

BETTER Water-management for Advancing Resilient-communities in Europe

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

Intervention 5: PARKING LOT OF THE NEW GRAVEYARD

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, 22/03/2019



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 5: PARCHEGGIO DEL CIMITERO NUOVO

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, 22/03/2019



Indice

Indice.....	II
Glossario, Abbreviazioni, Acronimi	IV
Abstract.....	1
1 Premessa.....	2
2 Obiettivi specifici dell'intervento	4
2.1 L'intervento 5 – Parcheggio del cimitero nuovo (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	14
3.3.1 Regolarizzazione statistico-probabilistica	15
3.3.2 Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP)	18
3.4 Indagini propedeutiche	20
4 Dimensionamento idrologico-idraulico	23
4.1 Dimensionamento e verifica idrologico-idraulica del giardino pluviale.....	23
4.1.1 Descrizione generale dell'area di intervento	23
4.1.2 Afflusso massimo atteso	26
4.1.3 Efficienza del rain garden in esercizio	28
4.2 Dimensionamento ottimale e verifica idrologico-idraulica del sistema "detention basin-infiltration trench-pavimentazione Recycle".....	34
4.2.1 Descrizione generale del sistema	34
4.2.2 Afflusso massimo atteso	36
4.2.3 Efficienza del sistema	38
4.3 Progetto in versione "stralciata" realizzato nell'ambito del progetto LIFE BEWARE.....	40
4.4 Monitoraggio di funzionamento del sistema	44
5 Indicazioni vegetazionali: scelta delle specie e aspetti manutentivi.....	47
6 Bibliografia.....	50

7	Allegati	51
7.1	Documentazione fotografica	51
7.2	Tavole di progetto	59

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 5 that will take place in the parking lot of the new graveyard of 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, documented in the recent years (Figura 7.1).

The main objectives of this Intervention will be two:

- 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) two **RAIN GARDENS** in the two green areas located in the south-western part of the parking lot; 2) an **INFILTRATION TRENCH** in the northern part of the parking lot and 3) a **'RECYCLE' POROUS PAVING** in the northern part of the parking lot, near the infiltration trench.
- The second objective, as in the other interventions, will be didactical and demonstrative. In fact, intervention 5 will be an excellent example of good measures that people could personally adopt. 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 evapo-traspirati, 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.

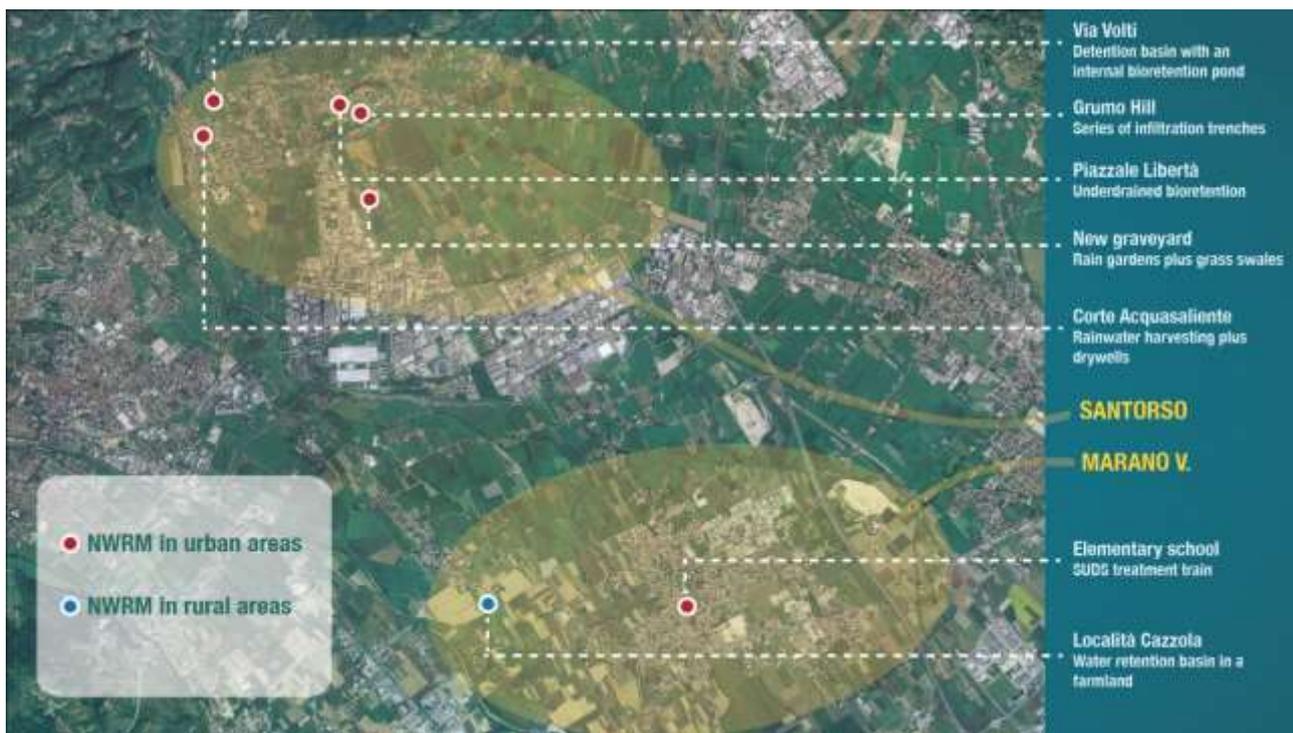


Figura 2.1. Mappa degli interventi, azione C4. La prima area corrisponde ad interventi urbani nel Comune di Santorso e la seconda nel Comune di Marano Vicentino con un intervento urbano e uno in contesto agricolo.

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 5 – Parcheggio del cimitero nuovo (Santorso, VI)

Il quinto intervento, che   l'oggetto di questa relazione progettuale, sar  localizzato nel parcheggio del cimitero di Via dei Prati, in Comune di Santorso, e prevede la messa in opera di diverse tipologie di Natural Water Retention Measures (NWRM)

L'obiettivo primario dell'intervento in progetto è di tipo **idrologico/idraulico**. La superficie impermeabile totale del parcheggio è di circa 1602 m² ed esso presenta una morfologia convessa tale per cui i deflussi tendono a ruscellare dall'asse centrale verso i bordi esterni. Nell'ipotesi che il parcheggio dovesse essere inquadrato in una trasformazione ex-novo del territorio secondo la vigente normativa regionale sulla compatibilità idraulica (Dgr n. 2948 del 06.10.2009), esso dovrebbe rientrare nella classe di intervento di "modesta impermeabilizzazione potenziale" (cioè su superfici comprese tra 0.1 e 1 ha), con luci delle tubazioni di scarico che non eccedono i 200 mm e tiranti nell'invaso non superiori al metro e con la possibilità, in presenza di terreni di adeguata permeabilità, di realizzare "sistemi di infiltrazione facilitata ove convogliare i deflussi in eccesso prodotti dall'impermeabilizzazione"; con tali sistemi le misure compensative sono da individuarsi in volumi di invaso adeguati per la laminazione di almeno il 50% degli aumenti di portata indotti dalla 'nuova' trasformazione di uso del suolo. Non essendo in realtà proposte nuove trasformazioni, ma miglioramenti di una situazione in essere, si è risolto di considerare nella progettazione tempi di ritorno di pioggia inferiori al valore di 50 anni previsto dalla Dgr.n.2948.

Essendo verificatesi delle sofferenze idrauliche (allagamenti) nella zona meridionale del parcheggio anche dopo la sua realizzazione, l'obiettivo è ora quello mitigare tale problematica, realizzando delle opere sostenibili di ritenzione idrica (SuDS). Le opere si inquadreranno (seppure "ex-post") nella cornice della più recente normativa regionale sulla compatibilità idraulica; esse permetteranno, infatti, una migliore gestione dei deflussi, limitando gli episodi di allagamento che sono stati documentati in più occasioni in caso di eventi di pioggia intensi. In particolare, verranno realizzati: due giardini pluviali (rain garden), una trincea drenante (infiltration trench), un bacino di detenzione (detention basin) e la riconversione di una porzione del parcheggio da impermeabile a permeabile. In particolare, nella zona dove avverrà la rimozione di un'aiuola interna spartitraffico (rivelatasi nel tempo non molto funzionale), si utilizzerà la pavimentazione drenante "Recycle" ® con adeguata trincea di sottofondo.

Gli interventi previsti sono stati dimensionati in modo da gestire in sicurezza le acque di pioggia raccolte dalla superficie impermeabile del parcheggio. Dai calcoli effettuati utilizzando le serie storiche di precipitazione del pluviometro di Monte Summano (rete ARPAV), i due rain garden da soli sono in grado di gestire perfettamente piogge con tempo di ritorno fino a 50 anni, senza mai andare in situazione di sovraccarico. È importante però tenere presente che se si considera anche tutta la superficie agricola idrologicamente contribuente a monte, ubicata a nord/nord-est del parcheggio e con questa confinante, l'area servita dagli interventi si amplierebbe notevolmente arrivando quasi ad un'estensione di 5 ettari. In questo caso, le opere in progetto sono in grado di gestire una precipitazione con tempo di ritorno di 2 anni, senza mai entrare in crisi. Invece, nel caso di una precipitazione con tempo di ritorno di 5 anni, il sistema riesce a gestire una durata massima di pioggia di 60 minuti, dopodiché entreranno in funzione i dispositivi di troppo pieno previsti, che permetteranno alle acque in eccesso di confluire allo scarico già esistente che porta i deflussi al vicino torrente Rio.

Parallelamente a queste esigenze funzionali, tale intervento avrà anche una **funzione dimostrativa e divulgativa**, prevista 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. I cittadini, e in particolar modo i professionisti di settore, verranno accompagnati alla visita degli interventi in modo da diffondere la conoscenza di questo tipo di opere. Anche questo intervento, similmente a quello previsto in Piazza della Libertà, è collocato in corrispondenza di un'area abbastanza frequentata del paese, offrendo così la possibilità di garantire una buona visibilità all'insieme di soluzioni adottate per la gestione delle piogge.



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

Le opere in progetto sono localizzate in corrispondenza del parcheggio posto a ovest del cimitero di Via dei Prati, nel Comune di Santorso (VI), e comprendono: (i) rain garden in serie per la gestione delle acque del solo parcheggio; (ii) detention basin, infiltration trench e pavimentazione drenante per gestire le acque che arrivano dall'area agricola ubicata a nord-ovest del cimitero.

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).

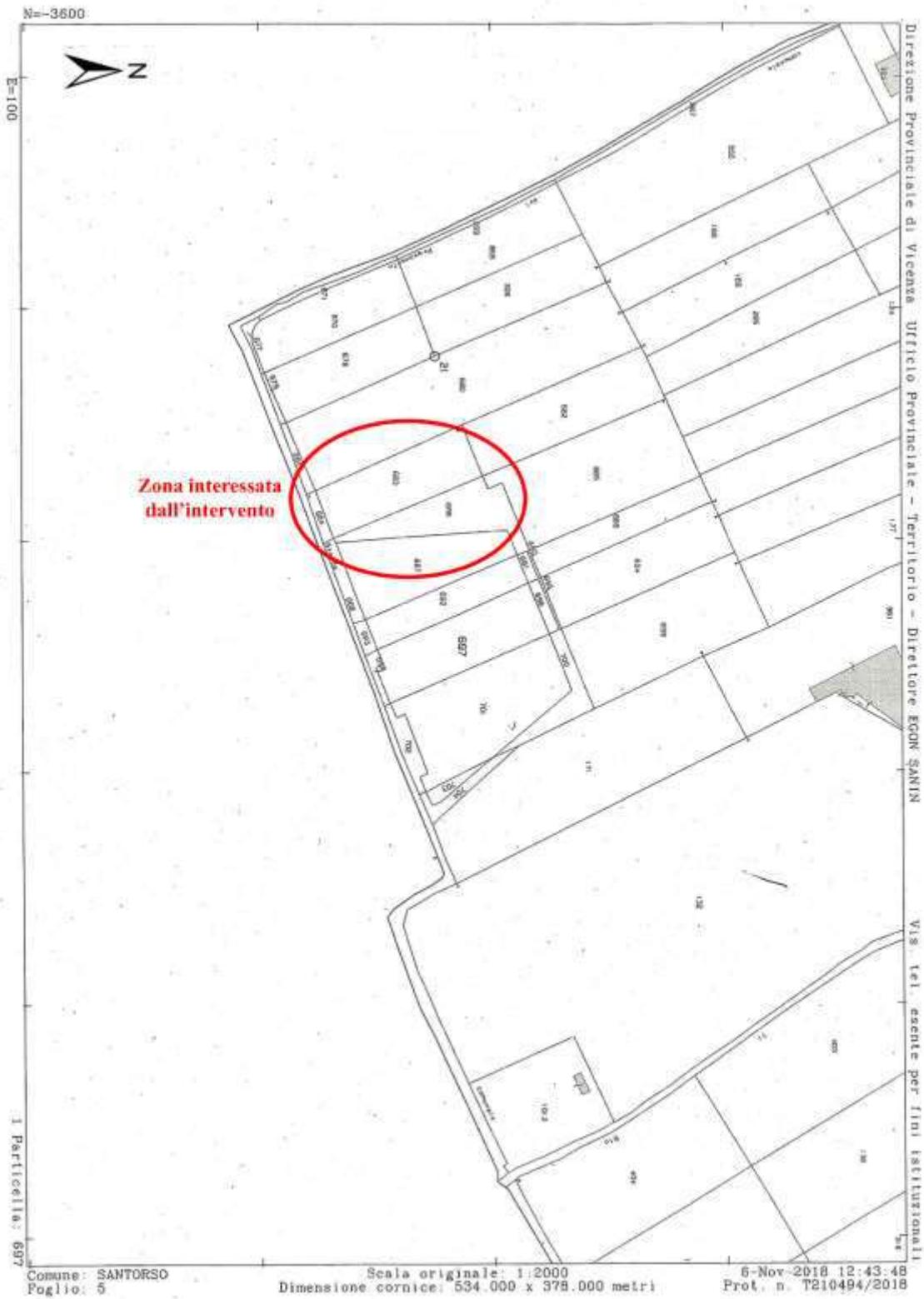


Figura 3.2. Localizzazione della zona interessata da intervento su mappa catastale.

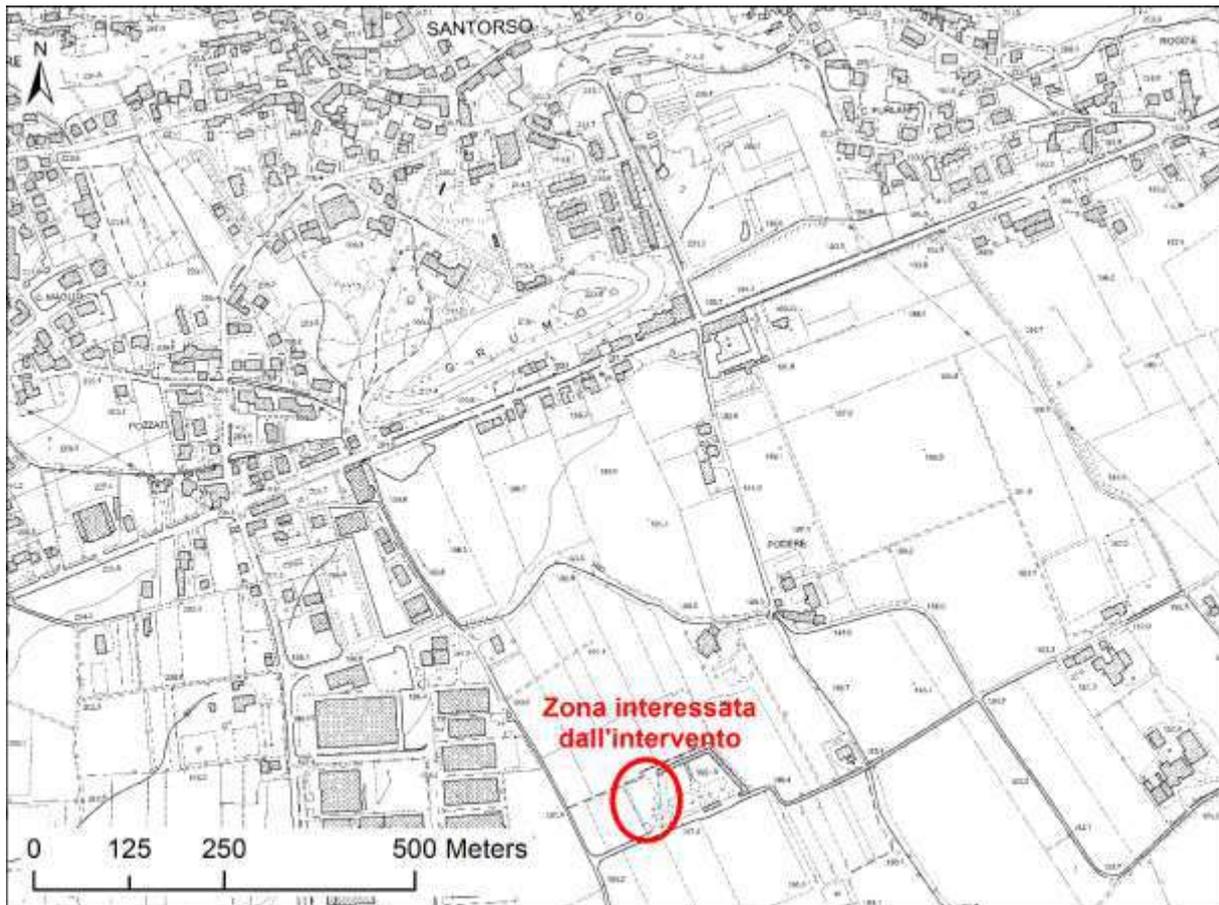


Figura 3.3. Localizzazione della zona interessata da intervento su Carta Tecnica Regionale (Scala 1:10000).

