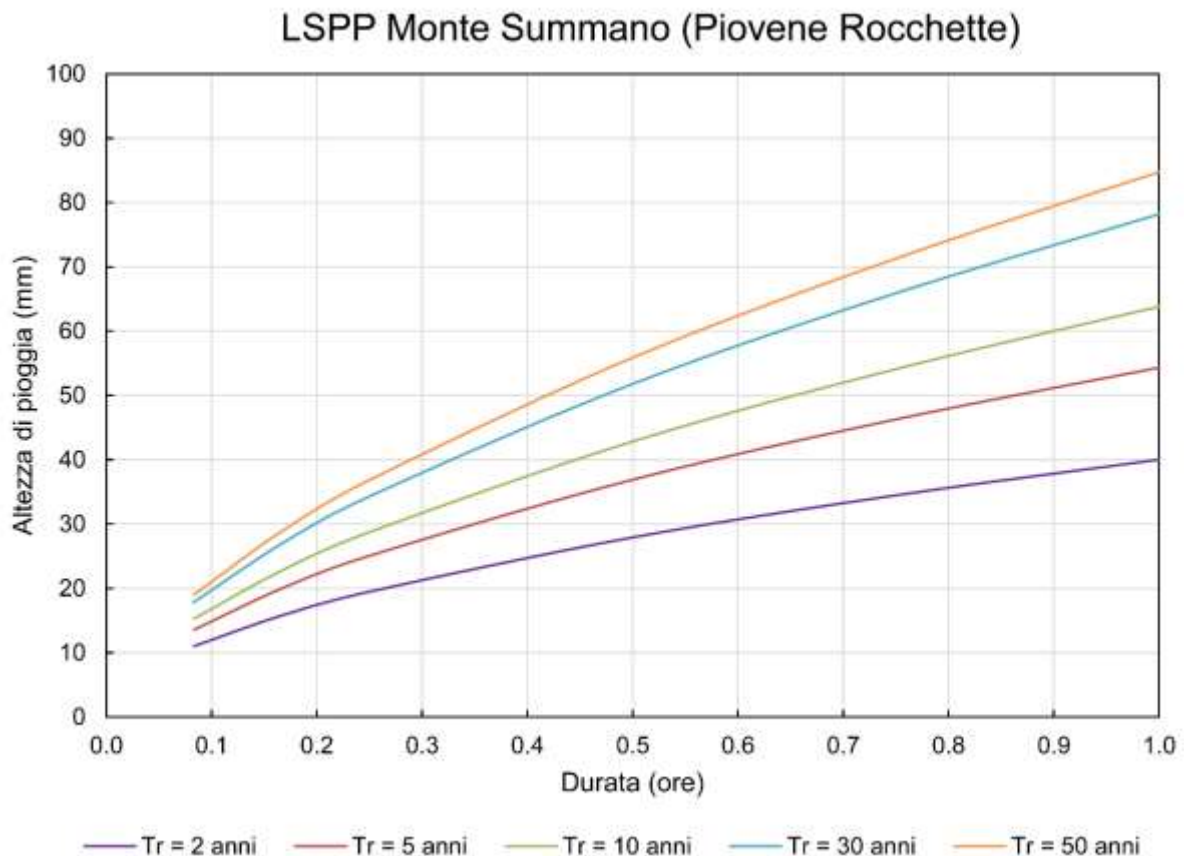


Figura 3.9. Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica calcolate utilizzando la distribuzione di Gumbel.

3.4 Indagini propedeutiche

La caratterizzazione della tessitura dei suoli costituisce la fase preliminare per la verifica del tipo della capacità di infiltrazione del suolo e la scelta dei materiali di utilizzo. Non in ultimo, vista la storica utilizzazione del terreno, si rende necessaria un'esplorazione per la verifica dei materiali presenti e l'eventuale presenza di residui di discarica.

Lo scavo è stato eseguito dagli operai del Comune di Santorso il giorno 13 dicembre 2018 e ha interessato una porzione di terreno fino a 1,5 metri di profondità. La scelta della profondità del sondaggio è stata decisa in concomitanza con le necessità progettuali dell'opera.

Durante il sondaggio sono stati prelevati 3 campioni di terreno lungo la verticale dello scavo in corrispondenza dei seguenti punti:

- alla base dello scavo, ad una profondità di 1,5 m;
- a una profondità di 1 m;
- a una profondità di 0,5 m.

Ciascuno dei campioni di terreno è stato conservato in sacchetti di plastica per preservarne invariate le caratteristiche in vista della successiva analisi granulometrica. Quest'ultima è stata effettuata dal

Laboratorio Lachi del Dipartimento DAFNAE dell'Università di Padova. I risultati dell'analisi sono riportati in Figura 3.10 e in Tabella 3.5 e come si può notare, nei campioni prelevati ai due estremi di profondità, il più superficiale P05 e quello più profondo P15, la componente sabbiosa è prevalente, ricadendo rispettivamente nelle classi di suolo "sabbioso" (S) e "argilloso-sabbioso" (AS). Il campione prelevato a 1 metro di profondità (P10), invece, ricade in un sottile strato di materiale di riporto che presenta un'elevata quantità di argilla, rientrando quindi nella classe di suolo "argilloso" (A). Tutti i campioni sono caratterizzati da un'elevata quantità di scheletro (tra il 74 e il 90%, Tabella 3.5), la quale contribuisce positivamente alla capacità di drenaggio del suolo.

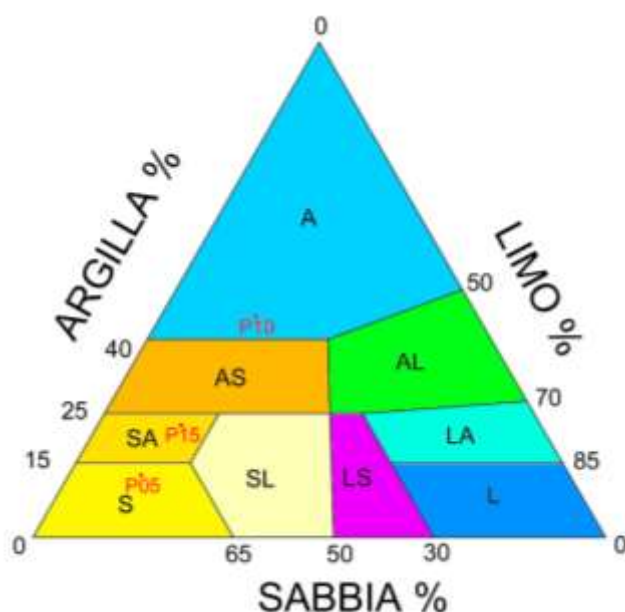


Figura 3.10: Diagramma ternario per la definizione delle classi tessiturali con il metodo della ISSS (Società Internazionale della Scienza del Suolo). In rosso sono evidenziati i punti corrispondenti ai rilievi effettuati nell'area verde in cui verrà scavato il rain garden di Piazzale della Libertà.

Tabella 3.5: Risultati dell'analisi effettuata sui campioni di Piazzale della Libertà, dal Laboratorio Lachi del Dipartimento DAFNAE (Università di Padova)

Nome campione	Data prelievo	ARGILLA (%)	LIMO (%)	SABBIA (%)	SCHELETRO (%)
P05	14/03/2019	12.6	12.6	74.8	74.7
P10	14/03/2019	44.6	16.6	38.8	90.0
P15	14/03/2019	22.6	14.6	62.8	81.6

La caratterizzazione dei terreni è propedeutica all'analisi della porosità e del coefficiente di permeabilità del terreno e quindi ad una corretta valutazione della funzionalità dell'opera. La permeabilità del suolo viene in genere associata alla misura della conducibilità idrica satura (K_{sat} , mm/h). Il movimento dell'acqua nel suolo è descritto mediante la legge di Darcy:

$$\frac{Q}{A} = -K_{sat} \frac{dH}{dz}$$

Dove Q è la portata, attraverso una sezione di terreno A , perpendicolare alla direzione del flusso, nel tempo t . La conducibilità idrica satura, K_{sat} , è il reciproco, o inverso, della resistenza della matrice del suolo al flusso di acqua; $\frac{dH}{dz}$ è il gradiente idraulico che determina il movimento dell'acqua nel suolo. La conducibilità idrica in condizioni di saturazione ha il pregio di essere costante, mentre in condizioni di non-saturazione del suolo, dipende fortemente (in misura direttamente proporzionale) dal contenuto idrico. La K_{sat} dipende principalmente dalle dimensioni e dalla distribuzione dei pori ed è molto influenzata anche dalla percentuale di scheletro presente (particelle superiori ai 2 mm di diametro).

