

## BETTER Water-management for Advancing Resilient-communities in Europe

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

### Intervention 6: ELEMENTARY SCHOOL

Municipality of Marano Vicentino (VI)

## Technical report

### Project Data

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

### Beneficiary Data

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

### Design of the intervention

<b>Partners involved:</b>	TESAF and COMMAR
<b>Technical manager for TESAF:</b>	Prof. Vincenzo D'Agostino
<b>Other collaborators for TESAF:</b>	Dott. Roberta Pastorello, Prof. Paolo Semenzato Prof. Lucia Bortolini
<b>Technical manager for COMMAR:</b>	Daniela Golcic
<b>Other collaborators for COMMAR:</b>	



Legnaro, 05/06/2019



## 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 6: SCUOLA ELEMENTARE**

Comune di Marano Vicentino (VI)

### **Relazione tecnica**

#### Dati del Progetto

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

#### Dati del Beneficiario

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

#### Progettazione dell'intervento

<b>Partners coinvolti:</b>	TESAF e COMMAR
<b>Responsabile tecnico per TESAF:</b>	Prof. Vincenzo D'Agostino
<b>Altri collaborator per TESAF:</b>	Dott. Roberta Pastorello, Prof. Paolo Semenzato Prof. Lucia Bortolini
<b>Responsabile tecnico per COMMAR:</b>	Daniela Golcic
<b>Altri collaborator per COMMAR:</b>	



Legnaro, 05/06/2019



# Indice

Indice.....	II
Glossario, Abbreviazioni, Acronimi .....	III
Abstract.....	4
1 Premessa.....	5
2 Obiettivi specifici dell'intervento .....	7
2.1 L'intervento 6 – Scuole elementari di Marano Vicentino .....	7
3 Inquadramento del sito .....	9
3.1 Inquadramento generale del sito di intervento .....	9
3.2 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrologico .....	11
3.3 Analisi delle piogge .....	16
3.3.1 Regolarizzazione statistico-probabilistica .....	17
3.3.2 Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP) .....	20
3.4 Indagini propedeutiche .....	22
4 Dimensionamento idrologico-idraulico .....	26
4.1 Descrizione delle opere verdi .....	26
4.2 Dimensionamento e verifica idrologico-idraulica delle NWRM.....	28
4.2.1 Afflusso massimo atteso ed efficienza del sistema RG-SM .....	29
4.2.2 Afflusso massimo atteso ed efficienza del sistema RG-SE e pavimentazione drenante ..	34
5 Indicazioni vegetazionali: scelta delle specie e aspetti manutentivi.....	39
6 Bibliografia.....	41
7 Allegati .....	42
7.1 Documentazione fotografica .....	42
7.2 Tavole di progetto .....	51

## 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 6 which will take place in the schools of Marano Vicentino, is described. This intervention will help to mitigate the surface water flooding episodes that were also documented in the recent years (Figura 7.1) and that caused damages at the basement floor of the elementary school.

This intervention has two main objectives:

- the first objective will be hydrologic/hydraulic: the aim is to manage the rainfall runoff falling in the northern part of the elementary school's recreational area and in the western part of the close secondary school. Therefore, the following NWRMs will be built: 1) a **RAIN GARDEN** in the secondary school recreational area; 2) another **RAIN GARDEN** in the elementary school recreational area; 3) a **'RECYCLE' HIGHLY POROUS PAVING** in the recreational area of the elementary school; 4) a **TREE-LINED SWALE** near the porous paving and 5) a **STORMWATER PLANTER** below a gutter of the secondary school.
- The second objective will be educational and demonstrative. In fact, even if this intervention will not be part of the two itineraries planned in Santorso (Figura 2.2), it will be an excellent example of good measures that people could personally adopt. Because this intervention is located inside the schools, BEWARE Project will be able to involve children, their families and other young citizens, helping to spread positive and sustainable practices to guarantee hydraulic safety and to effectively face the consequences of climate change.