3.2 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrologico

Il cimitero nuovo di Santorso è localizzato nella parte meridionale del territorio comunale, in posizione più distaccata rispetto al Monte Summano, e per questo motivo non ricade in aree di falde detritiche o franose (Figura 3.5).

Dal punto di vista litologico il territorio in cui ricade l'area oggetto d'intervento risulta composto da materiali granulari più o meno addensati dei terrazzi fluviali e/o fluvio-glaciali antichi a tessitura prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa (Figura 3.4). Trattandosi di depositi mediamente permeabili per porosità, la classe di permeabilità di riferimento è la 2A (secondo codifica della Regione del Veneto, che corrisponde all'incirca alla classe di permeabilità B nella metodologia del Soil Conservation Service, SCS, americano).

Per verificare in loco la composizione pedologica è stato effettuato uno scavo della profondità di 1.5 m in una delle aiuole presenti all'interno del parcheggio dove si è prevista la costruzione di un giardino pluviale (si rimanda alle Figure 7.12-7.15 dell'Allegato 7.1).

Dal punto di vista idrologico il parcheggio del cimitero ricade in un'area con profondità freatica compresa tra 2 e 5 m (Figura 3.6). Interrogando gli abitanti del luogo è emerso come il parcheggio del

cimitero sia stato ciclicamente interessato da allagamenti e ristagno d'acqua a seguito di eventi piovosi intensi (Figura 7.1, Allegato 7.1). Per questo motivo nell'anno 2017 è stata posizionata una griglia all'ingresso del parcheggio (Figura 7.7, Allegato 7.1) che permette di raccogliere le acque superficiali ruscellanti. Queste acque confluiscono in una condotta sotterranea che parte dall'angolo sud-ovest del parcheggio e prosegue in direzione est fino a raggiungere la roggia denominata "Rio", che dista dal cimitero circa 150 m in linea d'aria. Il torrente Rio è descritto nella relazione geologica del comune di Santorso (Zavagnin, 2009). Il piccolo corso d'acqua si origina poco a valle della cava denominata "Sabbionare" e risulta ben regimato all'interno del territorio comunale di Santorso.

Il parcheggio del cimitero risulta attualmente sovraccaricato dai deflussi provenienti dall'area agricola sovrastante (Figura 3.7). Chiudendo infatti un ipotetico bacino in corrispondenza dell'angolo sud-est del parcheggio (punto giallo in Figura 3.7), si vede come in questo punto confluiscono tutte le acque delle campagne circostanti per un'area totale di poco superiore a 5 ettari (area rossa in Figura 3.7), valore quest'ultimo capace di generare un volume idrico da controllare durante le precipitazioni intense non certo indifferente e sicuramente condizionato, anche stagionalmente, dalle pratiche agronomiche adottate nella zona coltivata.

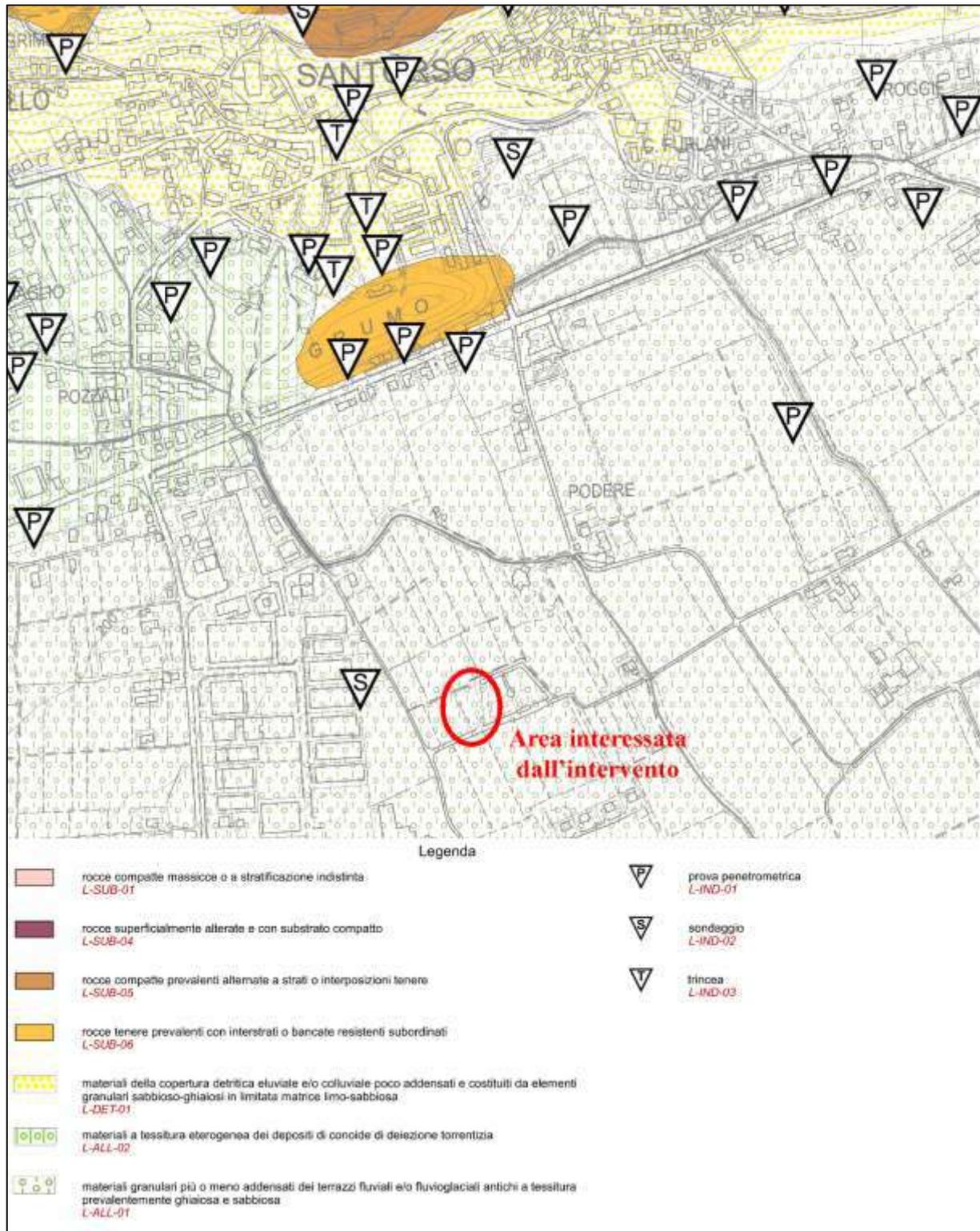


Figura 3.4. Localizzazione della zona interessata da intervento su Carta Litologica del P.A.T. del Comune di Santorso.

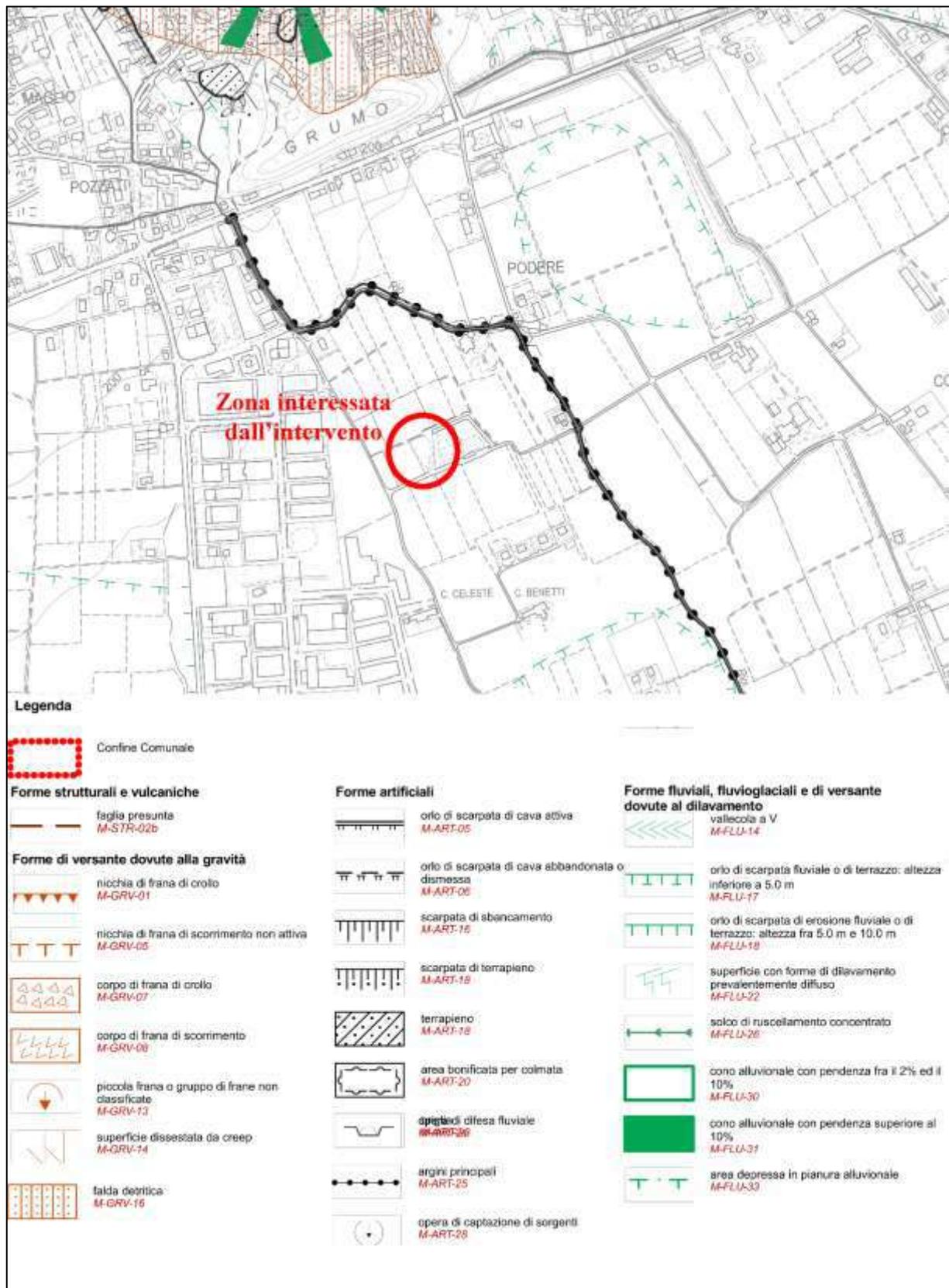


Figura 3.5. Localizzazione della zona interessata da intervento su Carta Geomorfológica del P.A.T. del Comune di Santorso.

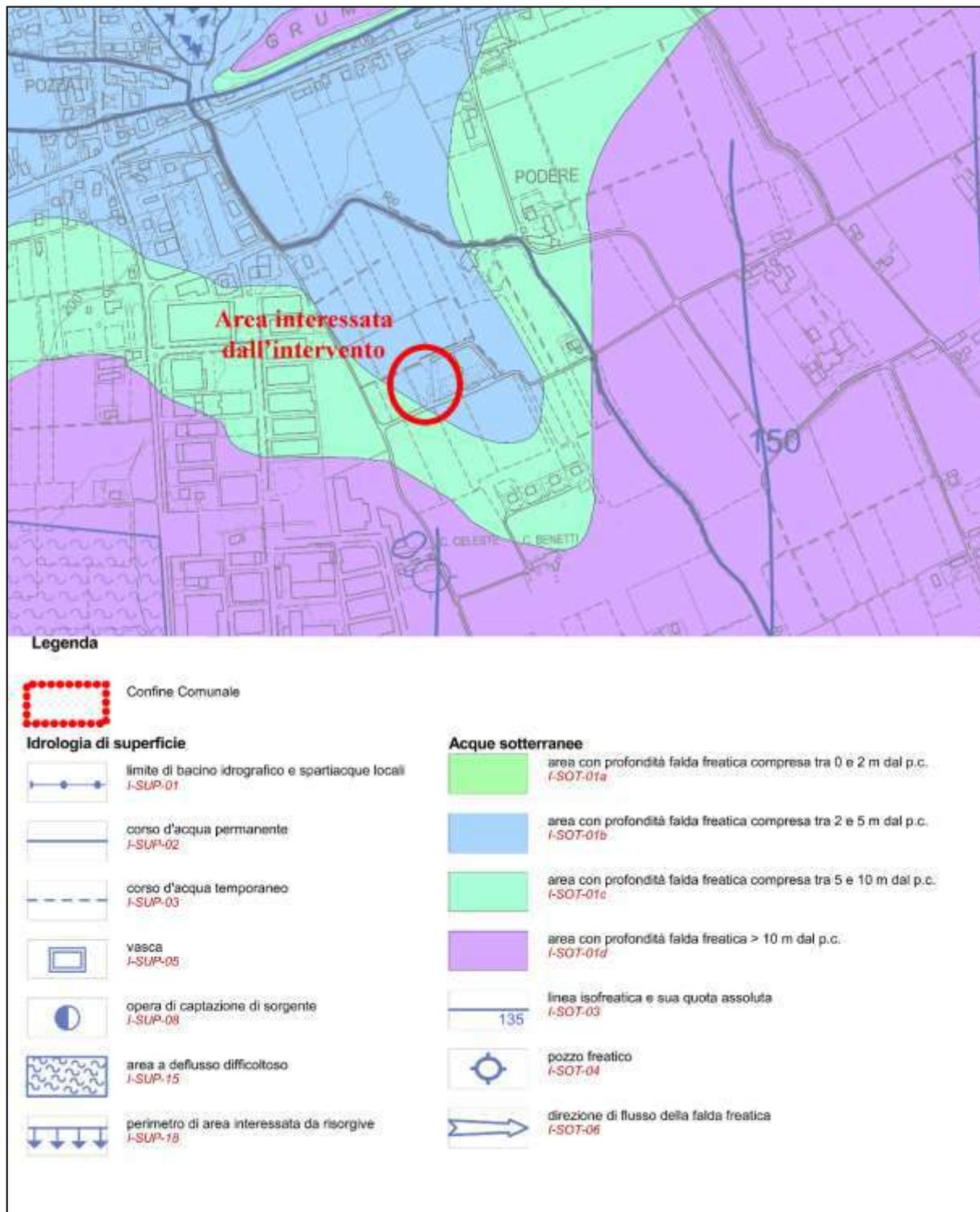


Figura 3.6. Localizzazione della zona interessata da intervento su Carta Idrogeologica del P.A.T. del Comune di Santorso.

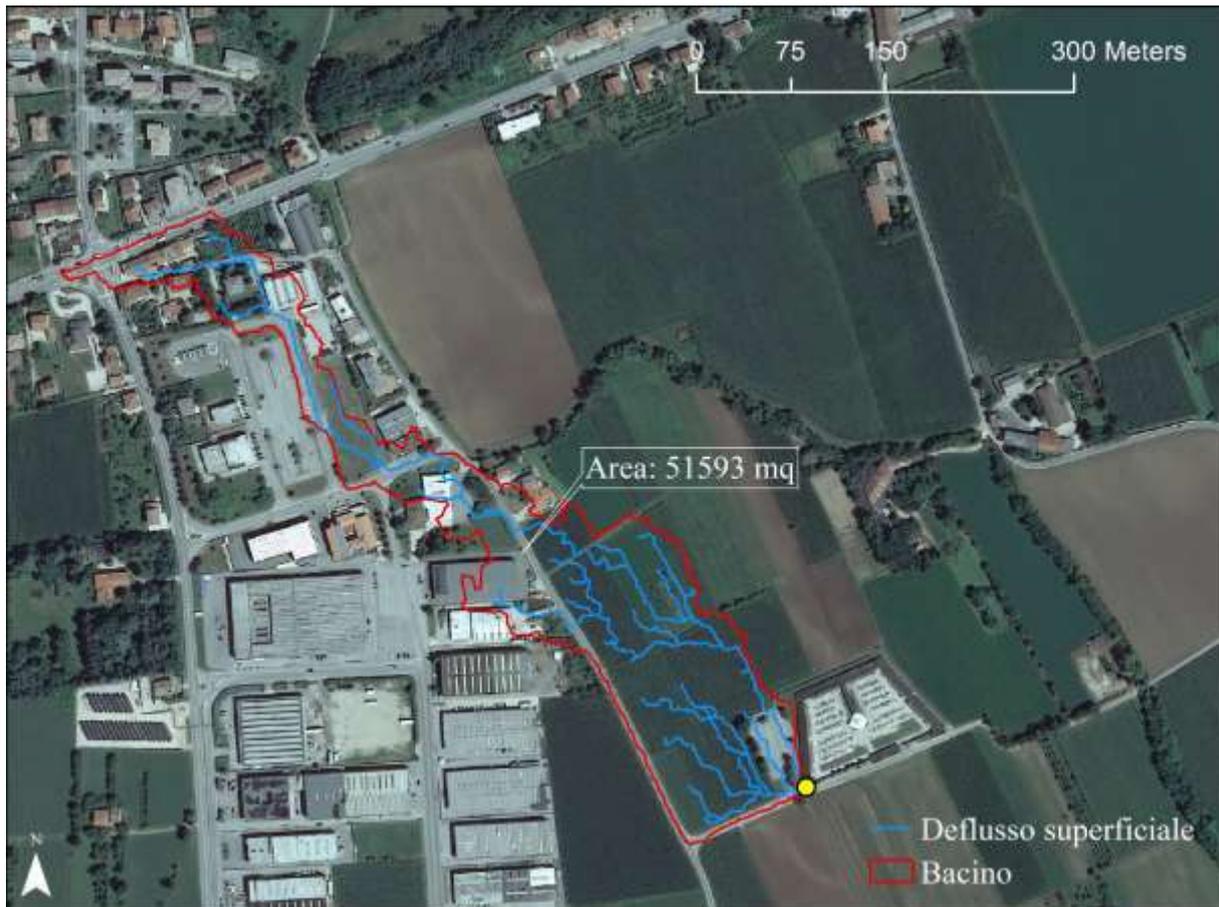


Figura 3.7: Area agricola-urbana il cui deflusso superficiale confluisce al punto in giallo, corrispondente all'angolo sud-est del parcheggio del cimitero: elaborazione idrologica condotta sulla base del DTM mediante l'estrazione automatica del reticolo sintetico del bacino agricola-urbano.