Con riferimento ai campionamenti ottenuti (Tabella 3.5) e tenuto conto di un'indagine a livello regionale (ARPAV, 2011) che ha indicato come accettabili i valori di K_{sat} che si possono ottenere con la pedofunzione di trasferimento (PTF) messa a punto da Saxton, Rawls, Romberger, & Papendick (1986), si è stimato un valore medio di K_{sat} (suolo tipo 'sandy loam' prossimo alla saturazione, ovvero le condizioni dello strato più profondo analizzato, P15) molto prossimo a 10^{-4} m/s; questo valore, specie negli orizzonti di profondità superiore al metro dove la proporzione di scheletro e la percentuale di sabbia aumentano, è da considerarsi 'idrologicamente' cautelativo, nel senso che sono da attendersi valori di permeabilità probabilmente superiori a quello stimato sulla base della tessitura (Figura 3.10).

4 Dimensionamento idrologico-idraulico

4.1 Dimensionamento e verifica idrologico-idraulica del giardino pluviale

La progettazione del rain garden si articola nei seguenti tre punti di analisi tecnica:

1. Condizioni di massimo afflusso idrico dal quale il rain garden può essere interessato.
2. Verifica dell'efficienza del rain garden per diverse situazioni di esercizio previste durante la sua vita nominale.
3. Funzionamento del sistema di monitoraggio ai fini di quanto previsto dal progetto Life BEWARE.

4.1.1 *Afflusso massimo atteso*

Sulla base del rilievo topografico eseguito, anche integrato con i dati disponibili dalla cartografia della Regione del Veneto (DTM), è stata determinata l'estensione dell'area di parcheggio in Piazza della Libertà, le cui acque meteoriche dovranno essere gestite dal giardino pluviale in progetto. Avendo il piazzale una conformazione a schiena d'asino (baulatura) con la parte più alta del parcheggio che corre lungo il suo asse di simmetria seguendo la direzione di scorrimento da Nord verso Sud, la superficie scolante risulta all'incirca il 50% di tutta l'area del parcheggio. Quest'ultimo è delimitato sul lato Nord da via Pozzati, dalla quale si accede con gli automezzi al piazzale, e su tutti gli altri lati da un cordolo rialzato, che separa l'area di utilizzo per posteggio da una striscia a verde circostante (cfr. Allegati fotografici). Il cordolo assume in planimetria una forma di U, ove la parte semicircolare rappresenta il lato Sud del parcheggio, mentre i due 'segmenti' rettilinei della U, pressoché paralleli, sono le due porzioni di perimetro lato Est ed Ovest. Dividendo idealmente la "U" in due semi-porzioni (separate appunto dal suo asse di simmetria), il rain garden è stato pensato per servire idrologicamente quasi l'intero settore Ovest dell'area; per brevità denominiamo da qui in avanti l'area servita quale settore semi-U-Ovest. È opportuno precisare che lungo il cordolo rettilineo lato-Ovest è presente un'interruzione del cordolo che è stata realizzata per consentire e agevolare una passeggiata perimetrale entro la zona verde del parcheggio (Figura 7.5, Allegato 7.1). Allo stato attuale l'interruzione del cordolo fa sì che durante le precipitazioni intense parte delle acque prodotte nella zona semi-U-Ovest non arrivino fino al cordolo lato sud ma vengano scaricate (anche attraverso una piccola griglia) lungo la scarpata consolidata e inerbata che delimita il parcheggio stesso (Figura 7.7, Allegato 7.1). Nel presente progetto si è deciso di evitare il ruscellamento spesso incontrollato lungo la scarpata cui danno luogo sia queste acque sia quelle raccolte dalla successiva caditoia grigliata (zona Sud attigua al cordolo) a servizio della semi-U-Ovest del settore (Figura 7.6, Allegato 7.1). Ad esempio, in occasione del recente evento meteorologico di fine ottobre 2018, queste acque hanno prodotto una discreta erosione lineare lungo la scarpata stessa (Figura 7.8, Allegato 7.1).

In progetto è innanzitutto previsto che tutte le acque della zona semi-U-Ovest siano convogliate verso il giardino pluviale in progetto e siano da esso gestite con un rischio idraulico residuo, in termini di possibile allagamento del piazzale/parcheggio, assai ridimensionato rispetto a quello attuale. Il piazzale, come si è precisato in premessa, è posto praticamente dietro al Municipio di Santorso ed è caratterizzato da una discreta frequentazione/utilizzo da parte degli autoveicoli oltre che rappresentare uno spazio multifunzionale per alcune fruizioni pubbliche (p.e. mercato settimanale). Per assicurare che il rain garden serva effettivamente tutto il settore semi-U-Ovest, si è previsto di realizzare una griglia a raso che inizia ove il cordolo è assente (ove come si è detto si consente il passaggio pedonale) e continua verso Sud in adiacenza al cordolo (lato parcheggio) sino ad innestarsi su quello che sarà il nuovo pozzetto per l'immissione delle acque nel rain garden. La griglia avrà una lunghezza di 13,70 m ed è riportata in planimetria nella tavola EG1.1, Allegato 7.2. Nella Tavola si vede anche che la griglia transiterà, circa a metà del suo percorso, in corrispondenza dell'attuale caditoia grigliata lato Sud-Ovest (pozzetto di cui è prevista la rimozione), poiché la posizione topograficamente più favorevole per il pozzetto d'ingresso al nuovo rain garden è circa 7 m più avanti muovendosi verso Sud lungo il cordolo.

Operata questa scelta, risulta che la zona semi-U-Ovest scolante, che il giardino pluviale dovrà servire dal punto di vista idrologico, ha una superficie (AS) pari a 783,5 m² (0,00078 km²).

Il valore della massima portata al colmo che potrà interessare il pozzetto del rain garden in caso di evento molto severo ha considerato un tempo di ritorno $T_r = 50$ anni dell'evento di pioggia generatore con la relativa equazione della linea segnalatrice di possibilità pluviometrica:

$$h = 84,74 t^{0,6}$$

con h espresso in mm e t in ore; cfr. Paragrafo 3.3.2). La portata al picco è stata valutata con il metodo razionale e assumendo per AS un coefficiente di deflusso (CD) medio di 0.90 (area servita praticamente impermeabile) e un tempo di corrivazione (TC) di circa 8 minuti (0.13 ore). Quest'ultimo valore risulta dividendo la lunghezza massima di scorrimento prevista per la lama d'acqua (236 m) per una velocità media (cautelativa, cioè stimata per eccesso) del flusso di 0.5 m/s. Sotto queste ipotesi la massima portata attesa per $T_r = 50$ anni risulta:

$$Q_{50} = \frac{(CD \cdot h \cdot AS)}{(3.6 \cdot TC)}$$

essendo h l'altezza di precipitazione calcolata per una durata di 0,13 ore ($h = 80 \times 0,13^{0,6} = 25$ mm).

Sostituendo i valori nell'equazione sopra, risulta quindi:

$$Q_{50} = \frac{(0,9 \cdot 25 \cdot 0,00078)}{(3,6 \cdot 0,13)} = 0,037 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (37 L/s)}$$

Per questa portata massima dovrà poter lavorare efficacemente soprattutto il pozzetto che gestisce le acque d'ingresso al rain garden e, in seconda battuta, il dispositivo di troppo pieno.

4.1.2 Efficienza del rain garden in esercizio

La verifica dell'efficienza idrologico-idraulica del rain garden è stata condotta attraverso un bilancio cumulato nel tempo fra il volume d'acqua potenzialmente entrante al perdurare della precipitazione, $V_e(t)$, e quello gestito dal sistema $V_g(t)$.

Le due quantità si calcolano come segue:

$$V_e(t) = c \cdot h(t) \cdot AS = CD \cdot a t^n$$

Per i valori di a e n della linea segnalatrice si rimanda al Paragrafo 3.3.2.