# 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 e di lavorazioni del terreno più adatte alle nuove condizioni climatiche, riqualificazione e 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. BEWARE è in linea con le politiche comunitarie europee quale la Direttiva Alluvioni entrata in vigore il 26 novembre 2007 che promuove un approccio integrato per la gestione dei rischi di alluvioni e un'azione concreta e coordinata a livello comunitario nel processo di pianificazione.



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

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

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

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

## 2 Obiettivi specifici dell'intervento

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

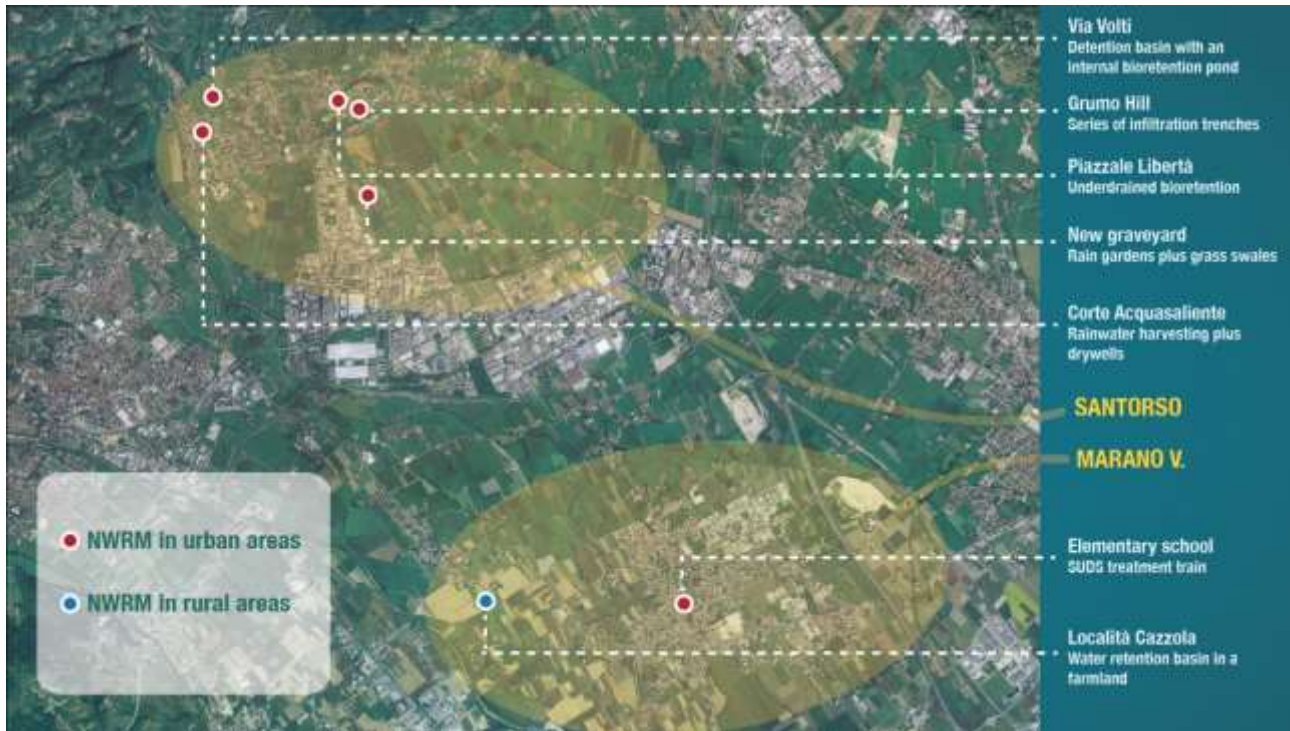


Figura 2.1. Mappa degli interventi, azione C4. La prima area corrisponde ad interventi urbani nel Comune di Santorso e la seconda nel Comune di Marano Vicentino con un intervento urbano e uno in contesto agricolo.

Le opere strutturali saranno progettate e/o realizzate da un insieme 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 di Santorso e Marano Vicentino e professionisti esterni (previsti solo per alcuni dei sei interventi).