3.3 Analisi delle piogge

L'analisi delle piogge ha l'obiettivo di studiare le quantità d'acqua che saranno gestite dalle opere in progetto. L'entità dei deflussi attesi dipende fortemente dalla quantità di pioggia che cade sulla superficie impermeabile del parcheggio e, per dimensionare correttamente sia le superfici drenanti/filtranti che i pozzetti di scarico, è necessario analizzare le portate massime attese, 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 o dei valori estremi):

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

Dove h è la variabile vera (massimo annuale), y è chiamata variabile ridotta della distribuzione P , 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 α 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 regolarizzatrice 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 3.8). È questa una prima verifica speditiva dell'adattamento della funzione probabilistica scelta e, come si vede ad esempio per una durata di pioggia di 30 minuti (Figura 3.8), tutti i valori plottati seguono discretamente l'equazione determinata analiticamente.

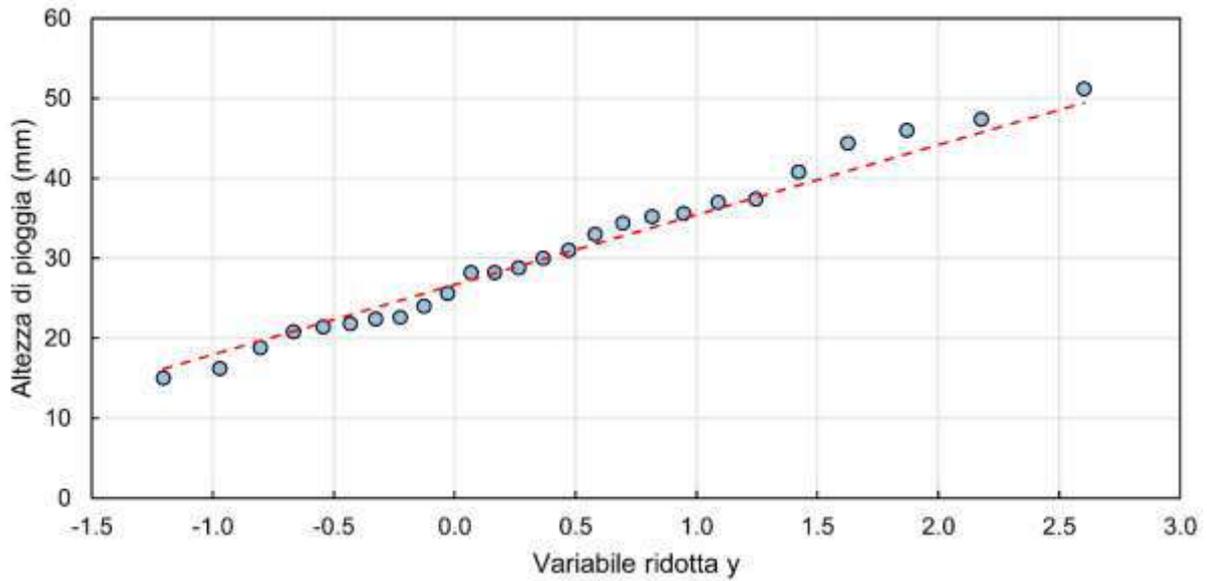


Figura 3.8. Cartogramma di Gumbel (Plotting Position Weibull) per i valori massimi annuali di precipitazione con durata di 30 minuti.

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 $E(\gamma)$ (valore atteso di G per un campione di dimensione N che segue perfettamente la distribuzione di Gumbel) in valore assoluto, meno del doppio dello scarto quadratico medio $\sigma(\gamma)$ delle asimmetrie stesse.

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 :

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

Si leggono poi dalla tabella 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 Segnalatrici 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 3.9, in cui sono rappresentati i punti corrispondenti al TR = 10 anni), si ricava l'equazione della retta: $H = A + n T$ e da questa i corrispondenti valori di a e n .

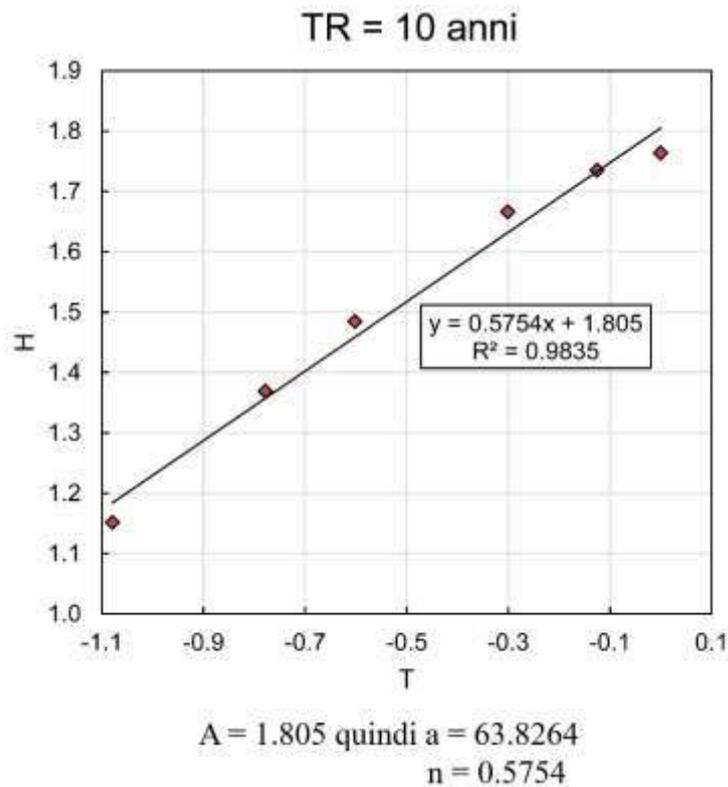


Figura 3.9. Relazione tra T e H per Tempo di Ritorno di 10 anni.

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 3.10 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 3.10.

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

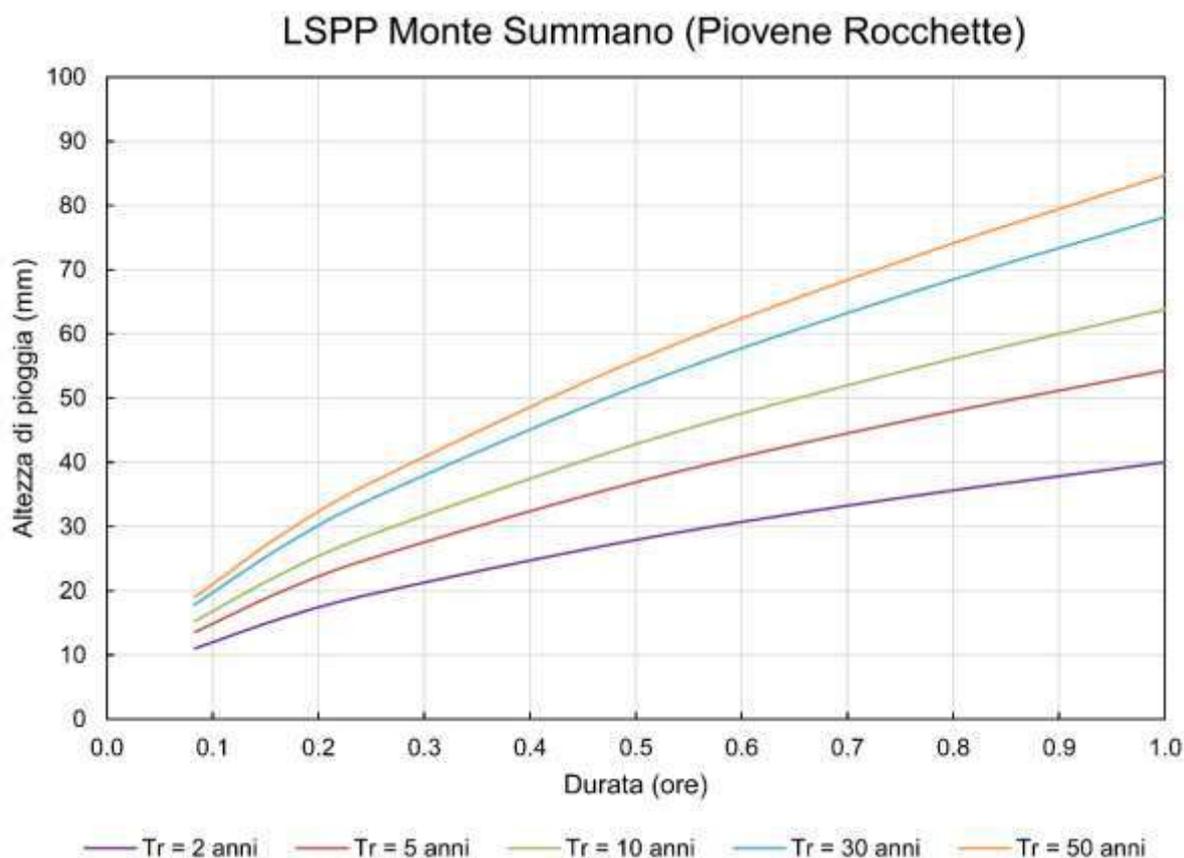


Figura 3.10. Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica calcolate utilizzando la distribuzione di Gumbel.

3.4 Indagini propedeutiche

La caratterizzazione della tessitura dei suoli costituisce una fase conoscitiva preliminare necessaria per la verifica della capacità di infiltrazione del suolo e per la scelta e il dimensionamento dei dispositivi di drenaggio.

Uno scavo di sondaggio è stato eseguito con mezzo meccanico nel parcheggio del cimitero di Via dei Prati dagli operai del Comune di Santorso il giorno 7 febbraio 2019 e ha interessato una porzione di terreno di una delle due aiuole in cui verrà costruito un rain garden; lo scavo ha raggiunto 1,5 metri circa di profondità. La scelta della profondità del sondaggio è stata decisa in relazione agli interventi in progetto, soprattutto per valutare il comportamento idrologico da attribuire ai terreni interessati quando le acque gestite dai dispositivi di drenaggio (SuDS) percoleranno nel sottosuolo.

Durante il sondaggio sono stati prelevati 3 campioni di terreno lungo la verticale dello scavo (Figura 7.12, Allegato 7.1) in corrispondenza dei seguenti punti:

- alla base dello scavo, ad una profondità di 1,5 m (nome campione: **C15**; Figura 7.15, Allegato 7.1);

- a una profondità di 1 m (nome campione: **C10**; Figura 7.14, Allegato 7.1);
- a una profondità di 0,5 m (nome campione: **C05**; Figura 7.13, Allegato 7.1).

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 3.11 e in Tabella 3.5 e come si può notare, i campioni più superficiali (C05 e C10) ricadono nella classe di suolo "argilloso-sabbioso" (AS), mentre il campione più profondo (C15), avendo una maggiore percentuale di sabbia (Tabella 3.5), ricade nella classe di suolo "sabbioso-argilloso" (SA). Tutti gli strati contengono un'elevata percentuale di scheletro (sempre superiore all'80%, Tabella 3.5). Inoltre, all'aumentare della profondità, aumenta anche la dimensione dei sedimenti, infatti a mezzo metro di profondità sono stati trovati sedimenti fino a 2.5 cm di diametro, mentre dal metro in giù il diametro massimo arriva a 20.5 cm.

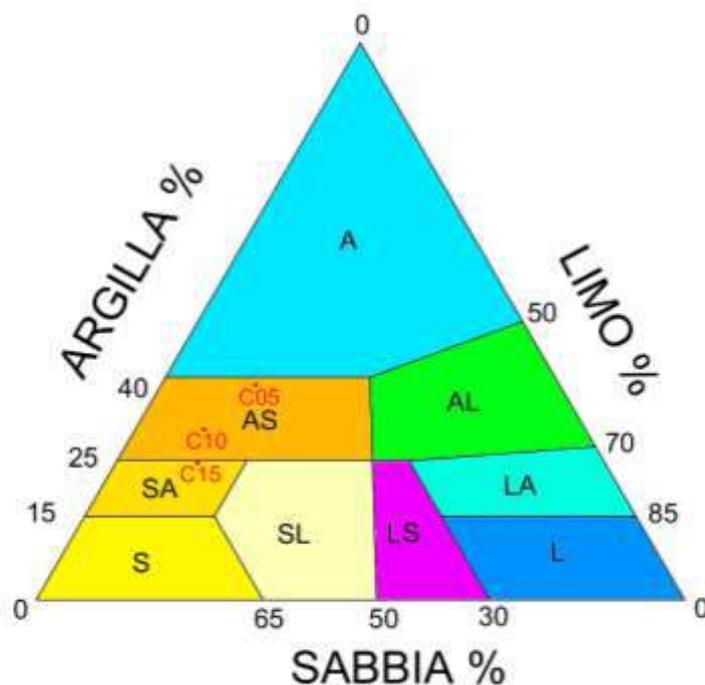


Figura 3.11: Diagramma ternario per la definizione delle classi tessiturali con il metodo della ISSS (Società Internazionale della Scienza del Suolo). In rosso sono evidenziati i punti corrispondenti ai rilievi effettuati nel parcheggio del cimitero nuovo di Santorso.

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

Nome campione	Data prelievo	ARGILLA (%)	LIMO (%)	SABBIA (%)	SCHELETRO (%)
C05	07/02/2019	38.6	14.6	46.8	87.9
C10	07/02/2019	30.6	10.6	58.8	80.8
C15	07/02/2019	24.6	12.6	62.8	83.9

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 saturata (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 saturata, 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) 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 (Fig. 3.11).

4 Dimensionamento idrologico-idraulico

4.1 Dimensionamento e verifica idrologico-idraulica del giardino pluviale

La progettazione dei 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 Descrizione generale dell'area di intervento

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 del cimitero di Via dei Prati, le cui acque meteoriche dovranno essere gestite dai due giardini pluviali in progetto. Il parcheggio ha una leggera conformazione a schiena d'asino che porta i deflussi superficiali ad accumularsi principalmente lungo il cordolo del lato est, che delimita il parcheggio e lo divide da una stretta striscia di prato perimetrale. Questa situazione di localizzato allagamento è stata documentata in corrispondenza di alcuni eventi meteorici ed è mostrata in Figura 7.1 (Allegato 7.1).

Il parcheggio è delimitato sui lati est, nord e ovest da un cordolo perimetrale in calcestruzzo, mentre a sud il cordolo è interrotto dai due varchi che si affacciano su Via dei Prati e che fungono da entrata e uscita per gli autoveicoli. All'interno del parcheggio, inoltre, sono attualmente presenti tre aiuole (Figura 4.1):

- 1) Aiuola "N": essa si trova nella parte nord del parcheggio a una distanza di circa 3.5 m dal cordolo perimetrale lato nord. Questa aiuola ha una superficie molto ridotta (circa 25 m²) e ospita al suo interno due piante che risultano in condizioni di stabilità non buone (Figura 7.2, Allegato 7.1).

Questa aiuola da progetto verrà rimossa per fare spazio alla messa in opera della pavimentazione drenante, descritta nel successivo Paragrafo 4.2.

- 2) Aiuola "S": è posizionata centralmente nel lato sud del parcheggio, quasi lungo l'asse di simmetria del parcheggio; essa funge da divisorio per la viabilità in entrata e in uscita. Questa aiuola ha una superficie più estesa (circa 135 m²) e ospita al suo interno sei piante arboree di medie dimensioni. Inoltre, all'interno dell'aiuola sono posizionati due cartelli stradali, vicino all'ingresso del parcheggio (Figura 7.3, Allegato 7.1) e un lampione con relativo pozzetto, posto vicino allo spigolo nord-ovest dell'aiuola.

In questa aiuola verrà realizzato uno dei due rain garden, denominato "S" descritto in dettaglio successivamente.

3) Aiuola "O": questa, a differenza delle precedenti, non si trova in posizione centrale rispetto all'asse del parcheggio, ma si localizza lateralmente, nel lato sud-ovest, ed è delimitata a ovest dalla siepe perimetrale che divide il parcheggio dal terreno agricolo privato confinante. L'aiuola ha una superficie di circa 105 m² ed ha una forma rettangolare; attualmente è disadorna, presentando un semplice tappeto erboso (Figura 7.4, Allegato 7.1).

In questa aiuola verrà realizzato il secondo rain garden, denominato successivamente "O", che sarà monitorato grazie al posizionamento di due pozzetti di raccolta delle acque, entrambi equipaggiati con dei piezometri.



Figura 4.1: Ortofoto con indicazione delle tre aiuole, dei pozzetti e dei dossi che verranno inseriti da progetto.

4.1.2 *Afflusso massimo atteso*

Con il presente intervento si prevede di gestire tutta la superficie scolante del parcheggio, mettendo in opera due rain garden.

Per la messa in opera di ciascuno dei due giardini pluviali saranno necessari lo scavo e la rimozione dell'attuale terreno fino ad una profondità di 2 metri (sezione S2, Tavola EG5.3). Lo scavo verrà riempito con diversi strati di materiale aventi permeabilità molto più alta rispetto a quella del substrato di suolo naturale rimosso. Partendo dal fondo dello scavo gli strati saranno così composti: 1) strato di ciottoli misti (spessore = 0.70 m); 2) strato di ghiaia (spessore = 0.15 m); 3) strato di sabbia (spessore = 0.15 m); 4) strato di suolo ammendato (spessore = 0.60 m); 5) la parte più superficiale del rain garden non verrà riempita, ma avrà la forma di un piccolo invaso (forma di catino) con profondità media rispetto al piano stradale di 0.35 m. L'intera depressione verrà adornata con la messa a dimora di piante erbacee e arbustive che avranno valenza sia idrologica (filtrazione dell'acqua) sia estetica. Lo strato di suolo ammendato, essendo quello nel quale verranno messe a dimora le piante, dovrà avere caratteristiche adatte ad una loro crescita ottimale. Esso sarà costituito da circa un 50% di sabbia di fiume, un 20% di concime ammendante compostato, mentre per il restante 30% verrà riutilizzato parte del terreno naturale rimosso con lo scavo. La restante parte di terreno derivante dallo scavo verrà riutilizzata in loco, per formare un rilevato (altezza di 1 m) attorno ai lati nord e ovest del cimitero. Questo aiuterà a rallentare parte dei deflussi che, ruscellando verso il muro perimetrale, potrebbero provocare danni alle tombe ubicate in posizione depressa rispetto alla quota del piano campagna.