Il volume gestito dal rain garden si stima invece come:

$$V_g(t) = (V_{sup} + V_{stor}) + V_{inf}(t)$$

le tre componenti di V_g indicate sopra sono le seguenti:

- V_{sup} : il volume massimo che può essere invasato in superficie dal rain garden fino al suo massimo riempimento che corrisponde alla quota dove si posizionerà al suo interno la sommità della tubazione verticale che mette in azione lo scarico di troppo pieno; nel caso specifico il sistema progettato prevede un vaso con depressione media di 0,25 m 'utili come vaso' che si estendono su di una superficie pari mediamente a 66,5 m²; $V_{sup} = 0,25 \times 66,5 = 16,625$ m³.
- V_{stor} : il volume che viene invasato per riempimento dei vuoti della parte drenante inferiore allo strato di terreno culturale adeguatamente ammendato e preparato; al di sotto di questo strato (si è scelto uno spessore medio di 0,6 m), del quale si è trascurata per sicurezza la capacità d'invaso (ipotesi di terreno pre-evento di pioggia già molto umido), si è prevista una successione di materiali granulari drenanti disposti con gradazione inversa dall'alto verso il basso (rispettivamente: 0,15 m di spessore di sabbia di fiume; 0,15 m di ghiaia grossa lavata; 0,80 m di ciottoli grossolani con pezzatura media discretamente uniforme con diametri di 10-15 cm); lo strato drenante ha dunque uno spessore complessivo SD di 0.80 m; assumendo una porosità media (n) dello strato del 35%, il massimo volume d'acqua invasabile risulta: $V_{stor} = SD \times AS \times n = 1,1 \times 66 \times 0,35 = 25,4$ m³ (valore di AS arrotondato cautelativamente per difetto). La somma di V_{sup} e di V_{stor} può anche definirsi come una sorta di "volume vaso di base" complessivo reso disponibile dalla conformazione topografica del rain garden e del suo strato drenante.
- $V_{inf}(t)$: è il volume idrico che, se si costruisce come nel caso in esame un SuDS disperdente nel terreno, va ad infiltrarsi al di sotto e perimetralmente alla strato drenante; la soluzione disperdente è avvallata dalla condizione freaticometrica del piazzale che pone la falda 5 metri al di sotto del piano campagna; se poi si trascura la dispersione laterale, il moto di filtrazione nel mezzo saturo ha luogo solo verticalmente con gradiente idraulico unitario (moto verticale) secondo la legge di filtrazione di Darcy (cfr. Paragrafo 3.4); sotto questa particolare condizione la velocità media apparente di filtrazione coincide con permeabilità del terreno K_{sat} ; sulla base del sondaggio del terreno che si è condotto come attività propedeutica alla progettazione (Paragrafo 3.4) e che ha

raggiunto, campionandolo, le profondità di 0,5 m, 1 m e 1,5 m, al di sotto di 1 m di profondità è sempre risultato un terreno con una discreta permeabilità, corrispondente a una copertura detritica poco addensata costituita da elementi granulari sabbioso-ghiaiosi in limitata matrice limo-sabbiosa; sulla base di questi sondaggi si è attribuito (valori di letteratura corroborati anche dalla formula di Hazen) un valore di $K_{sat} = 10^{-4.5}$ m/s; il volume infiltrato risulta quindi: $V_{inf}(t) = K_{sat} \times AS \times t$ (con $AS = 66 \text{ m}^2$; e le rimanenti variabili espresse nelle opportune unità di misura in modo da fornire il volume in metri cubi).

Con l'applicazione del criterio di verifica idraulica appena descritto, si è quindi determinato quel tempo di precipitazione, denominato tempo critico, per il quale il giardino pluviale entra in una condizione di criticità idraulica, ovverossia il suo invaso superficiale è colmo e deve per forza intervenire, per evitare il traboccamento dell'acqua dal giardino, lo scarico di troppo pieno; nel caso in esame questa condizione corrisponde ad una profondità dell'acqua di 25 cm rispetto al fondo del rain garden.

Il calcolo è stato sviluppato determinando il tempo critico per differenti scenari di tempo di ritorno (Tr) della linea segnalatrice definiti dai corrispettivi valori dei parametri a ed n riportati nella Tabella 3.4 al Paragrafo 3.3.2.

In Figura 4.1 e Figura 4.2 sono riportate le curve dell'andamento del volume entrante nel tempo (V_e) e del volume gestito (V_g) al perdurare della precipitazione; nei grafici si può apprezzare che quando la prima curva interseca e comincia a posizionarsi al di sopra della seconda si determina proprio il tempo critico ricercato (riportato per chiarezza anche nel grafico). Sintetizzando i risultati dell'analisi idrologica, si desume che:

- per una precipitazione con $Tr = 2$ anni, il giardino non va praticamente mai in crisi e la pioggia viene sempre gestita senza l'intervento del dispositivo di troppo pieno;
- per una precipitazione con $Tr = 5$ anni, il tempo critico si verifica dopo 2 ore e le acque sono recapitate dal tubo di troppo pieno in un pozzetto di raccolta (Tavola EG1.2, Allegato 7.2) che è stato posizionato nell'area verde lato Sud-Est adiacente al parcheggio; questo pozzetto (volume di un metro cubo circa) è a sua volta dotato nella sua parte alta di una tubazione di scarico di emergenza, che riversa le acque sulla scarpata lato Est che delimita il parcheggio;
- per una precipitazione con $Tr = 10$ anni, il tempo critico diminuisce ad 1 ora e 15' con un anticipo di 45' rispetto alla situazione precedente nell'entrata in funzione del troppo pieno;
- per una precipitazione con $Tr = 30$ anni, il tempo critico si riduce a 50', valore che risulta comunque ancora di buona efficacia vista la severità dell'evento e il modesto valore del tempo di corrivazione (8 minuti) che caratterizza il 'bacino' contribuente.

In base ai risultati ottenuti e considerando il miglioramento notevole rispetto alla situazione attuale, la performance di progetto della misura naturale di ritenzione delle acque in progetto risulta molto soddisfacente, anche in relazione ai tempi di ritorno di alluvione/pioggia verificati e i cui valori più severi ($Tr = 30$ anni) sono paragonabili a quelli attesi durante la vita nominale dell'intervento. Dopo 20-25 anni, infatti, si consiglia una riapertura del giardino fino alla trincea drenante, perché è molto probabile che il

dilavamento dei sedimenti fini abbia ostruito i vuoti atti a garantire l'invaso di progetto (V_{stor}). Si sarebbe potuto apparentemente evitare questo effetto di intasamento prevedendo un geotessuto separatore (p.e. tessuto-non tessuto) da posizionare tra la sabbia e la ghiaia: il pericolo di questa soluzione è che a un funzionamento molto efficiente all'inizio dell'esercizio del sistema segua un più rapido decadimento della funzionalità dello strato drenante grossolano a causa dell'intasamento del geotessuto. Per questo motivo si è optato per una soluzione manutentiva straordinaria di lungo periodo non prevedendo il geotessuto.

Durante l'esercizio del rain garden ed anche grazie al monitoraggio del comportamento che è previsto nell'ambito del progetto LIFE finanziatore, si potranno ulteriormente verificare gli afflussi al rain garden e la quantità e modalità dei volumi detenuti dal sistema durante eventi di pioggia di differente intensità e distribuzione temporale.