### 2.1 L'intervento 6 – Scuole elementari di Marano Vicentino

L'intervento oggetto di questo report tecnico è sito nel Comune di Marano Vicentino, presso le scuole elementari del paese e si rende necessario poiché, in occasione di eventi di pioggia particolarmente intensi, sono stati documentati episodi di allagamento, a carico del piano interrato della scuola elementare, i quali provocano notevoli disagi ai fruitori della struttura (Figura 7.1 e Figura 7.2, Allegato 7.1). Gli obiettivi di questo intervento saranno in particolare due:

Il **primo obiettivo** è di tipo idrologico-idraulico e servirà a gestire sia le acque di pioggia che cadono sull'area posta a nord rispetto all'edificio delle scuole elementari, sia quelle provenienti dal tetto dell'adiacente scuola media. Quindi, per migliorare la gestione e il controllo dei deflussi superficiali, aumentando la capacità d'infiltrazione del terreno e allungando i tempi di corrivazione, sono previsti i seguenti interventi che saranno localizzati nelle aree ricreative delle scuole elementari e medie: 1) rain garden scavato nel giardino della scuola media; 2) rain garden scavato nel piazzale in ghiaia della scuola elementare; 3) pavimentazione drenante Recycle, del quale verranno posate due fasce nel piazzale in ghiaia della scuola elementare; 4) tree-lined swale (canale di raccolta alberato), adiacente alla pavimentazione drenante, dal lato del giardino; 5) fioriera con substrato drenante per gestire parte dei deflussi che altrimenti scaricherebbero direttamente sul piano campagna.

**Secondariamente** tale intervento, come tutti quelli previsti all'interno dell'Azione C4, avrà una **funzione dimostrativa e divulgativa**, infatti, anche se non rientrerà direttamente all'interno dell'itinerario didattico diffuso previsto dall'azione E2.1.1 del progetto BEWARE (Figura 2.2), esso fungerà comunque da esempio di buona pratica per i Comuni confinanti e i singoli cittadini. L'itinerario didattico previsto nel comune di Santorso ha lo scopo di sensibilizzare e informare i cittadini, i turisti e i professionisti che, grazie anche alle altre azioni messe in campo dal progetto BEWARE, verranno accompagnati alla visita degli interventi. Mentre, gli studenti delle scuole, in particolare nel territorio di Marano Vicentino, beneficeranno in prima persona dell'intervento realizzato presso le scuole elementari, e questo aiuterà a promuovere una sensibilità ambientale e di pianificazione territoriale sostenibile, specialmente delle aree pubbliche, fin dalla giovane età.



Figura 2.2. Itinerario didattico per la visita ai sei siti di riqualificazione idraulica in comune di Santorso. Tour breve (in rosso) in partenza da Parco Rossi e tour lungo (in blu).



### 3 Inquadramento del sito

Il territorio comunale di Marano Vicentino si estende su un'area di 12.7 km<sup>2</sup>, fra i comuni di Schio, Zané, Malo, Thiene e San Vito di Leguzzano, sull'ampia conoide alluvionale formata dai depositi fluviali e fluvio-glaciali del torrente Astico e del Leogra-Timonchio, nel corso del Quaternario antico e recente (Marchetto & Marchetto, 2010).

#### 3.1 Inquadramento generale del sito di intervento

L'opera in progetto si localizza nelle aree ricreative delle scuole elementari e medie del comune di Marano Vicentino. In particolare, verranno interessate dai lavori: parte del piazzale in ghiaia posto a nord rispetto all'edificio delle scuole elementari e una porzione del giardino situato a sud sud-ovest rispetto al complesso delle scuole medie.

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 dall'intervento su ortofoto anno 2012 (Portale Cartografico Nazionale).