Per fare in modo che tutta l'acqua che scorre sul parcheggio entri (e venga quindi gestita) nei due rain garden in progetto, è stata prevista la rimozione di alcuni tratti dei cordoli che delimitano le aiuole/rain garden (Tavola EG5.2, Allegato 7.2). Saranno, poi, inseriti due dossi (altezza = 7 cm) che fungeranno da deviatori d'acqua convogliando il flusso verso i due giardini pluviali. Questi dossi verranno posizionati: il primo in corrispondenza dello spigolo nord-est dell'aiuola S, tra il cordolo dell'aiuola stessa e quello perimetrale del parcheggio; il secondo, tra le due aiuole ospitanti i rain garden, in corrispondenza dello spigolo nord-est dell'aiuola O.

Considerando l'area delimitata dai cordoli perimetrali est e ovest, dal bordo sud della pavimentazione drenante (descritta in dettaglio nel Paragrafo 4.2), dai cordoli delle aiuole/rain garden e, infine, dai due dossi deviatori, si ottiene una superficie idrologicamente servita dai rain garden pari a 1145 m² (0.001145 km²).

Il rain garden dell'aiuola S occuperà una superficie di circa 70 m² e sarà costituito da due zone di forma triangolare collegate tra loro da un canaletto intermedio (Tavola EG5.2, Allegato 7.2) di profondità ~ 0.20 m. Questa forma è stata scelta per evitare di rimuovere tutti gli alberi presenti nell'aiuola. Le due aree depresse del giardino pluviale saranno quindi scavate tra la fila di alberi e la cordonata dell'aiuola lato ovest. L'unica pianta che verrà rimossa si trova in posizione centrale, nel punto in cui l'aiuola si

restringe. La sua rimozione è necessaria per lasciare lo spazio sufficiente al passaggio di un canaletto di collegamento idraulico tra le due parti del rain garden.

Il giardino pluviale dell'aiuola O coprirà invece una superficie di 102 m² e occuperà l'intera superficie dell'aiuola. All'ingresso di questo rain garden, come da Tavola EG5.2 (Allegato 7.2), verrà posizionato un pozzetto d'ingresso in cui verranno convogliati sia i flussi provenienti dal parcheggio, sia i flussi provenienti dal tubo di troppo pieno, denominato "A1", dell'altro giardino pluviale (descritto sopra). Per garantire il raccoglimento di tutta l'acqua scolante, verrà posizionata una griglia di larghezza 0.3 m e di lunghezza 6 m che partirà da circa metà del dosso tra i due rain garden e proseguirà fino a collegarsi col pozzetto d'ingresso. Il pozzetto è previsto solo in questo rain garden perché i due giardini pluviali, come spiegato in dettaglio nel successivo Paragrafo 4.1.3, lavoreranno in serie.

Per stimare il valore della portata al colmo che potrà interessare il pozzetto d'ingresso del rain garden-aiuola O, è stata considerata un'area servita pari a 699.5 m² (~0.0007 km²); la superficie risulta considerando solamente la parte di parcheggio scolante direttamente al pozzetto, ottenuta analizzando, tramite GIS, le direzioni di deflusso. Avendo il parcheggio infatti, come già precedentemente detto, una conformazione a schiena d'asino, l'asse centrale in direzione nord-sud, risulta leggermente più alto rispetto ai lati esterni e quindi non tutta l'acqua ricadente sul parcheggio arriverà direttamente al pozzetto d'ingresso del rain garden/aiuola O; la parte di acqua che ricadrà infatti tra l'asse centrale del parcheggio e il cordolo del lato E, entrerà prima nel rain garden-aiuola S e arriverà al pozzetto del rain garden O solamente nel caso eccezionale in cui entri in funzione il troppo pieno A1 (Tavola EG5.2 e Tavola EG5.3, Allegato 7.2). In questo scenario però, il tempo di corrivazione di questa parte del deflusso sarà notevolmente maggiore (in pratica ritardato) rispetto a quello del deflusso direttamente scolante dal parcheggio verso il pozzetto d'ingresso del rain garden/aiuola O.

Il calcolo della portata al colmo del pozzetto in caso di evento molto severo ha quindi 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 l'area scolante AS un coefficiente di deflusso (CD) medio di 0.90 (area servita praticamente impermeabile) e un tempo di corrivazione (TC) di circa 1.5 minuti (0.025 ore). Quest'ultimo valore risulta dividendo la lunghezza massima di scorrimento prevista (~45 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 0,025 ore ($h = 80 \times 0,025^{0,6} = 8.75$ mm).

Sostituendo i valori nell'equazione sopra, risulta quindi:

$$Q_{50} = \frac{(0,9 \cdot 8,75 \cdot 0,0007)}{(3,6 \cdot 0,025)} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (60 L/s)}$$

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

4.1.3 Efficienza del rain garden in esercizio

I due rain garden sono stati progettati in modo da funzionare in serie: il troppo pieno A1 del rain garden S infatti, come già accennato, sarà collegato tramite un tubo in PVC (diametro 0.16 m) al pozzetto d'ingresso del rain garden O (Tavola EG5.2 e Tavola EG5.3, Allegato 7.2). Questo troppo pieno si troverà ad una **quota assoluta di 188.172 m s.m.**, quindi permetterà un'altezza massima di allagamento del rain garden S di 0.29 m, considerando che la profondità media rispetto alle sponde sarà di 0.35 m. Se la quota del pelo libero dovesse superare gli 0.29 m, il troppo pieno A1 entrerebbe quindi in funzione convogliando l'acqua in eccesso verso il rain garden O. In questo secondo giardino pluviale, il tubo di troppo pieno, denominato "B", si troverà ad una **quota assoluta di 188.082 m**, ossia 9 cm più in basso rispetto ad A1. In questo modo si evita un possibile flusso inverso dell'acqua dal rain garden O al rain garden S. Infatti, essendo il troppo pieno B ad una quota inferiore, permetterà una quota d'invaso massima del rain garden B di 22 cm. Nei casi in cui esso entrerà in funzione, drenerà l'acqua in eccesso verso il pozzetto d'uscita (Sezione S4, Tavola EG5.3, Allegato 7.2). Considerando quindi che, nello scenario critico di allagamento di entrambi i rain garden, a questo pozzetto d'uscita arriveranno sia le acque di scolo di O che di S, esso è stato previsto di dimensione esterna 2.10 x 1.24 m, ossia sarà composto da due pozzetti di capacità pari a 1 m³ sovrapposti. Questo pozzetto d'uscita sarà infine collegato tramite un tubo in PVC al tombotto già esistente posto nell'angolo sud-ovest del parcheggio, esternamente rispetto all'attuale siepe (Figura 7.6, Allegato 7.1).

L'ultima precauzione prevista, per fare in modo che i due giardini pluviali lavorino in serie in maniera ottimale, è l'inserimento di un terzo tubo di troppo pieno, denominato A2 (Sezione S3, Tavola EG5.2 e Tavola EG5.3, Allegato 7.2), che verrà posizionato nell'angolo sud del rain garden S. Esso si troverà ad una **quota assoluta di 188.212 m s.m.**, quindi 4 cm più alto rispetto ad A1, e quindi entrerà in funzione solamente nello scenario estremo in cui A1 non riuscisse a scaricare abbastanza velocemente il flusso e quindi l'altezza d'invaso del rain garden dovesse aumentare fino ad un'altezza di 0.33 cm rispetto al fondo. Questo terzo troppo pieno sarà collegato tramite un tubo in PVC alla canaletta con griglia già presente all'ingresso del parcheggio (Figura 7.7, Allegato 7.1).

Nei calcoli successivi, per semplicità, verrà considerato un unico rain garden con superficie pari alla somma dei due rain garden e la depressione media d'invaso è stata ottenuta come media tra i due rain garden considerando le diverse altezze dei tubi di troppo pieno.

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 172.4 m²; $V_{sup} = 0,25 \times 172.4 = 43.10$ 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; 0,70 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 1 m; assumendo una porosità media (n) dello strato del 35%, il massimo volume d'acqua invasabile risulta: $V_{stor} = SD \times AS \times n = 1 \times 172.4 \times 0,35 = 60.3$ m³. 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, in questo caso risulta pari a 103.4 m³.
- $V_{inf}(t)$: 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 parcheggio che pone la falda tra 2 e 5 metri al disotto 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 (da Figura 7.12 a Figura 7.15); sulla base di questi sondaggi si è attribuito (valori di letteratura corroborati anche dalla formula di Hazen) un valore di $K_{sat} = 10^{-4}$ m/s; il volume infiltrato risulta quindi: $V_{inf}(t) = K_{sat} \times AS \times t$ (con $AS = 172.4$ m² (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, ossia 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 4.2 e Figura 4.3 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, quando la prima curva interseca e comincia a posizionarsi al di sopra della seconda si determina proprio il tempo critico ricercato. Sintetizzando i risultati dell'analisi idrologica, si desume che:

- Per una precipitazione con $Tr = 2$ anni, i rain garden non vanno praticamente mai in crisi e la pioggia viene sempre gestita senza l'intervento del dispositivo di troppo pieno, addirittura il volume entrante rimane sempre sotto al livello dell'invaso di base (Figura 4.2a);
- Per una precipitazione con $Tr = 5$ anni, la situazione è molto simile alla precedente, anche se in questo caso il volume entrante eguaglia il volume dell'invaso di base dopo circa 3 ore e 20 minuti (Figura 4.2b);
- Per una precipitazione con $Tr = 10$ anni, la situazione è simile al caso precedente anche se il volume entrante supera il volume dell'invaso di base dopo circa 2 ore e 30 minuti
- Per una precipitazione con $Tr = 30$ anni, invece, dopo 1 ora e 40 minuti il volume entrante supera il volume dell'invaso di base, mantenendosi comunque sempre ampiamente al di sotto del volume gestito.

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 assolutamente 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. Considerando che l'area agricola circostante porta verso il parcheggio dei flussi idrici notevoli, il fatto che i rain

garden abbiano la possibilità di gestire ulteriori volumi idrici oltre a quelli provenienti dall'area servita del parcheggio è più che positivo.

Dopo 20-25 anni, 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 (*Vstor*). 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 e la quantità e modalità dei volumi detenuti dal sistema durante eventi di pioggia di differente intensità e distribuzione temporale.

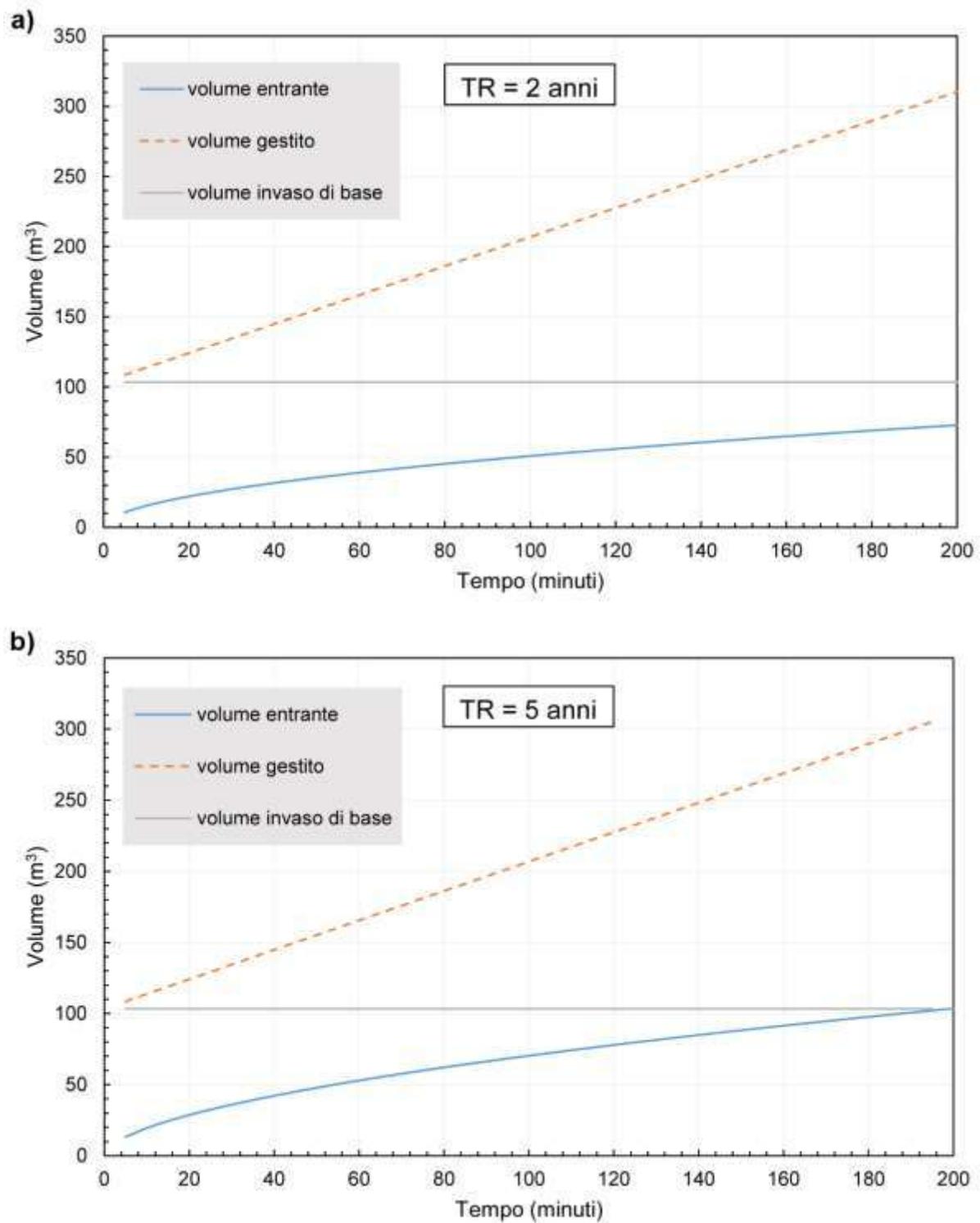


Figura 4.2. Volumi di deflusso entrante nel 'rain garden' e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV 'Monte Summano' (Comune di Pivovene Rocchette) per diversi tempi di ritorno (Tr): a) Tr=2 anni b) Tr=5 anni.

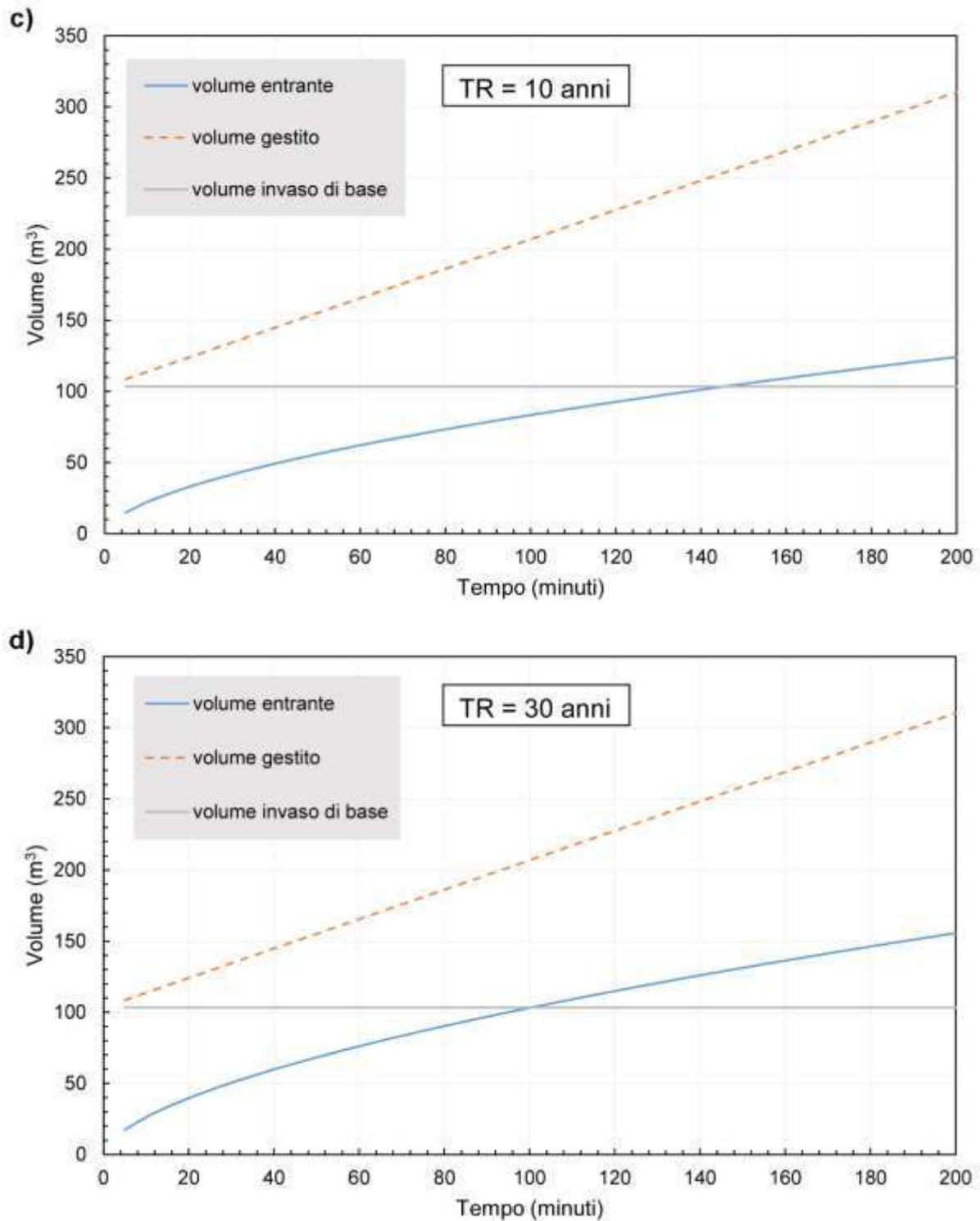


Figura 4.3. Volumi di deflusso entrante nel 'rain garden' e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV 'Monte Summano' (Comune di Piovene Rocchette) per diversi tempi di ritorno (Tr): c) $Tr = 10$ anni; d) $Tr = 30$ anni.