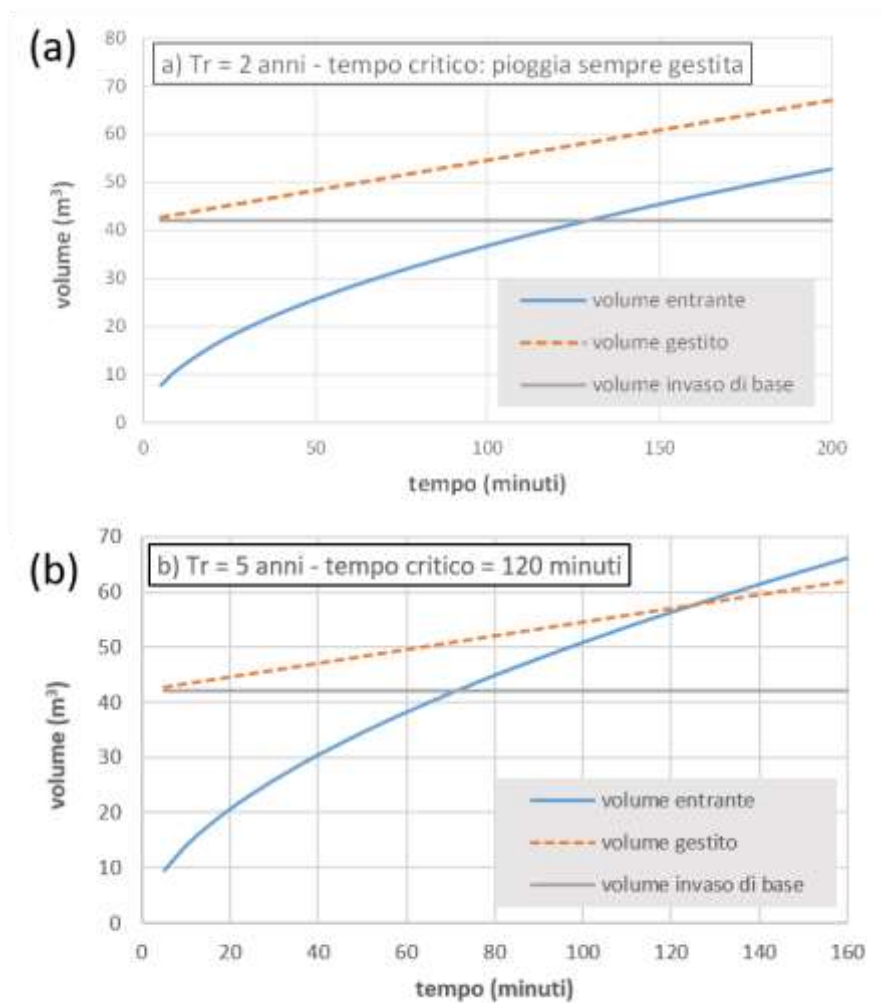


Figura 4.1. Volumi di deflusso entrante nel 'rain garden' e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV 'Monte Summano' (Comune di Piovene Rocchette) per diversi tempi di ritorno (Tr): a) $Tr=2$ anni b) $Tr=5$ anni. Il tempo critico indicato nel titolo di ogni grafico indica la situazione di crisi del sistema quando il volume entrante nel sistema supera il valore gestito ed entra in funzione il troppo pieno all'interno del SuDS.

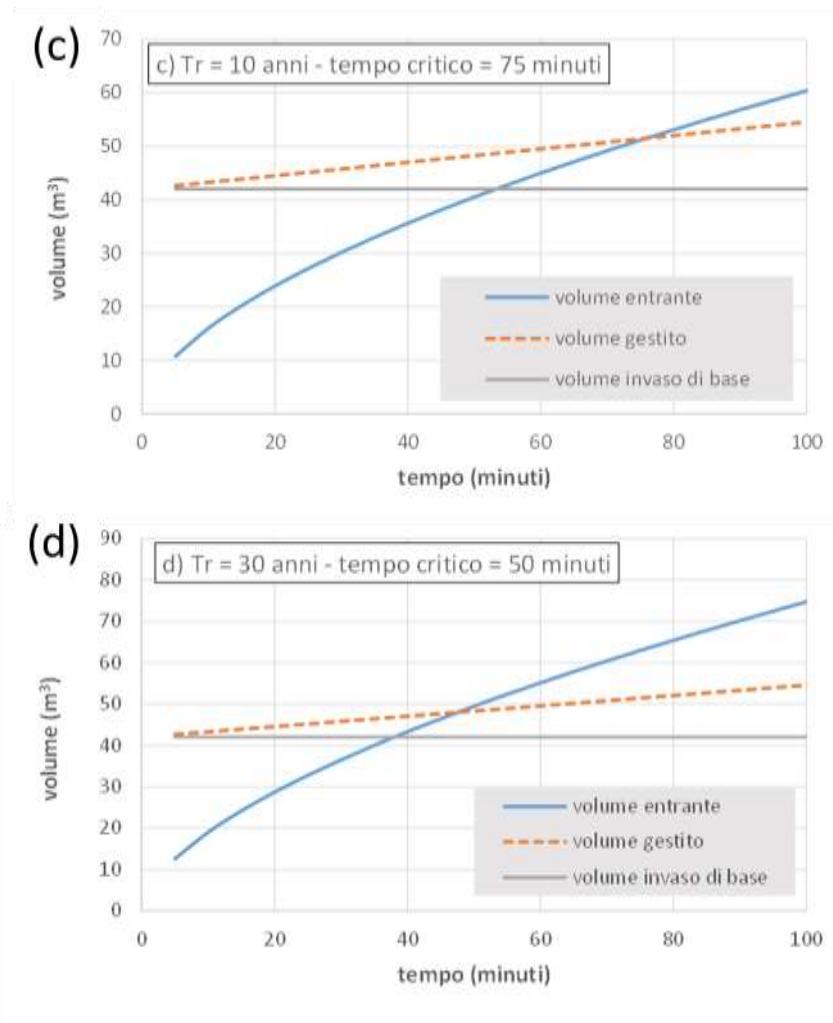


Figura 4.2. Volumi di deflusso entrante nel 'rain garden' e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV 'Monte Summano' (Comune di Piovene Rocchette) per diversi tempi di ritorno (Tr): c) Tr= 10 anni; d) Tr=30 anni. Il tempo critico indicato nel titolo di ogni grafico indica la situazione di crisi del sistema quando il volume entrante nel sistema supera il valore gestito ed entra in funzione il troppo pieno all'interno del SuDS.

4.2 Monitoraggio di funzionamento del sistema

Per la misura delle precipitazioni è prevista l'installazione di un pluviometro registratore con scansione di registrazione inferiore ai 5 minuti e posto a una distanza inclusa nel raggio spaziale di 100 m rispetto al piazzale della Libertà. Il sito è in via di definizione, per poter combinare la sicurezza dello strumento nei confronti di atti di possibile manomissione con la vicinanza al sito di monitoraggio.

La misura degli afflussi nel nuovo pozzetto recettore avviene assumendo le seguenti condizioni progettuali e di realizzazione.

- 1) Gli afflussi entrano nel nuovo pozzetto di raccolta delle acque che viene posizionato tagliando il cordolo esistente lato Sud (settore semi-U-Ovest) per la lunghezza di 1 m circa; poco 'a monte' del cordolo rimosso arriva la cunetta grigliata laterale descritta precedentemente e che cattura le acque che

altrimenti verrebbero perse a causa del tratto di cordolo già ribassato sul lato Ovest; la stessa griglia, per la lunghezza di 1 m del cordolo tagliato, risulta più ampia (50 cm) all'altezza del cordolo, poiché riceve anche le acque che sgondano direttamente dal semi-piazzale scorrendo in direzione Nord-Sud (cioè ortogonalmente all'asse longitudinale della griglia). Per evitare che le acque di scorrimento provenienti dal piazzale superino la griglia senza essere intercettate si potrà conformare la griglia con una parte finale posta in leggera contropendenza (oppure ponendovi un piccolo diaframma finale frangi-acqua). Al di sotto della griglia è presente il nuovo pozzetto di servizio al rain garden. Questo pozzetto è composto di due parti come mostrato in Tavola 1.3 (EG1.3):

a. Un primo pozzetto sifonato a sezione quadrata (larghezza 0,57m, altezza 0,95 m), provvisto di griglia in ghisa sferoidale, che permette di bloccare e raccogliere il materiale trasportato e fluitato dalla corrente (sedimenti e materiale vegetale); la sua funzione è quindi quella di preservare l'efficacia del sistema di misura della portata e della successiva tubazione di collegamento previste a valle del pozzetto sifonato.

b. Un secondo pozzetto a sezione rettangolare lungo 1,48 m metri e largo 1,28 m suddiviso in due scomparti da un setto verticale in acciaio inox conformato idraulicamente come uno stramazzo in parete sottile a contrazione laterale (lunghezza sfiorante pari a 80 cm, con baffi laterali simmetrici): il primo scomparto più a monte, lungo 0,70 m e profondo 0,50 m è la vasca di calma dello stramazzo dove avviene il recapito delle acque dal pozzetto sifonato e la misura dell'altezza del flusso per mezzo di un trasduttore di pressione posto all'interno di un tubo in PVC forato e ancorato alla parete laterale del pozzetto; il secondo comparto cubico del pozzetto lungo 0,5 m, con il fondo con una pendenza verso valle del 3% sagomato in modo da favorire l'uscita dell'acqua attraverso la tubazione di collegamento che dà verso il rain garden; il lato di valle della parete (lato Sud) di questa porzione finale di pozzetto deve infatti risultare aperto per assicurare una buona aerazione della vena; questo scomparto terminale immette per scorrimento l'acqua che proviene dallo stramazzo sopra alla sponda del rain garden (angolo Nord-Ovest in planimetria; Tavola EG1.2, Allegato 7.2). A chiusura del pozzetto di misura è previsto un coperchio amovibile in acciaio munito di chiusura antintrusione. Utilizzando le note leggi della fononomia, il carico idraulico massimo atteso rispetto al ciglio sfiorante non oltrepasserà mai (per la portata $Q_{50} = 37$ L/s) i 9 cm. Il ciglio dello stramazzo è dunque posto ad una quota relativa di -10 cm rispetto al piano griglia (quota superiore piazzale). Con tale dispositivo si potrà dunque controllare e misurare (qualitativamente per campionatura manuale e quantitativamente tramite il piezometro) le acque in ingresso nel giardino pluviale.