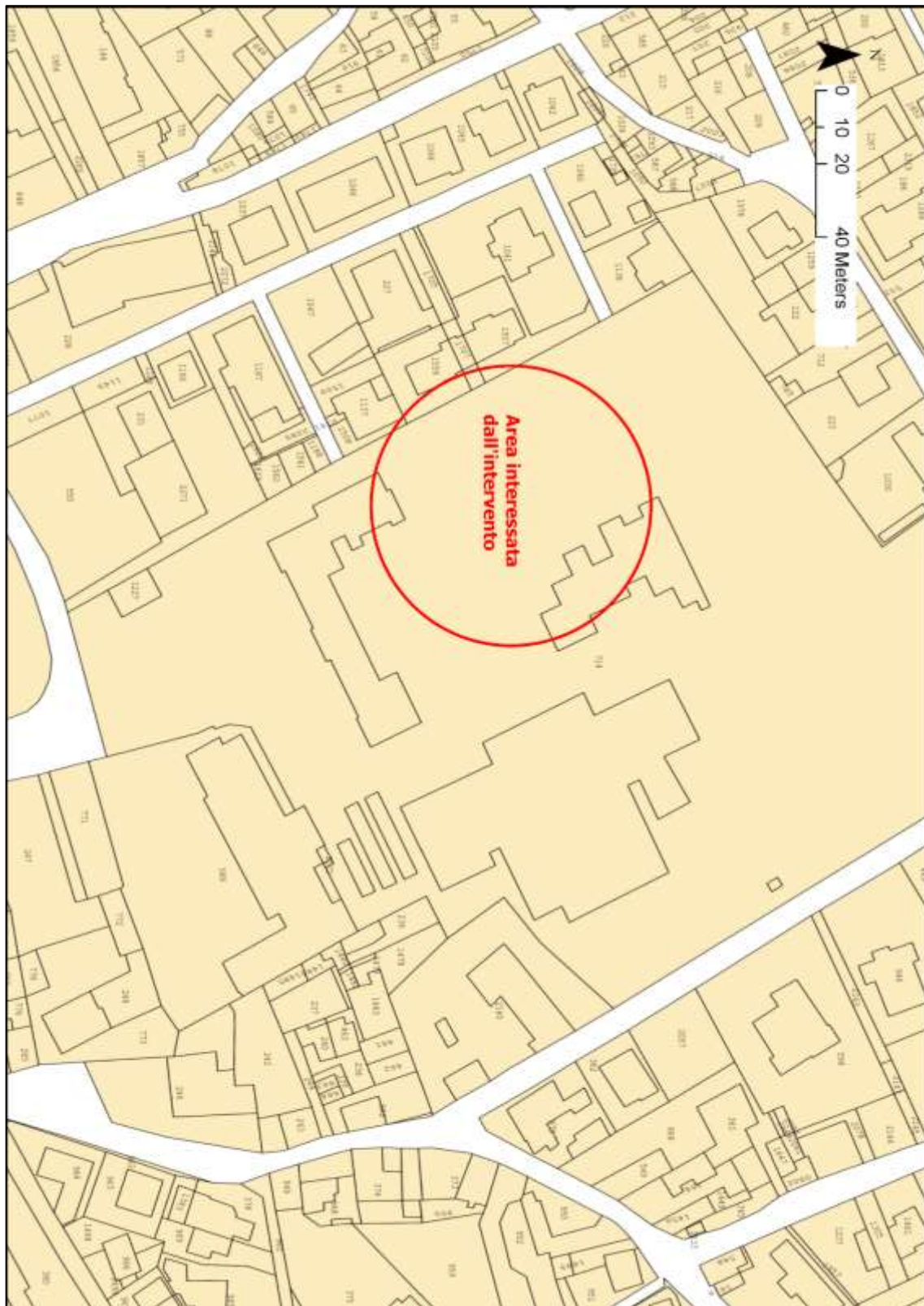


Figura 3.2. Localizzazione della zona interessata dall'intervento su mappa catastale.