4.2 Dimensionamento ottimale e verifica idrologico-idraulica del sistema “detention basin-infiltration trench-pavimentazione Recycle”

4.2.1 Descrizione generale del sistema

Per gestire le acque che arrivano al parcheggio del cimitero dalla circostante zona agricola è stata proposta l'esecuzione di tre opere, che messe assieme, garantiscono una positiva e piena gestione dei deflussi:

1. **Detention basin:** posto nell'angolo nord-orientale del parcheggio, al posto dell'attuale siepe perimetrale. Esso avrà una forma circolare (diametro esterno=11 m), la cui zona centrale (diametro=5 m) sarà ricoperta da uno strato di ghiaia (spessore=10 cm) e un sottostante strato impermeabilizzante in argilla (spessore=20 cm), che si estenderà anche alle sponde fino a circa metà della loro altezza. La zona centrale, posta a una profondità di 1.40 m rispetto al piano campagna, sarà circondata da due camminamenti accessibili dal lato nord (quota piano campagna) che permetteranno la discesa alla zona centrale. Questi avranno una larghezza trasversale di circa 1.70 m e le loro sponde saranno sostenute tramite un muretto di pietrame compatto porfirico. Il detention basin infine, sarà direttamente collegato alla porzione nord dell'adiacente infiltration trench (Campiture grigie, Tavola EG5.2, Allegato 7.2). Un disegno tridimensionale del detention basin è riportato in Figura 4.4.

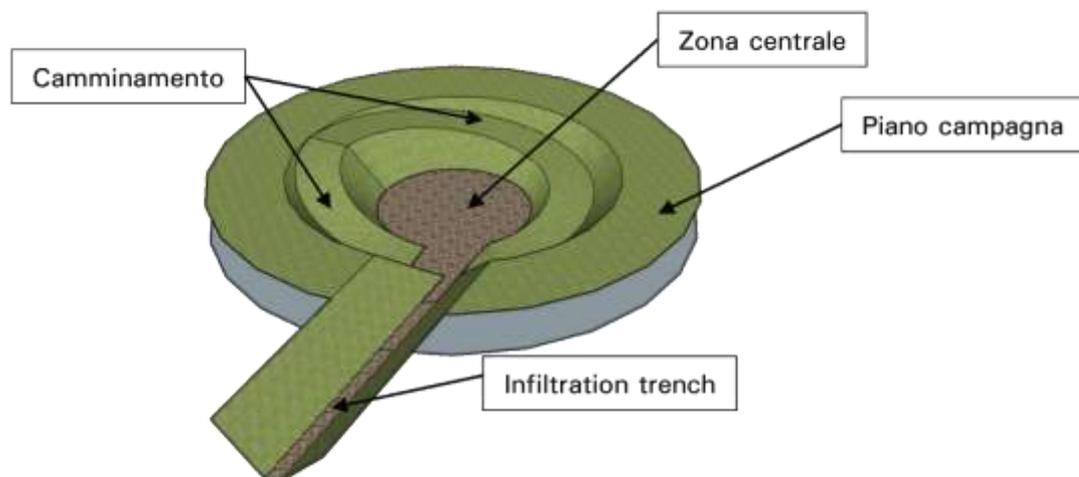


Figura 4.4: Rappresentazione tridimensionale del detention basin e della prima parte dell'infiltration trench lato nord.

2. **Infiltration trench:** formato da due tratti separati (nord e ovest), scavato lungo il perimetro nord e ovest del parcheggio, al posto dell'attuale siepe. Nel lato nord, l'infiltration trench (lunghezza=30 m) si sviluppa tra il detention basin e la curva nell'angolo nord-ovest, dove un setto lo divide

dall'infiltration trench ovest (Campiture grigie, Tavola EG5.2, Allegato 7.2). Esso avrà sezione trapezoidale con profondità del fondo centrale di 1.45 m e scarpa delle sponde 1:1. La larghezza alla base sarà di 0.40 m ed esso sarà ricoperto da uno strato di 10 cm di ghiaia e da un sottostante strato di 20 cm di argilla impermeabilizzante. Quest'ultimo strato proseguirà fino a metà altezza lungo le sponde (come nel caso del detention basin) per evitare l'infiltrazione dell'acqua negli strati più profondi del terreno (Sezione S1, Tavola EG5.3, Allegato 7.2).

Il tratto ovest dell'infiltration trench avrà una lunghezza di circa 50 m e sarà scavato ancora con forma trapezoidale e sponde inclinate a 45°. Differisce dal tratto nord sia per le dimensioni (profondità alla base = 1.50 m, larghezza del letto alla base = 0.70 m), sia per lo strato di copertura (solamente 10 cm di ghiaia). Tra la sponda dell'infiltration trench e la nuova cordonata del parcheggio è previsto inoltre l'inserimento di un nuovo filare di alberi, piantati ad interasse di 6 m, che sostituiranno quelli rimossi (assieme alla siepe perimetrale) per permettere lo spostamento di 0.5 m dell'attuale cordonata, verso il centro del parcheggio. L'infiltration trench, in prossimità dell'angolo sud-ovest del parcheggio, sarà delimitato da una sponda inerbita alta 1.20 m da cui prenderà origine un canaletto inerbito (profondità = 30 cm, larghezza = 80 cm). Quest'ultimo collegherà la parte superficiale dell'infiltration trench al tombotto attualmente esistente che convoglia le acque verso il torrente Rio (Figura 7.6, Allegato 7.1). Alla chiusura dell'infiltration trench, ad un'altezza di 0.56 m rispetto al fondo, verrà posizionato un tubo in PVC (diametro = 10 cm, lunghezza = 15.5 m), posato (con una pendenza di 0.01 m/m) in modo da scaricare l'acqua dell'infiltration trench verso il tombotto (Profilo P1, Tavola EG5.3, Allegato 7.2): in pratica questa tubazione di scarico entrerebbe in funzione per rendere dinamico e più efficiente l'invaso idrico reso disponibile dalla trincea infiltrante.

3. **Pavimentazione drenante:** posizionata nella porzione nord del parcheggio. Lo stato di progetto (proposta ottimale) prevede lo spostamento di 1.5-2 m verso sud della cordonata del lato nord. Inoltre, verrà rimossa anche la piccola aiuola attualmente presente, assieme alle due piante ospitate al suo interno. La nuova cordonata verrà riposizionata come divisorio tra la superficie del parcheggio e l'infiltration trench lato nord e verranno lasciate alcune aperture lungo il cordolo in modo da facilitare l'eventuale scorrimento dell'acqua dall'infiltration trench alla pavimentazione drenante (Tavola EG5.2, Allegato 7.2).

La pavimentazione Recycle coprirà una superficie di 217 m² e per il suo posizionamento è prevista la rimozione dell'attuale copertura in asfalto e lo scavo del terreno sottostante fino a 1.50 m di profondità. Questo permetterà la posa dei diversi strati drenanti che fungeranno da fondazione per i masselli Recycle (Sezione S1, Tavola EG5.3, Allegato 7.2). In superficie è previsto il posizionamento dei masselli Recycle di dimensione 500x200x110 mm, che da manuale, sono raccomandati per la creazione di superfici ciclabili, pedonali e carrabili. La ditta produttrice descrive il massello Recycle come *“un parallelepipedo poroso, costituito da una miscela di calcestruzzo con una percentuale di vuoti che varia tra il 15% e il 20%. Il materiale di cui è composto garantisce una distribuzione isotropa dei vuoti, consentendo l'assorbimento dell'acqua al momento del contatto con la superficie, così da evitare anche il minimo ruscellamento superficiale (che è invece presente*

in qualsiasi altro tipo di pavimentazione drenante non porosa) e demandare la gestione idraulica agli strati drenanti sottostanti del terreno".

Al di sotto della pavimentazione è previsto l'inserimento di un primo strato di ghiaia molto fine (spessore = 8 cm), alla cui base verrà posizionato un primo geotessuto che fungerà da divisorio con il sottostante strato di stabilizzato (spessore = 15 cm). Sotto lo stabilizzato è prevista la posa di un secondo geotessuto che separerà lo stabilizzato dal sottostante strato (spessore 1 m) composto da ciottoli stonati poco gradati del diametro di 6-8 cm. La posa del geotessuto eviterà che il materiale più piccolo dei primi due strati, con il dilavamento, percoli verso gli strati inferiori occludendo i vuoti e diminuendo quindi la capacità d'invaso. Infine, è previsto l'inserimento di un ultimo strato di sabbia (spessore = 15 cm) che fungerà da filtro disinquinante tra lo strato di ciottoli e il sottostante substrato naturale non disturbato.

Lungo il perimetro lato-sud della pavimentazione Recycle è previsto l'inserimento di un canaletto di scolo (dimensioni esterne singolo pezzo = 498x200x200 mm, diametro del foro interno = 100 mm, larghezza fessura superiore esterna = 18 mm), che servirà a raccogliere l'acqua che tenderà a scorrere sopra la superficie drenante e a portarla verso l'infiltration trench in caso di eventi di pioggia molto intensi. Questo canaletto dovrà essere sostenuto da un piccolo cuneo in calcestruzzo e da delle fondamenta in calcestruzzo (profondità = 25 cm) e stabilizzato (profondità = 15 cm).

Infine, per portare verso l'infiltration trench (lato ovest) l'acqua invasata negli strati sottostanti la pavimentazione Recycle, è prevista la posa di un tubo drenante (diametro = 20 cm) rivestito con calza, che sarà posizionato circa 20 cm più a nord rispetto al canaletto di scolo (profondità rispetto al piano stradale = 0.5 m) (Tavola EG5.2 e Sezione S1, Tavola EG5.3, Allegato 7.2).

4.2.2 *Afflusso massimo atteso*

Per calcolare l'afflusso massimo al sistema di drenaggio proposto, si è considerata la superficie drenante a monte del parcheggio (Figura 3.7), già descritta nel precedente Paragrafo 3.2. Si ricorda, infatti, che le acque ricadenti sulla superficie del parcheggio saranno gestite direttamente dai due rain garden. L'area drenata servita e gestita dal complesso detention basin-infiltration trench-pavimentazione drenante risulta dunque pari a 48850 m², ossia la superficie mostrata in Figura 3.7, al netto della superficie del parcheggio.

Il dimensionamento idrologico-idraulico è stato eseguito utilizzando il metodo delle sole piogge, con cui la capacità d'invaso richiesta è calcolata come differenza tra il volume entrante nel sistema (W_e) e il volume uscente (W_u), considerando il tempo critico di precipitazione per un determinato tempo di ritorno (tempo critico = tempo di pioggia che rende massimo il volume che è necessario invasare). Il metodo è stato però modificato in modo da tenere conto anche del processo d'infiltrazione che interesserà l'area coperta dalla pavimentazione drenante e quella sottostante la porzione di infiltration trench posta lungo il lato ovest. Nell'infiltration trench lato nord e nel detention basin infatti, è stato previsto uno strato impermeabilizzante di argilla inserito per evitare l'infiltrazione dell'acqua negli strati

sottostanti di suolo poiché c'è il rischio che quest'acqua provochi danni alle tombe ubicate nella zona ovest del cimitero (tombe ubicate fino a 2 m di profondità rispetto al piano stradale).

Con il metodo delle sole piogge, il volume d'invaso viene stimato per eccesso e si parte dal presupposto che la massima portata scaricata nel recettore rimanga costante dall'inizio alla fine dell'evento di pioggia. La precipitazione utilizzata per il calcolo viene dedotta con i parametri delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica descritte precedentemente (Tabella 3.4).

Quindi i parametri di input per svolgere il calcolo sono i seguenti:

- A_{dren} : ossia l'area drenata o bacino idrologicamente contribuente. Nel caso in esame questa è pari a 4.88 ha (0.0488 km²).
- U : coefficiente udometrico, ossia la portata specifica massima che il bacino può restituire al corpo idrico recettore (canale di scolo), espresso in l/(s·ha). Esso è calcolato tenendo conto della dimensione del tubo che convoglierà l'acqua dall'infiltration trench al tombotto (angolo sud-ovest del parcheggio), che scarica le acque verso il torrente Rio. Il tubo in questione avrà un diametro di 10 cm, quindi utilizzando la formula del deflusso a battente non rigurgitato, la portata in uscita è stata calcolata come:

$$Q = 0.6 \cdot A \cdot \sqrt{2gh}$$

Dove A è l'area del tubo (0.008 m²), g è l'accelerazione di gravità (9.81 m/s²) e h è l'altezza del carico sulla luce (0.56 m). La portata uscente risulta quindi pari a 16 l/s ed è il valore che verrà utilizzato come coefficiente udometrico (U) per il calcolo della portata uscente dal sistema.

- U_{inf} : portata specifica uscente dal sistema per infiltrazione. Questo parametro è stato aggiunto, modificando il metodo delle sole piogge standard, poiché i SuDS sono progettati appositamente per far smaltire una certa quantità d'acqua per infiltrazione, non tenerne conto sarebbe quindi una sottostima della capacità del sistema di gestire i deflussi. Per calcolare la portata uscente per infiltrazione è stata calcolata prima di tutto la velocità d'infiltrazione, utilizzando un esponente $k = 4$ (come nel precedente calcolo effettuato per i rain garden); v_{inf} quindi è pari a $10^{-4} = 0.0001$ m/s. Successivamente è stata calcolata la superficie infiltrante, che risulta dalla somma dell'area occupata dalla porzione ovest dell'infiltration trench e quella occupata dalla pavimentazione drenante, in totale 422 m². La portata specifica d'infiltrazione si ottiene quindi moltiplicando v_{inf} per la superficie infiltrante e dividendola successivamente per l'area del bacino idrologicamente contribuente, quindi $U_{inf} = 0.0001$ (m/s) x 422.2 (m²) / 4.88 (ha) x 1000 (l/m³) = 9 l/(s·ha).
- Q_u : portata totale uscente dal sistema, calcolata moltiplicando la portata specifica totale (data dalla somma tra U e U_{inf}), che risulta in 25 l/(s·ha), per l'area drenata, quindi $Q_u = 25$ (l/(s·ha)) x 4.88 (ha) = 123.7 l/s.

A questo punto, avendo calcolato tutti i parametri di input, si può calcolare il volume uscente (W_u):

$$W_u = Q_u \cdot t_c$$

Dove t_c è il tempo critico che genera il massimo volume d'invaso e viene calcolato come segue:

$$t_c = \left(\frac{Q_{u,max}}{A \cdot C \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

Dove C è il coefficiente di deflusso che esprime il rapporto tra il volume uscente dal sistema e gli afflussi entranti con le precipitazioni e a e n sono i parametri della LSPP scelta. Nel caso in esame si è utilizzato un coefficiente di deflusso pari a 0.25, adatto per superfici come terreni incolti e sterrati non compattati.

Per calcolare infine il volume massimo atteso entrante nel sistema W_e si è utilizzata la seguente formula:

$$W_e = P_e \cdot A = A \cdot C \cdot h = A \cdot C \cdot a \cdot t^n$$

Dove, t è il tempo critico di precipitazione calcolato precedentemente per il volume uscente W_u . I calcoli di volume entrante e uscente sono stati effettuati utilizzando i valori di tre diverse LSPP: 5 anni, 10 anni e 30 anni. Per il dimensionamento delle opere sono state usate le altezze di pioggia ottenute per un tempo di ritorno TR = 10 anni (trattasi di area agricola dove il nuovo cimitero rappresenta una sorta di 'isola' urbanizzata); mentre i valori ottenuti da precipitazioni con tempo di ritorno TR = 30 anni sono stati utilizzati solamente come indicazione di rischio residuo.

4.2.3 Efficienza del sistema

Per verificare l'efficienza del sistema è stata calcolata la capacità d'invaso totale comprendente ciascuno dei tre componenti: il detention basin avrà una capacità di 100 m³, l'infiltration trench avrà un volume totale di 225 m³ e l'invaso previsto per la superficie del parcheggio risistemata con pavimentazione drenante Recycle e relativo 'sottofondo' offrirà un invaso di 100 m³, per un totale quindi di 425 m³ (Tabella 4.1).

Tabella 4.1: Capacità d'invaso delle tre componenti del progetto

	DETENTION BASIN	INFILTRATION TRENCH	PAVIMENTAZIONE RECYCLE
VOLUME INVASO (m³)	100	225	100
		TOTALE:	425 m³

Per calcolare, ora, l'efficienza del sistema bisogna verificare che il volume d'invaso disponibile sia sufficiente a compensare la differenza tra volume idrico entrante e volume uscente. Nello specifico il volume d'invaso richiesto è valutato come:

$$W = W_e - W_u$$

dove W_e è il volume entrante e W_u è il volume uscente; i valori che risultano per i diversi TR di pioggia corrispondente a una durata critica dell'evento sono riportati in Tabella 4.2.