2) Sul lato Est del fondo del giardino pluviale si prevede l'inserimento del dispositivo di troppo pieno. Si tratta di un tubo chiuso in PVC del diametro di 160 mm, che dopo un breve gomito, quasi in orizzontale per dirigersi (si veda la planimetria di progetto Tavola EG1.2, Allegato 7.2) verso il pozzetto di troppo pieno. In quest'ultimo potranno essere misurate volumetricamente a fine evento le eventuali acque in esubero rispetto al sistema di ritenzione; dentro il pozzetto di troppo pieno potrebbe anche inserirsi un ulteriore misuratore di livello; in prossimità del cielo di questo pozzetto di emergenza è posto un tubo di

scarico che entra in gioco solo in caso di eventi meteorici veramente estremi (p.e. pioggia di durata di 2 ore con $Tr > 30$ anni) recapitando le acque sulla scarpata lato Est del parcheggio. Il bordo superiore del tubo verticale di troppo pieno dovrà essere posizionato ad una quota di almeno 1 cm inferiore rispetto al ciglio dello stramazzo entro il pozzetto di servizio descritto al punto precedente (cioè non più di -11 cm rispetto al piano stradale/griglia). In questo modo il troppo pieno entrerà in funzione quando lo stramazzo risulterà rigurgitato da valle e si eviterà l'allagamento del piazzale, poiché il massimo livello si manterrà sempre intorno a quota relativa di -10 cm circa rispetto alla griglia.

3) Si prevede, infine, un'ulteriore tubazione verticale in materiale plastico (diametro 160 mm; lunghezza di 1,70 m circa) adiacente a quella verticale di troppo pieno, ma con il ciglio a quota poco più alta del piano stradale (p.e. +2 cm); il tubo termina dopo essere arrivato al fondo dello strato drenante grossolano dove risulta aperto al fondo e microforato lateralmente negli ultimi 0,4-0,5 m di profondità; questo tubo 'spia' rappresenta un'ulteriore possibilità di monitoraggio del sistema: qualitativamente si possono campionare con provinatura manuale le acque gestite dal SuDS e quantitativamente si può misurare con un piezometro la progressiva entrata in funzione del drenaggio e l'evoluzione del livello idrometrico all'interno dei vari strati di 'terreno' che compongono il 'sistema' giardino pluviale.

5 Indicazioni vegetazionali: scelta delle specie e aspetti manutentivi

Un rain garden è un'aiuola con depressione superficiale il cui substrato è dotato di buona porosità in cui vengono messe a dimora piante con valenza ornamentale. La scelta delle specie da impiegare è fondamentale per adempiere alla loro funzione idrologica, estetica e per ridurre le spese di manutenzione. Per questo motivo sono state considerate le seguenti caratteristiche:

- Adattabilità a condizioni di saturazione e di siccità più o meno prolungate nel tempo;
- Resistenza ad attacchi patogeni;
- Capacità di adattamento a condizioni di pieno sole o ombra parziale;
- Altezza e diametro a maturità;
- Parametri estetico-funzionali per soddisfare le qualità ricreative dell'area, quali colore, forma e persistenza del fogliame, colore dei fiori e periodi di fioritura, capacità di attrarre farfalle, uccelli, ecc.

Di seguito è riportata una tabella con le caratteristiche delle specie previste di messa a dimora (Tabella 5.1) comprensivo di nome scientifico, tipo di pianta, periodo di fioritura, colore dei fiori, grandezza a maturità, densità di impianto ed ubicazione.

Indicativamente il prezzo delle piante erbacee perenni è di 4-5 euro/cad., quello degli arbusti 8-12 euro/cad. mentre per l'ontano (*Alnus glutinosa*) si prevede un costo di circa 100 euro. A dimora verranno disposte circa 50 piante erbacee perenni e 30 arbusti per un totale circa (compreso il costo dell'Ontano nero) di 650 euro.

Le piante erbacee perenni necessitano di una manutenzione discreta. Esse necessitano di un'irrigazione al primo anno di impianto e, successivamente, solo in caso di sintomi da siccità. Inoltre, prevedono una rimozione a fine inverno della vegetazione morta. La manutenzione prevista per le piante arbustive è simile a quella sopra descritta con la differenza che si richiedono potature annuali di contenimento.

Tabella 5.1. Caratteristiche delle specie previste a dimora nel rain garden

Nome scientifico	Tipo di pianta	Periodo di fioritura	Colore fioritura	H max (cm)	Ubicazione	Densità (m ²)
<i>Aster novi-belgii</i>	Pianta erbacea perenne	Ago-Ott	Bianco	80-90	Sponda	3
<i>Hemerocallis x hybrida</i>	Pianta erbacea perenne	Giu-Set	Vari	70-80	Sponda	3
<i>Salvia x sylvestris</i>	Pianta erbacea perenne	Giu-Ott	Blu-viola	80-85	Sponda	5
<i>Molinia caerulea</i>	Pianta erbacea perenne	Ago-Sett		30-50	Sponda	3
<i>Solidago rugosa</i>	Pianta erbacea perenne	Ago-Sett	Giallo	90-100	Sponda	5
<i>Cotoneaster spp.</i>	Arbusto sempreverde	Mag-Lug	Bianco	200-300	Sponda	1
<i>Alnus glutinosa</i>	Albero media grandezza	Gen-Apr		1000-2500	Interno	-
<i>Panicum virgatum</i>	Pianta erbacea perenne	Ago-Sett		80-90	Interno	3
<i>Echinacea purpurea</i>	Pianta erbacea perenne	Lug-Sett	Viola	70-75	Interno	3
<i>Loropetalum chinense f. rubrum</i>	Arbusto sempreverde	Apr-Ott	Rosa	80-100	Interno	1
<i>Iris spp.</i>	Pianta erbacea perenne	Mag-Lug	Giallo/Blu	70-80	Interno/Depressione	3
<i>Rudbeckia fulgida</i>	Pianta erbacea perenne	Lug-Ott	Giallo	70-80	Interno	5
<i>Lagerstroemia indica nana</i>	Arbusto spogliante	Lug-Sett	Rosa/Rosso	60-80	Interno	3
<i>Viburnum tinus</i>	Arbusto sempreverde	Dic-Mag	Bianco	120-150	Interno	1
<i>Abelia x grandiflora</i>	Arbusto semispogliante	Lug-Ott	Bianco	80-120	Interno	1

<i>Spiraea japonica</i>	Arbusto spogliante	Giu-Lug	Rosa	40-50	Interno	5
<i>Liriope graminifolia</i>	Pianta erbacea perenne	Lug-Sett	Bianco	80-90	Interno/Depressione	7

6 Bibliografia

- ARPAV. (2011). *Valutazione della permeabilità e del gruppo idrologico dei suoli del Veneto*. Retrieved from http://www.arpa.veneto.it/suolo/docs/documenti/suolo/Relazione_permeabilita_Gruppo_Idrologico_giu2011.pdf
- CNR-Isac. (2019). 2018 anno più caldo dal 1800 per l'Italia. Retrieved from Nota stampata sul sito CNR website: <https://www.cnr.it/it/nota-stampa/n-8503/cnr-isac-2018-anno-piu-caldo-dal-1800-per-l-italia>
- Saxton, K. E., Rawls, W. J., Romberger, J. S., & Papendick, R. I. (1986). Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture. *Soil Science Society of America Journal*, 50(4), 1031–1036. <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000040054x>
- Trigila, A., Iadanza, C., Bussettini, M., & Lastoria, B. (2018). *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio*. ISPRA, Rapporti 287/2018, Roma.

7 Allegati

7.1 Documentazione fotografica



Figura 7.1. Panoramica frontale della Piazza delle Libertà, Santorso (VI). In fondo si intravede il parco adiacente al parcheggio, luogo della realizzazione del rain garden.