Considerando una precipitazione con TR di 10 anni, i cui parametri della LSPP sono riportati in Tabella 4.2, il calcolo della capacità d'invaso richiesta, descritta del precedente paragrafo, risulta pari a 354 m³, dimostrando quindi il corretto funzionamento del sistema nella gestione di una precipitazione di questa entità. Considerando invece un tempo di ritorno più elevato, pari a 30 anni, la capacità d'invaso richiesta per gestire il volume entrante è pari a 587 m³, quindi un po' superiore rispetto alla capacità del sistema. È importante tenere presente questo scenario, poiché l'obiettivo dell'intervento in progetto è quello di gestire eventi di pioggia relativamente frequenti (TR=10-15 anni), mentre eventi con probabilità di accadimento più bassa sono destinati a generare comunque situazioni di rischio residuo.

Per ottimizzare il funzionamento del sistema, è stato studiato un preciso collegamento delle tre componenti di invaso, in modo da massimizzare l'utilizzo di tutto il volume d'invaso a disposizione. Come già descritto, l'infiltration trench sarà diviso in due tronconi: lato nord, che sarà direttamente collegato al detention basin (Tavola EG5.2, Allegato 7.2); lato ovest, collegato al tombotto di scarico esistente attraverso un tubo da 0.10 m di diametro (Profilo P1, Tavola EG5.3, Allegato 7.2). Questi due tronconi saranno separati tramite un setto in terra che verrà inserito circa a metà curva nell'angolo nord-ovest. Inoltre, verranno predisposte delle aperture lungo il cordolo del lato nord del cimitero per permettere all'acqua in eccesso di defluire verso la pavimentazione drenante, nel caso in cui il lato nord dell'infiltration trench si riempisse. La superficie ricoperta con Recycle funzionerebbe in questo caso come una sorta di troppo pieno del lato nord dell'infiltration trench, permettendo l'aumento della capacità d'invaso, nel caso in cui non bastasse la prima parte del sistema composta da detention basin e infiltration trench lato nord. All'interno degli strati che comporranno la fondazione della pavimentazione drenante, verrà posizionato un tubo drenante, rivestito con calza, di 32.5 m di lunghezza (pari alla lunghezza trasversale - direttrice est-ovest - dell'area del parcheggio ricoperta da Recycle) e diametro di 0.2 m. Questo tubo servirà per collegare l'invaso della pavimentazione drenante con il lato ovest dell'infiltration trench, in modo che l'acqua invasata all'interno degli strati sottostanti al Recycle venga convogliata nuovamente verso l'infiltration trench (lato ovest) e da qui scaricata nel tombotto che porta le acque al torrente Rio.

Tabella 4.2: Valori di LSPP utilizzati e conseguenti volumi calcolati per i due tempi di ritorno considerati

	TR = 5 anni	TR = 10 anni	TR = 30 anni
A	54.33	63.83	78.18
N	0.5582	0.5754	0.5943
<i>t_c</i> (min)	44	67	121
<i>W_e</i> (m³)	554	833	1447
<i>W_u</i> (m³)	309	479	860
<i>W</i> (m³)	245	354	587

Se dal sistema venisse tolta la pavimentazione drenante, esso risulterebbe sottodimensionato già nel caso di una precipitazione con tempo di ritorno pari a 10 anni (Tabella 4.3), infatti la capacità d'invaso

richiesta salirebbe a 433 m³, mentre la capacità d’invaso disponibile scenderebbe a 325 m³ (al netto dei 100 m³ derivanti da Recycle). All’opposto, un incremento di circa 400 m² della superficie trasformata da parcheggio asfaltato a pavimentazione Recycle con sottofondo drenante, sarebbe in grado di limitare il problema degli allagamenti solo al verificarsi di eventi con tempo di ritorno abbondantemente superiore ai 50 anni.

Tabella 4.3: Confronto tra la capacità d’invaso disponibile e quella richiesta per piogge con tre diversi tempi di ritorno, considerando due stati di progetto: 1) sistema completo di detention basin, infiltration trench e pavimentazione Recycle; 2) sistema formato solo da detention basin e infiltration trench. Sono evidenziate in verde le caselle corrispondenti a una situazione totalmente gestibile dal sistema di trattenuta, mentre sono colorate di rosso le caselle corrispondenti a situazioni in cui il sistema non è in grado di gestire completamente l’evento di pioggia.

	CAPACITÀ D’INVASO DISPONIBILE	CAPACITÀ D’INVASO RICHIESTA		
		TR = 5 anni	TR = 10 anni	TR = 30 anni
DETENTION BASIN- INFILTRATION TRENCH- PAVIMENTAZIONE RECYCLE	425 m ³	245 m ³	354 m ³	587 m ³
DETENTION BASIN- INFILTRATION TRENCH	325 m ³	316 m ³	465 m ³	790 m ³

4.3 Progetto in versione “stralciata” realizzato nell’ambito del progetto LIFE BEWARE

Poiché il costo degli interventi precedentemente descritti (“dimensionamento ottimale”) è molto superiore rispetto al budget del progetto LIFE (che non aveva previsto di dovere gestire i deflussi dal ‘bacino agricolo’), si è deciso di realizzare inizialmente solo una parte – stralcio - delle opere complessive illustrate nel precedente paragrafo. Queste verranno realizzate in maniera del tutto coerente con il progetto complessivo, così da permettere un agevole completamento degli interventi nel caso in cui il Comune sia in grado di finanziare e realizzare nei prossimi anni l’intero progetto. La redazione del progetto tecnico completo si ritiene comunque importante nell’ottica del work package educativo/comunicativo previsto dal progetto LIFE BEWARE. Essa serve infatti a dimostrare che l’adozione dei SuDS in un sito ‘idraulicamente critico’ possa essere concepita, in carenza di risorse economiche, come un’azione progressiva di mitigazione idraulica e la cui realizzazione finale risulterà più agevole, proprio se progettata con approccio integrale ‘ab initio’.

In Tavola EG5.2 (Allegato 7.2) è evidenziata in colore rosso la versione stralciata dell’intervento, mentre in campitura in colore grigio chiaro si possono notare le opere progettate che non verranno realizzate e finanziate dal progetto LIFE. Come si può notare, il cordolo del lato ovest del parcheggio non verrà spostato e sia la siepe perimetrale sia gli alberi attualmente presenti non verranno rimossi

(come indicato invece nel progetto completo). È previsto solamente lo spostamento verso sud di una parte del cordolo lato nord (per una lunghezza di 10 m), per fare spazio a un piccolo tratto dell'infiltration trench (lunghezza di circa 10 m). Un esempio di realizzazione di questa soluzione sarà molto utile come tipologia dimostrativa di SuDS per l'azione comunicativa/divulgativa del progetto LIFE BEWARE. Anche il detention basin posizionato in testa all'infiltration trench (Fig.4.3) non verrà realizzato in questa fase stralciata del progetto.

Nello specifico, gli interventi che saranno eseguiti con il progetto LIFE BEWARE sono i seguenti:

- 1) la realizzazione dei due rain garden per intero, esattamente come descritto nel Paragrafo 4.1;
- 2) la realizzazione di una piccola porzione di infiltration trench. Questo fossato drenante verrà scavato nel lato nord del parcheggio (campitura rossa, Tavola EG5.2) e servirà per raccogliere parte dei deflussi che, arrivando dall'area agricola confinante, sovraccaricherebbero il parcheggio con una notevole quantità d'acqua, difficilmente gestibile dai due soli rain garden. Per lo scavo dell'infiltration trench è prevista la rimozione di una parte dell'attuale siepe presente lungo il perimetro del parcheggio e lo spostamento 2 metri più a sud, rispetto all'attuale posizione, di parte della cordonata. Inoltre, verrà rimossa anche la piccola aiuola attualmente presente, assieme alle due piante ospitate al suo interno. L'infiltration trench avrà una lunghezza di circa 10 m e verrà scavato con sezione trapezoidale, profondità del letto di 1.45 m e scarpa delle sponde 1:1; inoltre la larghezza del letto alla base sarà di 0.40 m ed esso sarà ricoperto da uno strato di 10 cm di ghiaia (Sezione S1, Tavola EG5.3).
- 3) la messa in opera di una piccola porzione di pavimentazione Recycle. La superficie totale ricoperta sarà di circa 45 m² e per il suo posizionamento è prevista la rimozione dell'attuale copertura in asfalto e lo scavo del sedime sottostante fino a 1.50 m di profondità. Ciò permetterà la posa dei diversi strati drenanti che fungeranno da fondazione per i masselli Recycle (Sezione S1, Tavola EG5.3). In superficie è previsto il posizionamento dei masselli Recycle di dimensione 500x200x110 mm, che secondo il manuale di commercializzazione del prodotto, sono raccomandati per la creazione di superfici ciclabili, pedonali e carrabili. Al di sotto della pavimentazione è previsto l'inserimento di un primo strato di ghiaia molto fine (spessore = 8 cm), alla cui base verrà posizionato un primo strato di geo-tessuto che fungerà da separatore rispetto al sottostante strato di stabilizzato (spessore = 15 cm). Sotto lo stabilizzato è prevista la posa di un secondo geo-tessuto che lo separerà dal sottostante strato (spessore 1 m) composto da ciottoli stonati e di pezzatura poco gradata (diametri fra i 6 e gli 8 cm). La posa del geo-tessuto eviterà che il materiale più piccolo dei primi due strati, con il dilavamento, percoli verso gli strati inferiori occludendo i vuoti e diminuendo quindi la capacità d'invaso. Infine, è previsto l'inserimento di un ultimo strato di sabbia (spessore = 15 cm) che fungerà da filtro tra lo strato di ciottoli e il sottostante substrato naturale non disturbato.

Considerando questa versione depotenziata dell'intervento, è stato effettuato un secondo calcolo idrologico dell'efficienza dei rain garden, tenendo conto non solo della superficie impermeabile del

parcheggio, ma anche dell'area agricola (5 ettari) ubicata a nord-ovest (che in questo caso non sarebbe più gestita separatamente dal sistema descritto al Paragrafo 4.2).

Come si può notare da Figura 4.5, con una precipitazione di TR = 2 anni, i soli rain garden sono in grado di gestire l'intero deflusso. Infatti, il volume entrante, pur superando dopo circa 60 minuti il volume di invaso disponibile (volume di base), non raggiunge mai il volume gestito, garantendo una piena efficienza dell'opera. Considerando invece, una pioggia con TR = 5 anni (Figura 4.6), i rain garden entrano in sofferenza dopo circa 60 minuti di pioggia, infatti la curva corrispondente al volume entrante supera quella del volume gestito (Figura 4.6).

Se si considerano tempi di ritorno maggiori, ad esempio TR = 10 anni (Figura 4.7), i due rain garden risultano sottodimensionati rispetto al volume potenzialmente entrante, sottolineando l'importanza dell'intervento completo (comprensivo del sistema detention basin-infiltration trench-pavimentazione drenante), se si vuole garantire una gestione sia dei deflussi del parcheggio, che di quelli promiscui provenienti dalla zona agricola.

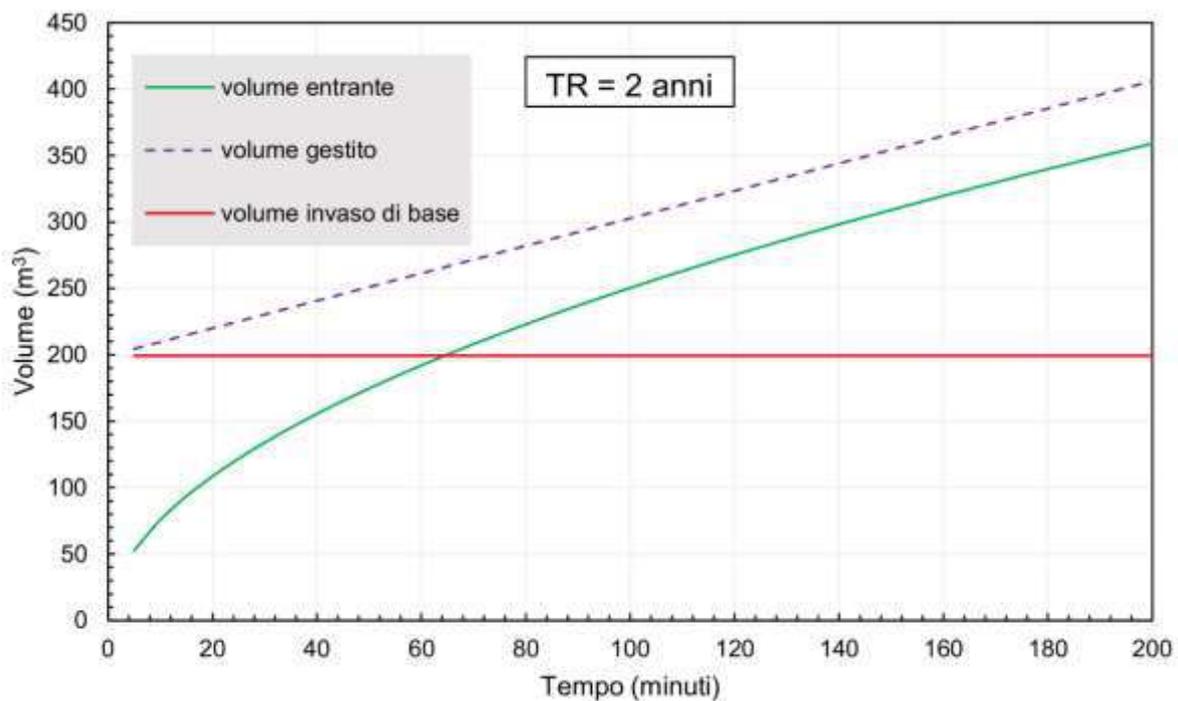


Figura 4.5: Volumi di deflusso entranti nei rain garden e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione, calcolati considerando la versione depotenziata dell'intervento; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV 'Monte Summano' (Comune di Piovene Rocchette) per $Tr = 2$ anni.

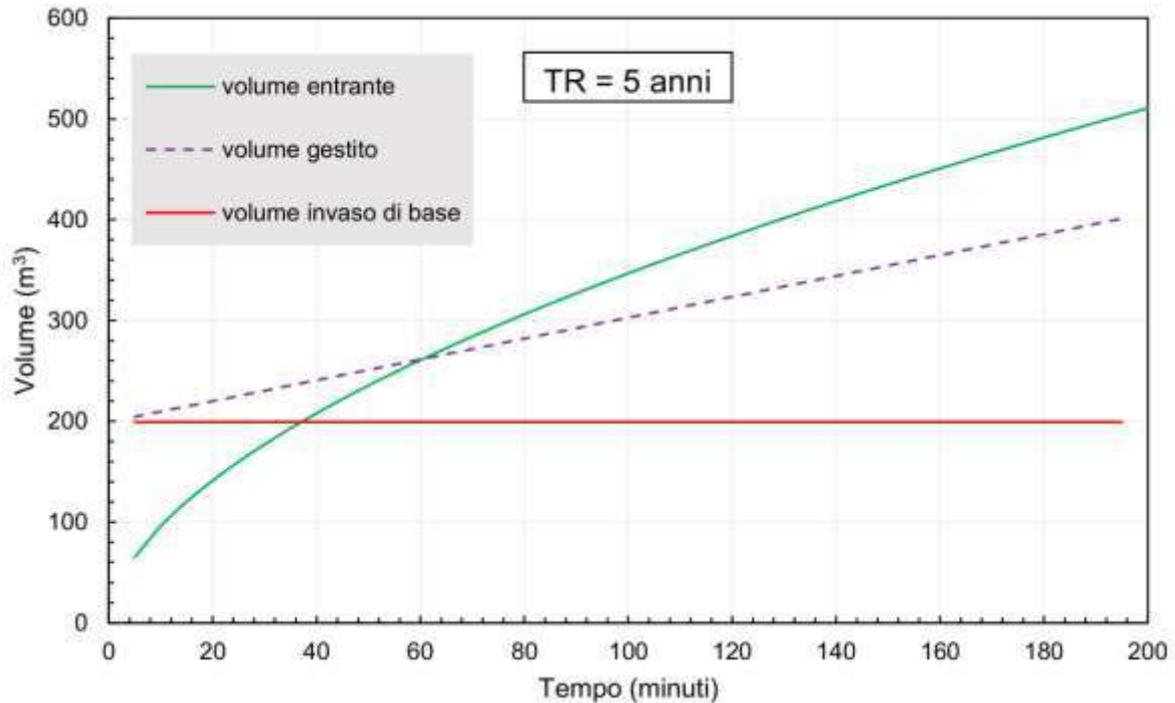


Figura 4.6: Volumi di deflusso entranti nei rain garden e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione, calcolati considerando la versione depotenziata dell'intervento; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV 'Monte Summano' (Comune di Piovene Rocchette) per $Tr=5$ anni. Tempo critico di pioggia = 60 minuti.

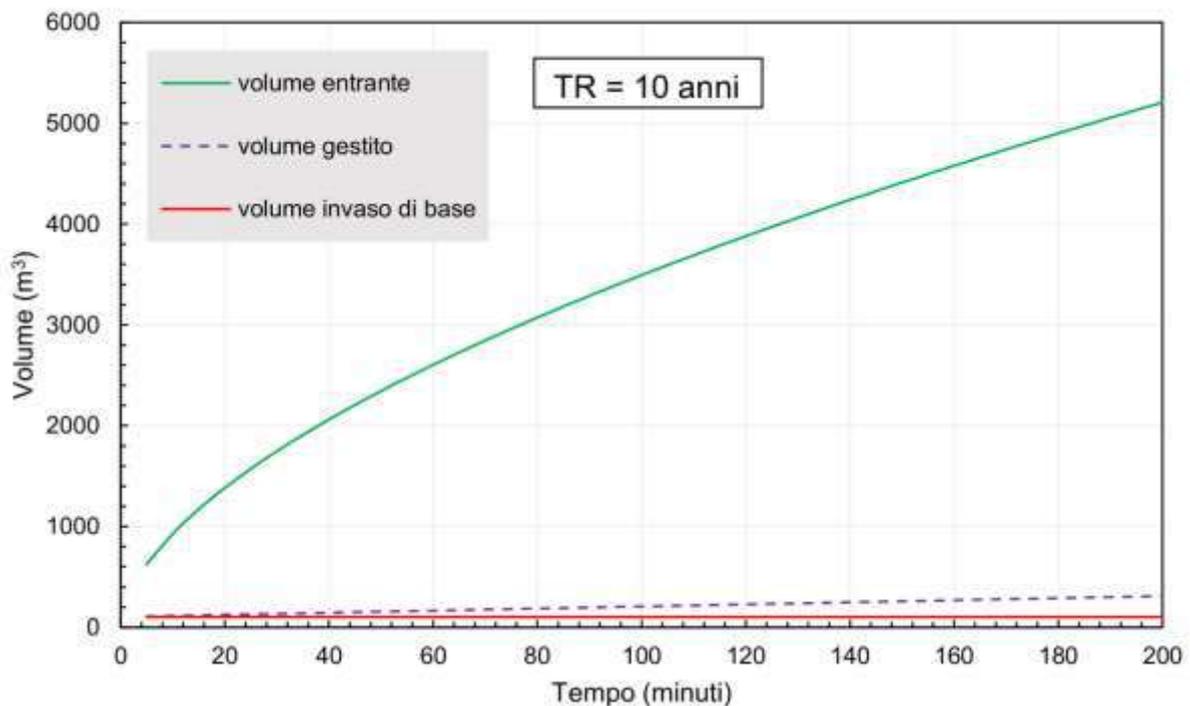


Figura 4.7: Volumi di deflusso entranti nei rain garden e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione, calcolati considerando la versione depotenziata dell'intervento; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV 'Monte Summano' (Comune di Piovene Rocchette) per $Tr=10$ anni.

4.4 Monitoraggio di funzionamento del sistema

Il monitoraggio di questo sito verrà effettuato solamente nei due rain garden, escludendo il sistema “detention basin-infiltration trench-pavimentazione Recycle”.

Per la misura delle precipitazioni è prevista l’installazione di un pluviometro con scansione di registrazione inferiore ai 5 minuti, posto a una distanza inclusa nel raggio spaziale di 1000 m rispetto al parcheggio del cimitero.

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 sarà posizionato nell’angolo nord-ovest del rain garden O, rimuovendo parte della cordonata dell’aiuola (Tavola EG5.2, Allegato 7.2). Il pozzetto sarà ricoperto da una griglia (dimensioni esterne = 0.56 x 1.28 m) nel lato più a nord, in modo da permettere l’ingresso delle acque in arrivo dalla porzione ovest del parcheggio. 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 pozzetto confluiranno anche le acque provenienti da una seconda griglia, (lunghezza = 6 m) che costeggerà il lato nord dell’aiuola e che, congiungendosi con il tubo di scarico del troppo pieno A1 (rain garden S), permetterà alle acque in eccesso del rain garden S di fluire verso il rain garden O. Tra le due aiuole ospitanti i rain garden, come già descritto precedentemente, verrà posizionato un dosso in asfalto (altezza = 7 cm) che permetterà di bloccare il deflusso dell’acqua proveniente dalla porzione settentrionale del parcheggio e favorirà il suo ingresso nella griglia che porta al pozzetto. Questo pozzetto di raccolta delle acque di deflusso superficiale intercettate dal canale di sgrondo sarà composto di due parti come mostrato in Tavola 5.6 (EG5.6):
 - 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 scomparto 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 porta 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 sud-ovest, Tavola EG5.2, Allegato 7.2). A chiusura del pozzetto di misura è previsto un coperchio amovibile in acciaio munito di chiusura antintrusione. Utilizzando le leggi della foronomia, è stato calcolato che il carico idraulico massimo atteso rispetto al ciglio sfiorante non oltrepasserà mai i 12 cm (portata $Q_{50} = 60$ l/s). Per questo motivo il ciglio dello stramazzo è posto ad una quota di -15 cm rispetto al piano della griglia (quota del piano stradale vicino al pozzetto). Con tale dispositivo si potrà dunque controllare e misurare (qualitativamente per campionatura manuale e quantitativamente tramite piezometro) le acque in ingresso nel giardino pluviale.

2. Sull'angolo sud-ovest del giardino pluviale, si prevede l'inserimento del tubo di troppo pieno (diametro = 0.16 m), denominato "B", che sarà posto ad una quota assoluta di 188.082 m s.m. (Tavola EG5.2, Allegato 7.2). Con l'inserimento di due giunti a 45°, esso raggiungerà il pozzetto di troppo pieno, distante circa 1.20 m (Sezione S4, Tavola EG5.3, Allegato 7.2). Nel pozzetto, potranno essere misurate volumetricamente a fine evento, le eventuali acque in esubero rispetto al sistema di ritenzione (al suo interno potrebbe anche inserirsi un ulteriore misuratore di livello). Questo pozzetto avrà dimensioni esterne di 2.10 x 1.24 m e, nel lato opposto rispetto a quello di giunzione col tubo di troppo pieno (a 0.56 m di profondità rispetto al cielo del pozzetto, coperchio escluso), verrà posizionato un secondo tubo in PVC (diametro = 0.16 m) che permetterà lo scarico delle acque verso il tombotto che collega al torrente Rio.

Accorgimenti idraulici importanti da considerare in fase realizzativa:

- Il bordo superiore del tubo verticale del troppo pieno B dovrà essere posizionato ad una quota di 3 cm inferiore rispetto al ciglio dello stramazzo descritto al punto "a", quindi circa 18 cm più in basso rispetto al piano stradale/griglia coperchio pozzetto. 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 ad una quota di circa 18 cm inferiore rispetto alla griglia.
- Fissando la quota del tubo di troppo pieno B ad una quota assoluta di 188.082 m s.m., ossia 11 cm più in basso rispetto al tubo di troppo pieno A1 (rain garden S), il volume d'invaso allagabile del rain garden O si sarebbe ridotto notevolmente. Per evitare questo problema, si è deciso di abbassare tutto lo scavo di 5 cm (compresi i sottostanti strati di ciottoli, ghiaia, sabbia e suolo ammendato). In questo modo, le quote assolute del pozzetto d'ingresso e del troppo pieno rimangono invariate, ma si guadagnano 5 cm di altezza invasabile all'interno del rain garden.

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 150 piante erbacee perenni e 90 arbusti per un totale circa di 1650 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*.

CNR-Isac. (2019). 2018 anno più caldo dal 1800 per l'Italia. Retrieved from Nota stampata sul sito CNR.

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.

Zavagnin, B. (2009). Relazione geologica. In *P.A.T. Comune di Santorso (VI)*. Studio geologico dott. Bernardino Zavagnin, Schio (VI).

7 Allegati

7.1 Documentazione fotografica



Figura 7.1. Allagamento localizzato lungo la cordonata est del parcheggio del cimitero, documentato durante un evento di pioggia.



Figura 7.2. Parte nord del parcheggio del cimitero, al centro si vede la piccola aiuola con le due piante storte, che da progetto verrà rimossa per fare spazio allo spostamento della cordonata perimetrale circa 1.5-2 m più a sud rispetto all'attuale posizione.



Figura 7.3. Vista frontale del parcheggio e in particolare dell'aiuola S su cui verrà costruito uno dei due rain garden.



Figura 7.4. Vista in direzione nord-ovest dell'aiuola O, all'interno della quale verrà costruito il secondo rain garden.



Figura 7.5: Vista in direzione sud delle due aiuole in cui verranno posizionati i nuovi rain garden.



Figura 7.6. Tombotto attualmente esistente, posto nell'angolo sud-ovest del parcheggio del cimitero, all'esterno rispetto alla siepe perimetrale.



Figura 7.7: Griglia esistente, posta all'ingresso del parcheggio (lato sud), collegata al tombotto in Figura 7.6, che trasporta le acque verso il torrente Rio.



Figura 7.8: Vista in direzione sud del lato ovest del parcheggio, esternamente rispetto alla siepe perimetrale.



Figura 7.9: Vista in direzione est del lato nord del parcheggio in cui è prevista la rimozione di parte della siepe per lasciare spazio al piccolo infiltration trench.



Figura 7.10: Vista in direzione ovest del lato nord-est del parcheggio in cui è prevista la rimozione della siepe per fare spazio al detention basin (nella versione completa del progetto).



Figura 7.11. Inizio lavori di scavo per l'identificazione del profilo pedologico prima dell'intervento, sull'aiuola O su cui verrà costruito uno dei due rain garden.



Figura 7.12. Profilo pedologico dello scavo con riferimento metrico. Profondità di scavo 1,5 m.



Figura 7.13. Particolare del profilo a profondità 0.5 m (profondità indicata dalla linea rossa).



Figura 7.14. Particolare del profilo a profondità 1 m (profondità indicata dalla linea rossa).



Figura 7.15: Particolare del profilo a profondità 1.5 m (profondità indicata dalla linea rossa).

7.2 Tavole di progetto

- Tavola 5.1 (EG5.1) Planimetria Cimitero nuovo – Stato di fatto
- Tavola 5.2 (EG5.2) Planimetria Cimitero nuovo – Stato di progetto
- Tavola 5.3 (EG5.3) Cimitero nuovo – Sezioni di progetto

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

Intervento 5: Parcheggio del cimitero nuovo di Santorso (VI)

DATA
22 / 03 / 2019

N. ELABORATO
EG5.1

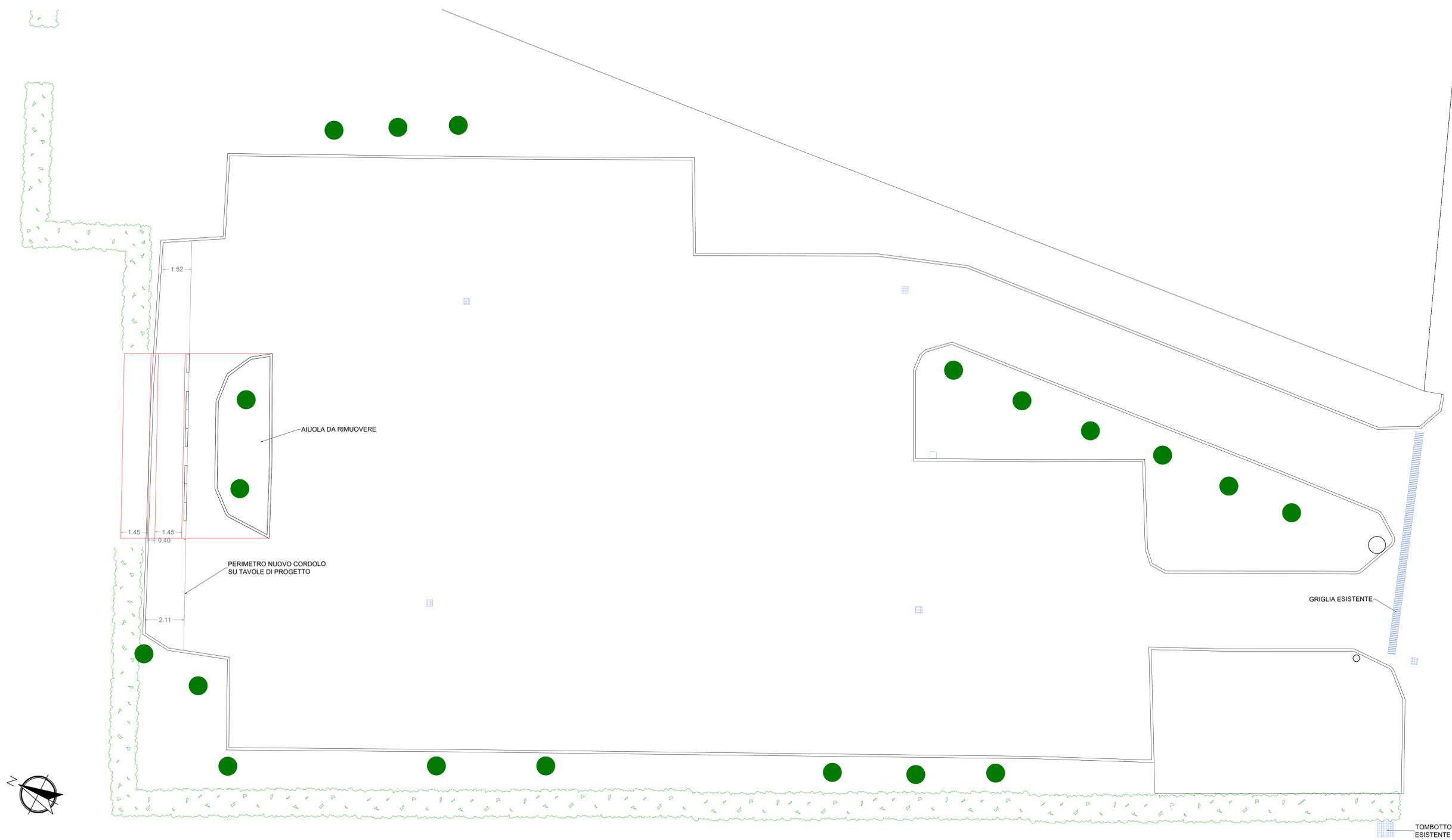
SCALA
1:100

TAVOLA 5.1:
Planimetria Cimitero nuovo -
Stato di fatto

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

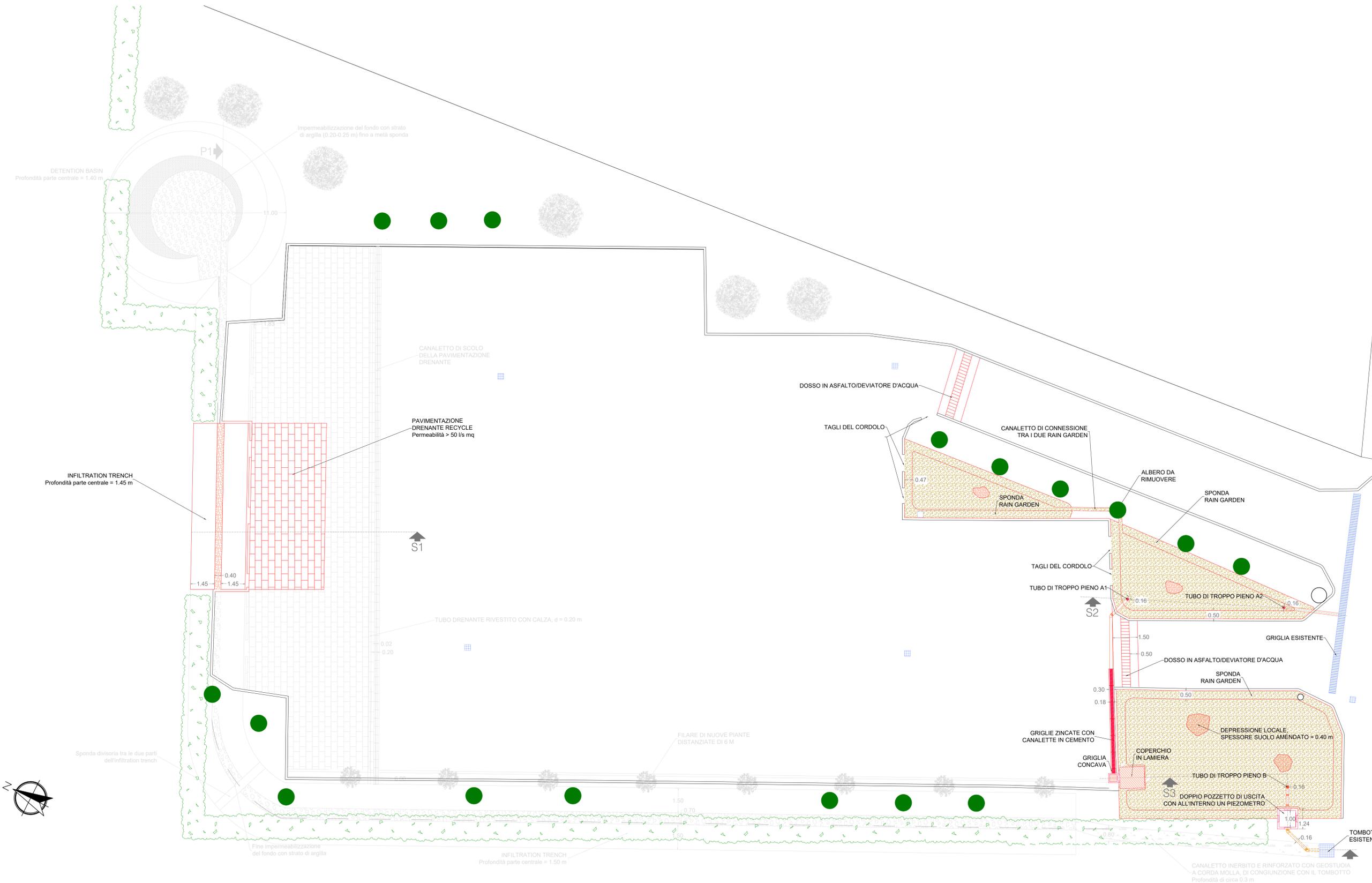
Responsabile tecnico del progetto per COMSAN:
Geom. Fabio Saterini
Collaboratori per COMSAN:
Geom. Giovanni Toniolo