Figura 7.2. Panoramica laterale (Sud-Ovest) della Piazza delle Libertà, Santorso (VI) interessata dal rain garden. In evidenza a sinistra il monumento "Agli Alpini" e in fondo a sinistra il monumento "Al partigiano".



Figura 7.3. Vista posteriore con orientamento Sud-Ovest della zona interessata dal rain garden.



Figura 7.4. Cordolo interessato attualmente da ruscellamento durante fenomeni di pioggia intensi. Il progetto prevede la realizzazione in questo sito di una griglia di intercettazione dell'acqua che confluisca nel giardino pluviale.



Figura 7.5. Lato Ovest del cordolo che presenta un'interruzione per agevolare una passeggiata perimetrale dentro la zona verde del parcheggio. Tale interruzione fa sì che durante le precipitazioni intense parte delle acque prodotte nella zona semi-U-Ovest non arrivino fino al cordolo lato Sud ma vengano scaricate lungo la scarpata laterale.



Figura 7.6. Caditoia a griglia (zona Sud attigua al cordolo) a servizio della semi-U-Ovest del settore. Questa caditoia verrà rimossa per dare spazio ad una griglia confluyente nel rain garden.



Figura 7.7. Scarpata consolidata ed inerbita nella parte ovest del parcheggio della Piazza della Libertà dotata di canalette superficiali per lo smaltimento a valle dell'acqua.



Figura 7.8. Discreta erosione della scarpata laterale Ovest del parcheggio dovuta alle abbondanti piogge in un recente evento meteorico di fine ottobre 2018.



*Figura 7.9. Panoramica della Piazza delle Libertà, Santorso (VI) vista dalla parte posteriore (Est) del rain garden. L'albero in evidenza verrà sostituito con un Ontano nero (*Alnus glutinosa*) per la sua capacità di tollerare umidità.*



Figura 7.10. Tracciamento del tubo in PVC in uscita dal rain garden. Vista posteriore, lato Est.



Figura 7.11. Tracciamento del tubo in PVC in uscita dal rain garden. Vista anteriore, lato Est.



Figura 7.12. Raccolta dei punti GPS (Topcon Hyper V) per la progettazione del tubo in uscita dal rain garden.



Figura 7.13. Raccolta dei punti GPS (Topcon Hyper V) per progettazione del tubo in uscita dal rain garden sfociante nel versante Sud-Est della Piazza in concomitanza con il parcheggio del campo sportivo.



Figura 7.14. Inizio lavori di scavo per l'identificazione del profilo pedologico prima dell'intervento.



Figura 7.15. Vista posteriore dello scavo.



Figura 7.16. Profilo pedologico dello scavo con riferimento metrico. Profondità di scavo 1,5 m.



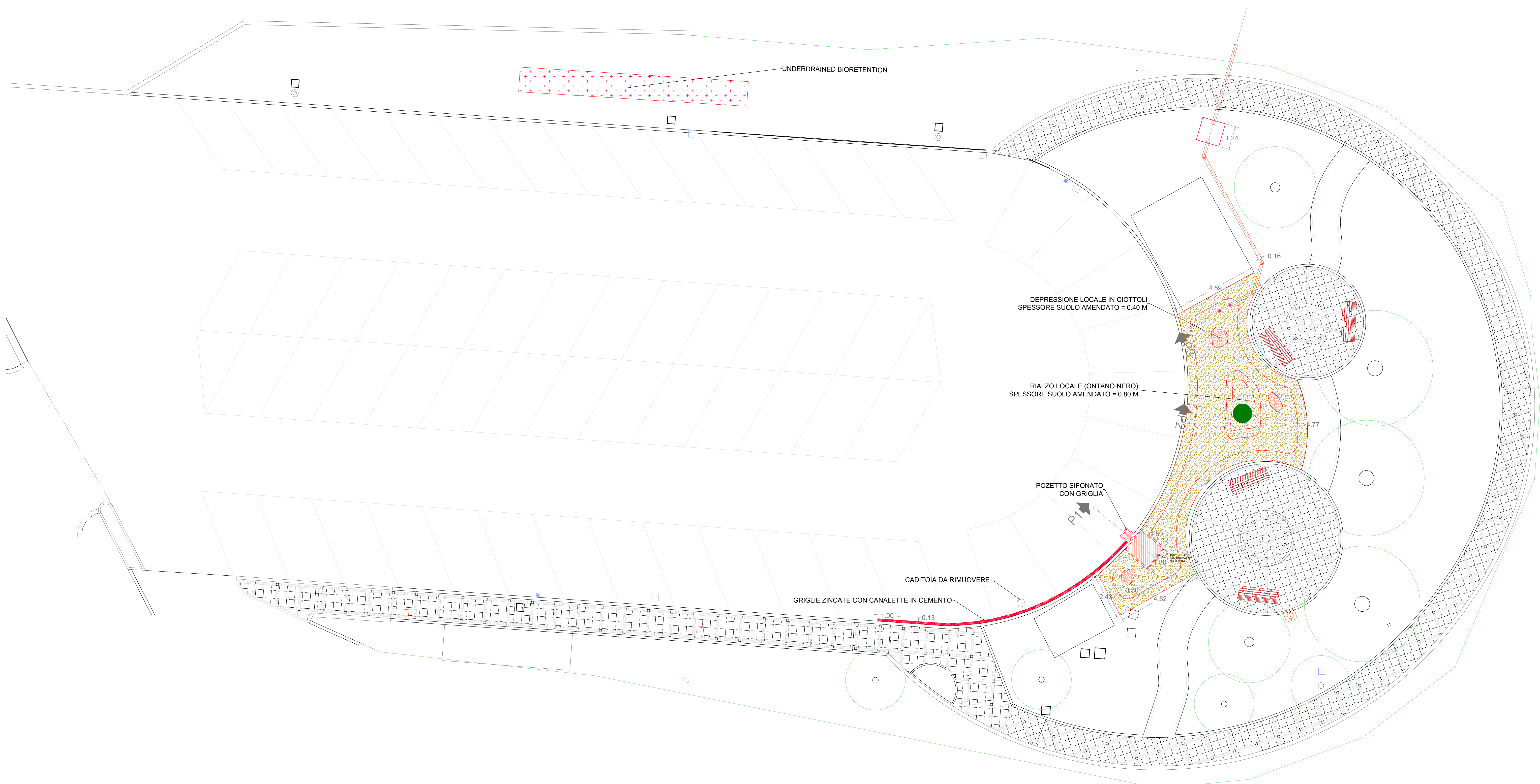
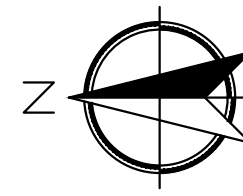
Figura 7.17. Raccolta dei campioni di suolo a 1,50 m; 1 m; 0,5 m in sacchetti di plastica adeguatamente etichettati.



Figura 7.18. Panoramica frontale dello scavo e degli strati interessanti dal prelievo dei campioni.

7.2 Tavole di progetto

- Tavola1.1 (EG1.1) Planimetria Piazzale della Libertà – Stato di progetto
- Tavola 1.2 (EG1.2) Piazzale della Libertà - Sezioni di progetto



Questo elaborato è stato prodotto con l'assistenza finanziaria dell'Unione europea attraverso il Programma LIFE. I contenuti di questo elaborato sono sotto la responsabilità del consorzio BEWARE e non possono riguardare né riflettere in alcuna circostanza la posizione dell'Unione Europea.