Legenda
— Caditoie/griglie esistenti
— Edifici/muretti

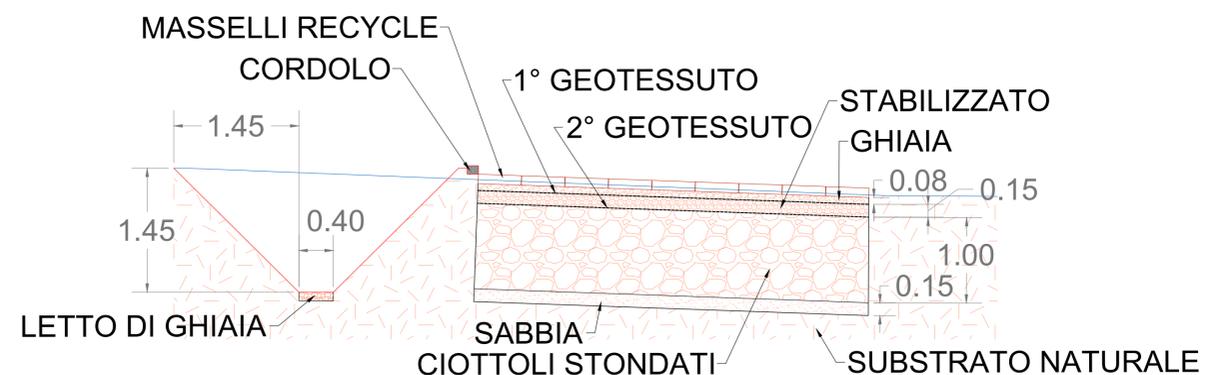


Legenda

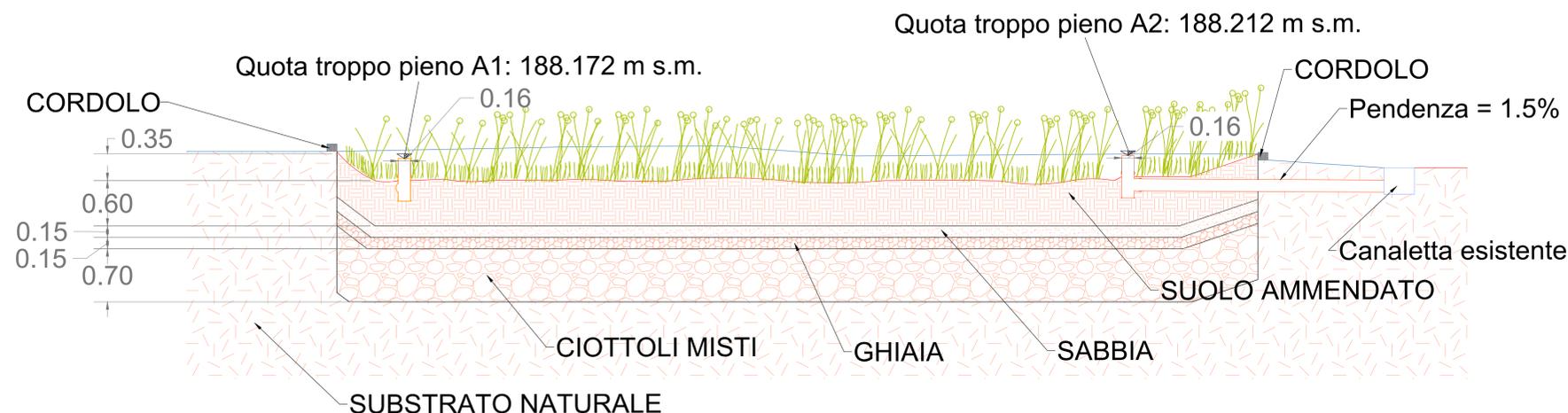
— Edifici/muretti	— Copertura erbacea
— Opere di progetto	— CLS
— Particolari di progetto	— Telo pacciamante ricoperto da ghiaio lavato
— Opere di progetto non finanziate dal LIFE	— Suolo ammendato
— Tubi in PVC	— Sabbia di fiume/cava
— Sezioni	— Ciottoli stondati poco gradati (D = 6/8 cm)
— Caditoie/griglie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



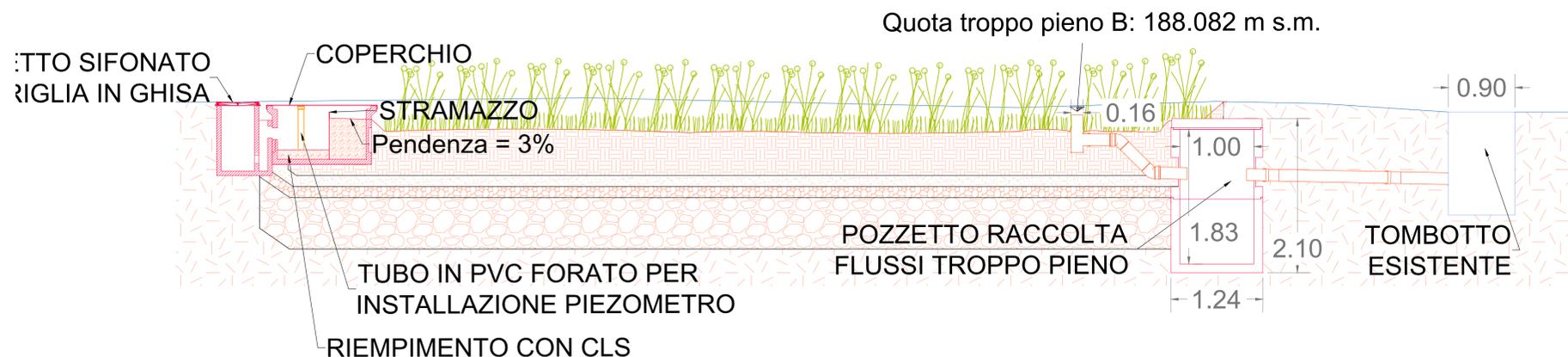
Sezione S1



Sezione S2



Sezione S3



Legenda

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



1 VIBURNUM TINUS



2 HYPERICUM PATULUM



3 POTENTILLA FRUTICOSA



4 SPIRAEA JAPONICA



5 LAGERSTROEMIA INDICA 'NANA'



6 GAILLARDIA ARISTATA 'KOBOLD'



7 RUDBECKIA FULGIDA 'GOLDSTURM'



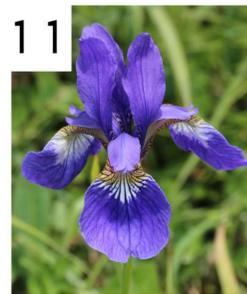
8 ECHINACEA PURPUREA



9 ASTER NOVI-BELGII 'ROZIKA'



10 ASTER NOVI-BELGII 'WHITE LADIES'



11 IRIS SPP.



12 HEMEROCALLIS X HYBRIDA 'CHRISTMAS IS'



13 HEMEROCALLIS X HYBRIDA 'GLITTERING TREASURE'



14 ERIGERON KARVINSKIANUS



15 LAVANDULA ANGUSTIFOLIA



16 SALVIA NEMOROSA



17 LIATRIS SPICATA



18 LIRIOPE GRAMINIFOLIA



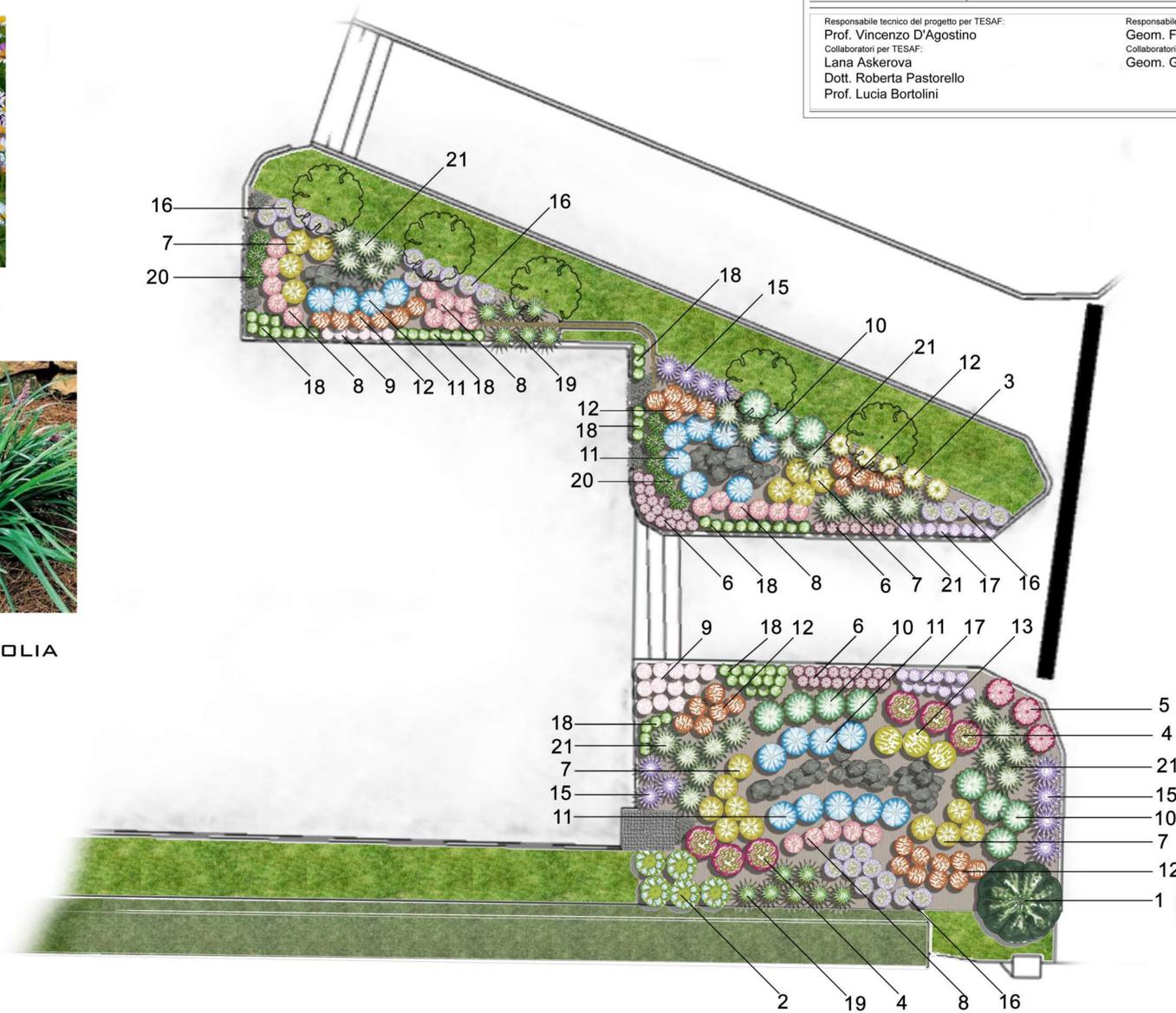
19 PANICUM VIRGATUM



20 PENNISETUM ALOPECUROIDES



21 MOLINIA CAERULEA



BEWARE
ACQUA, RESILIENZA, TERRITORIO

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.

DIPARTIMENTO TESAF,
COMUNE DI SANTORSO (VI) 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 5: Parcheggio del cimitero nuovo di Santorso (VI)

<small>DATA</small> 22 / 03 / 2019	TAVOLA 5.4: Cimitero nuovo - Planimetria e abaco vegetazionale
<small>N. ELABORATO</small> EG5.4	
<small>SCALA</small> 1: 100	

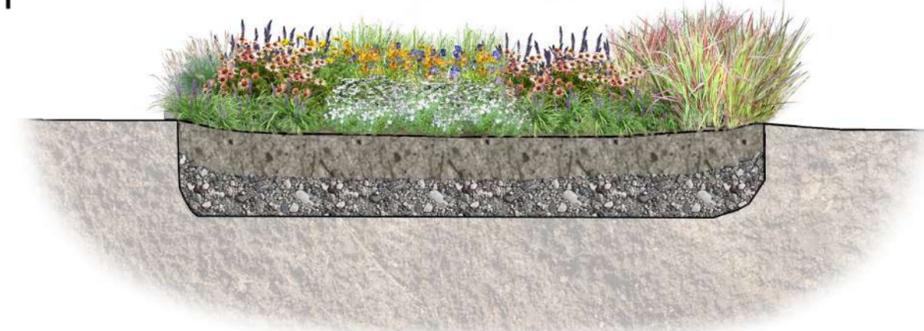
Responsabile tecnico del progetto per TESAF:
Prof. Vincenzo D'Agostino

Collaboratori per TESAF:
Lana Askerova
Dott. Roberta Pastorello
Prof. Lucia Bortolini

Responsabile tecnico del progetto per COMSAN:
Geom. Fabio Saterini

Collaboratori per COMSAN:
Geom. Giovanni Toniolo

SEZIONE S1



SEZIONE S2



SEZIONE S3



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 5: Parcheggio del cimitero nuovo di Santorso (VI)

DATA

22 / 03 / 2019

N. ELABORATO

EG5.5

SCALA

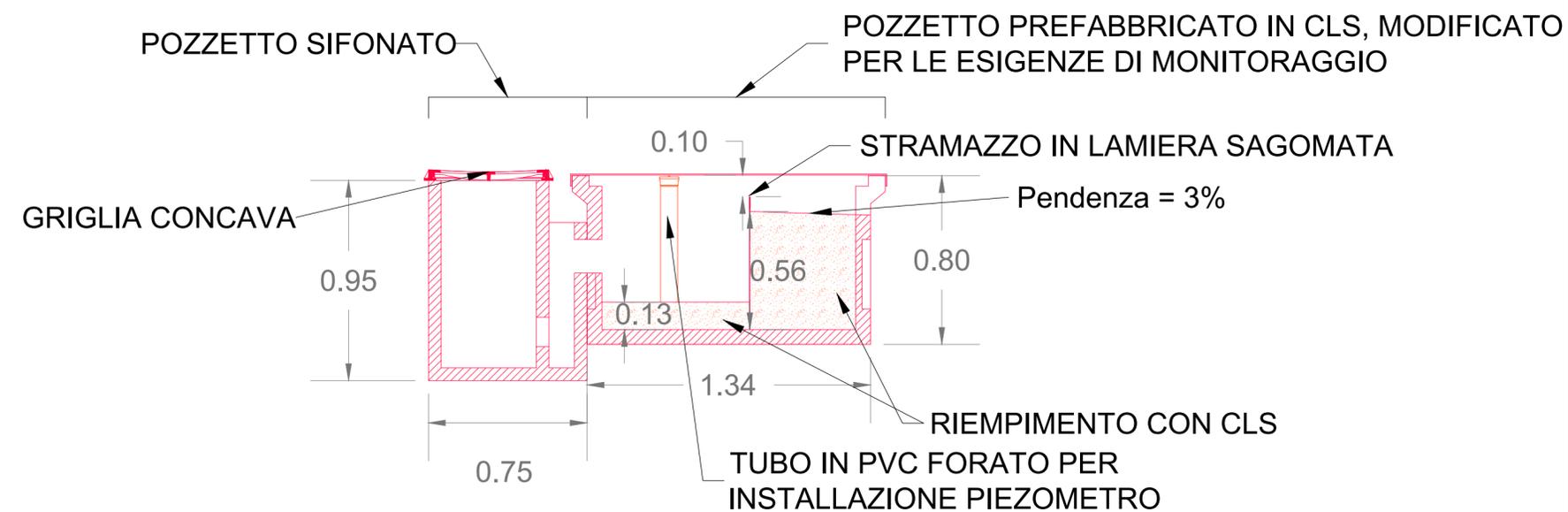
1:100

TAVOLA 5.5:
Cimitero nuovo -
Sezioni e abaco vegetazionale

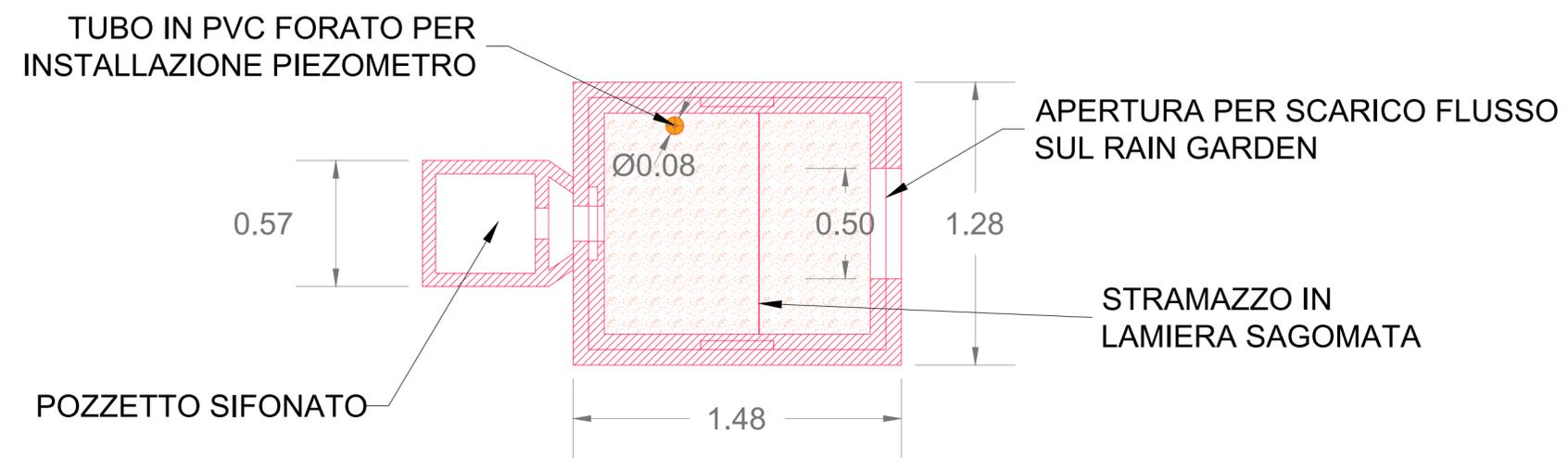
Responsabile tecnico del progetto per TESAF:
Prof. Vincenzo D'Agostino
Collaboratori per TESAF:
Lana Askerova
Dott. Roberta Pastorello
Prof. Lucia Bortolini

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)



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 5: Parcheggio del cimitero nuovo di Santorso (VI)

DATA

22 / 03 / 2019

N. ELABORATO

EG5.6

SCALA

1:20

TAVOLA 5.6:
Cimitero nuovo -
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