COMUNE DI SANTORSO (VI)



DIPARTIMENTO TESAFA,
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

LIFE17 GIC/IT/00091 PROJECT BEWARE:
Azione C4 - Sistemi sostenibili di drenaggio urbano (SuDS) per
l'adattamento climatico in aree urbane

Intervento 1: Piazzale della Libertà, Santorso (VI)

DATA
31 / 12 / 2018
N. ELABORATO
EG1.1
SCALA
1:100

TAVOLA 1.1:
**Planimetria Piazzale della
Libertà -
Stato di progetto**

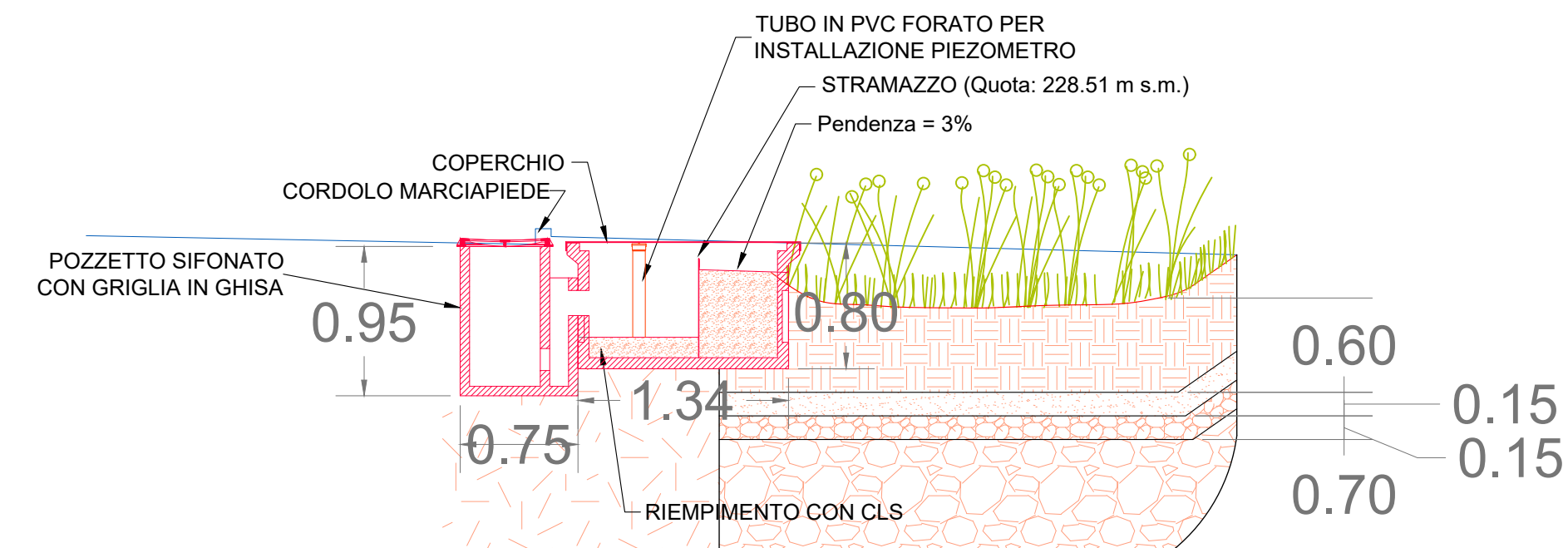
Responsabile tecnico del progetto per TESAFA:
Prof. Vincenzo D'Agostino
Collaboratori per TESAFA:
Dott. Roberta Pastorello
Prof. Lucia Bortolini

Responsabile tecnico del progetto per COMSAN:
Geom. Fabio Saterini
Collaboratori per COMSAN:
Geom. Giovanni Toniolo

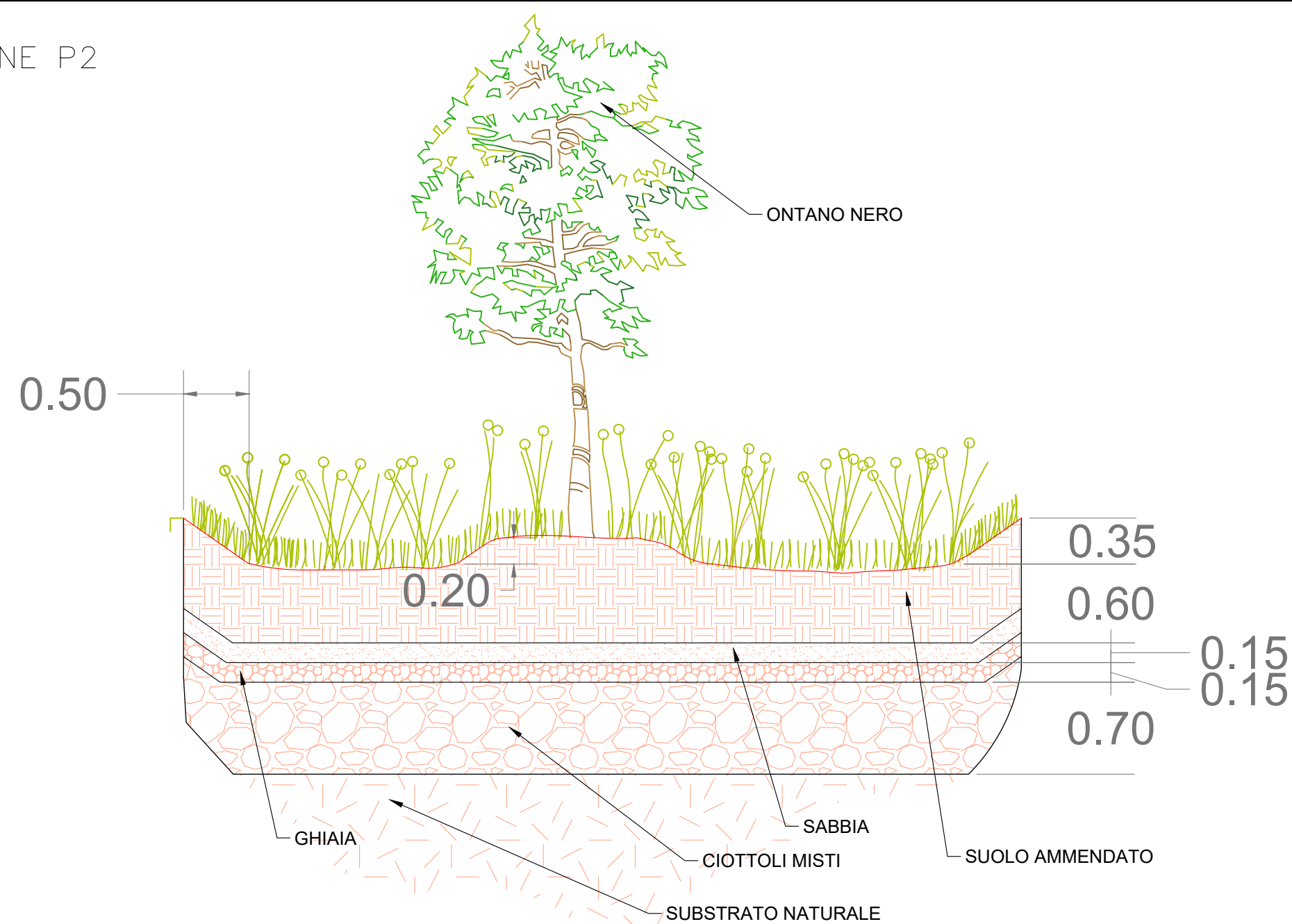
Legenda

- | | |
|------------------------------|---|
| — Edifici/muretti | — Copertura erbacea |
| — Opere di progetto | — CLS |
| — Particolari di progetto | — Telo pacciamante ricoperto da ghiaio lavato |
| — Tubi in PVC | — Suolo ammendato |
| — Sezioni | — Sabbia di fiume/cava |
| — Caditoie/griglie esistenti | — Ciottoli stondati poco gradati (D = 6/8 cm) |
| — Geotessuto | — Stabilizzato |
| — Parcheggi | — Ghiaia di cava |
| | — Substrato naturale |
| | ● Ontano nero |

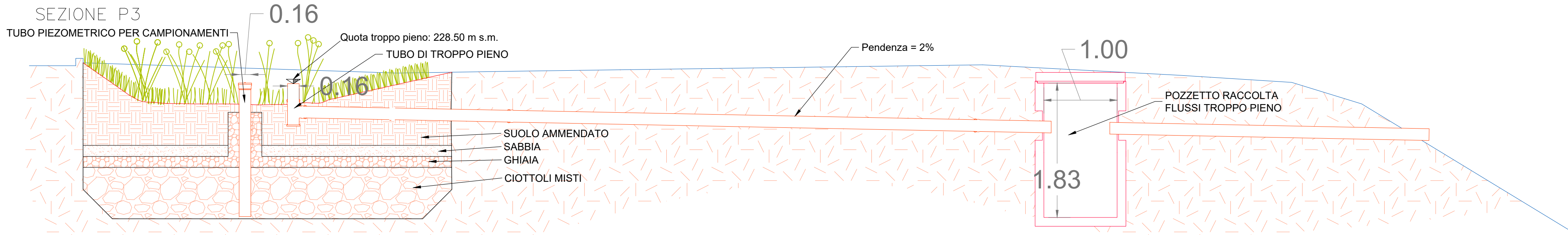
SEZIONE P1



SEZIONE P2



SEZIONE P3



Legenda

— Edifici/muretti	☐ Copertura erbacea
— Opere di progetto	☐ CLS
— Particolari di progetto	☐ Telo pacciamante ricoperto da ghiaio lavato
— Tubi in PVC	☐ Suolo ammendato
--- Sezioni	☐ Sabbia di fiume/cava
— Caditoie/griglie esistenti	☐ Ciottoli stondati poco gradati (D = 6/8 cm)
--- Geotessuto	☐ Stabilizzato
— Parcheggi	☐ Ghiaia di cava
	☐ Substrato naturale



Questo elaborato è stato prodotto con l'assistenza finanziaria dell'Unione europea attraverso il Programma LIFE. I contenuti di questo elaborato sono sotto la responsabilità del consorzio BEWARE e non possono riguardare né riflettere in alcuna circostanza la posizione dell'Unione Europea.



COMUNE DI SANTORSO (VI)



DIPARTIMENTO TESAF,
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

LIFE17 GIC/IT/000091 PROJECT BEWARE:
Azione C4 - Sistemi sostenibili di drenaggio urbano (SuDS) per l'adattamento climatico in aree urbane

Intervento 1: Piazzale della Libertà, Santorso (VI)

DATA
31 / 12 / 2018

N. ELABORATO
EG1.2

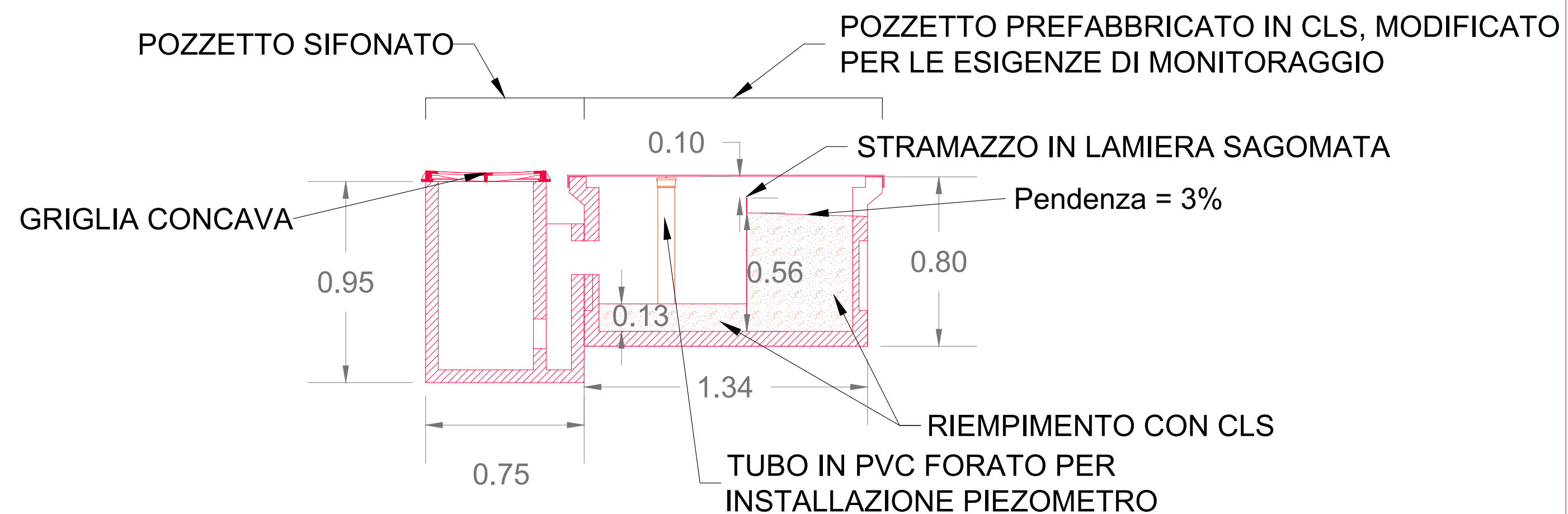
SCALA
1:40

TAVOLA 1.2:
Piazzale della Libertà -
Sezioni di progetto

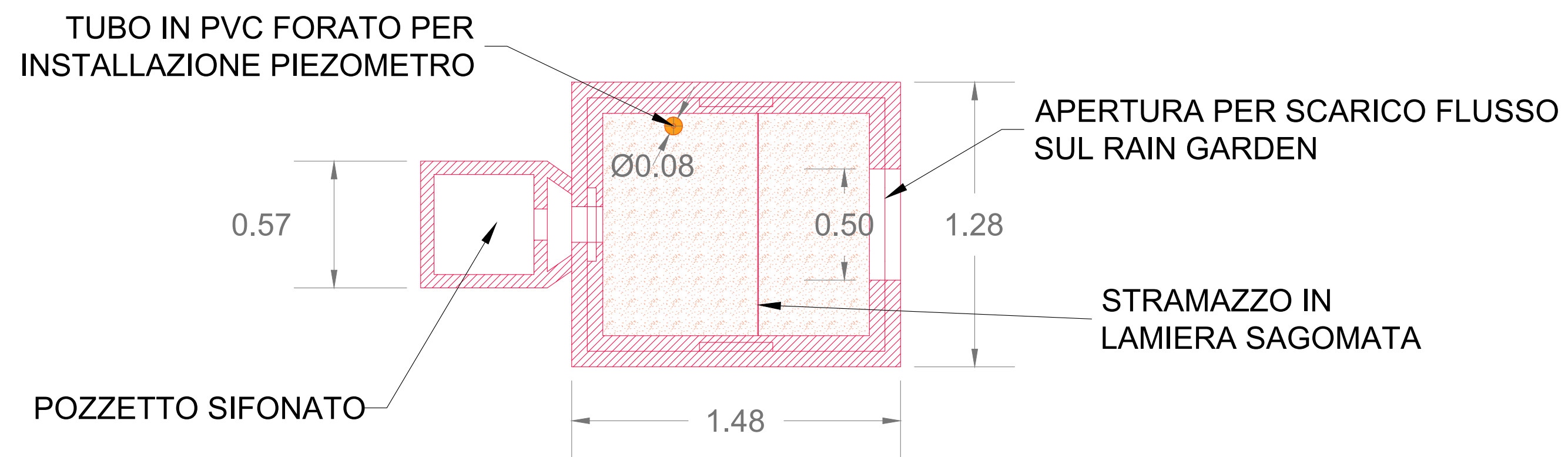
Responsabile tecnico del progetto per TESAF:
Prof. Vincenzo D'Agostino
Collaboratori per TESAF:
Dott. Roberta Pastorello
Prof. Lucia Bortolini

Responsabile tecnico del progetto per COMSAN:
Geom. Fabio Saterini
Collaboratori per COMSAN:
Geom. Giovanni Toniolo

SEZIONE DEL POZZETTO DI INGRESSO AL RAIN GARDEN



PIANTA DEL POZZETTO DI INGRESSO AL RAIN GARDEN (VISTA SENZA LA GRIGLIA CONCAVA E IL COPERCHIO IN LAMIERA)



Legenda

- Particolari di progetto
- Tubi in PVC
- Quote
- ▨ Pareti pozzetto
- ▨ CLS



LIFE17 GIC IT 000091

Questo elaborato è stato prodotto con l'assistenza finanziaria dell'Unione europea attraverso il Programma LIFE. I contenuti di questo elaborato sono sotto la responsabilità del consorzio BEWARE e non possono riguardare né riflettere in alcuna circostanza la posizione dell'Unione Europea.



COMUNE DI SANTORSO (VI)



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

TESAF

DIPARTIMENTO TESAF,
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

LIFE17 GIC/IT/000091 PROJECT BEWARE:
Azione C4 - Sistemi sostenibili di drenaggio urbano (SuDS) per l'adattamento climatico in aree urbane

Intervento 1: Piazzale della Libertà, Santorso (VI)

DATA
31 / 12 / 2018

N. ELABORATO
EG1.3

SCALA
1:20

TAVOLA 1.3:
Piazzale della Libertà - Particolari di progetto

Responsabile tecnico del progetto per TESAF:
Prof. Vincenzo D'Agostino
Collaboratori per TESAF:
Dott. Roberta Pastorello
Prof. Lucia Bortolini

Responsabile tecnico del progetto per COMSAN:
Geom. Fabio Saterini
Collaboratori per COMSAN:
Geom. Giovanni Toniolo