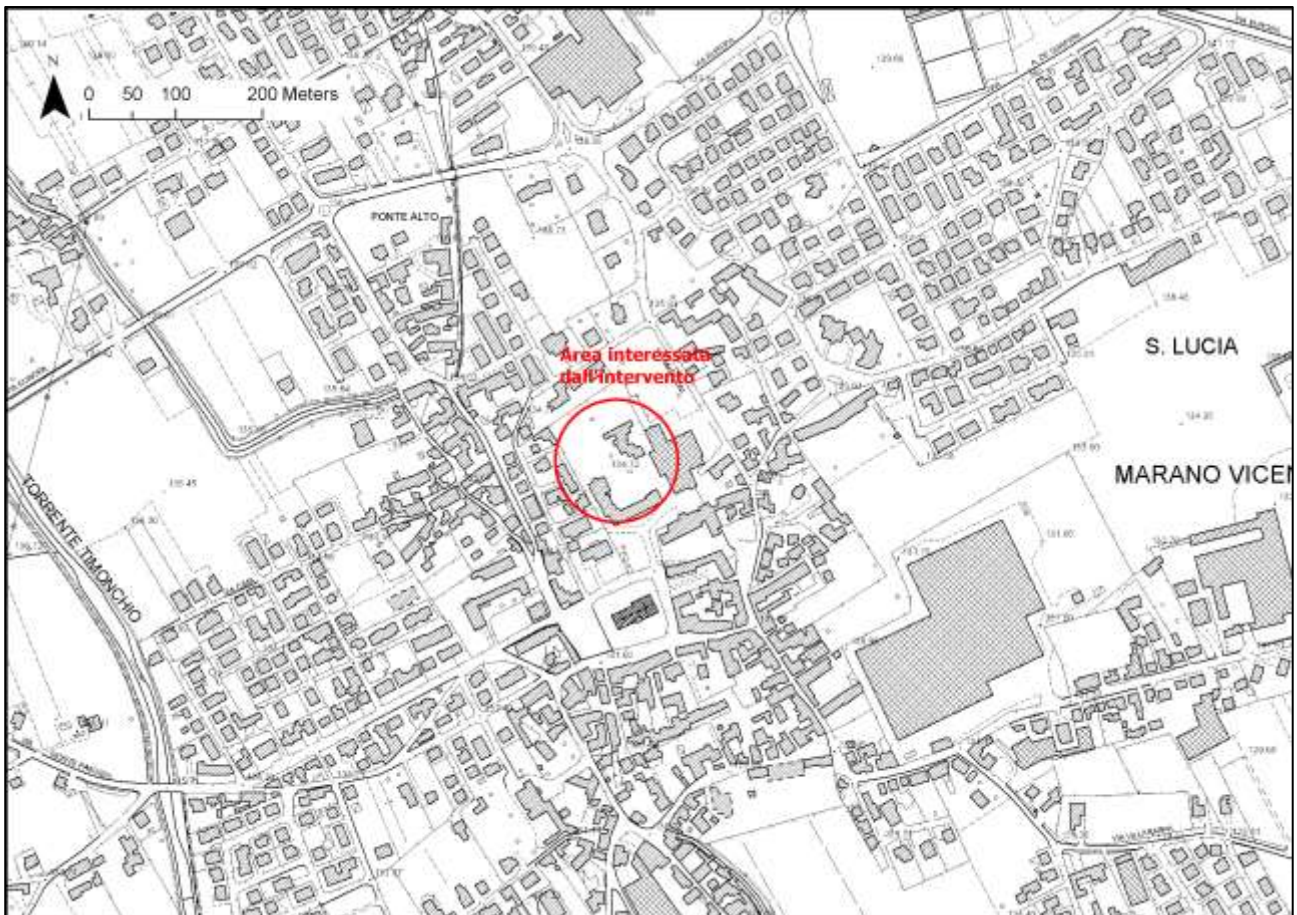


Figura 3.3. Localizzazione della zona interessata dall'intervento su Carta Tecnica Regionale (Scala 1:10000).

### 3.2 Inquadramento geologico, geomorfologico e idrologico

Nella documentazione del P.A.T. del comune di Marano Vicentino, il territorio comunale viene descritto come completamente pianeggiante, di estensione pari a 1270 ha (Marchetto & Marchetto, 2010). L'intervento oggetto del presente studio si localizza in particolare nelle aree ricreative delle scuole elementari e medie del comune di Marano Vicentino. La zona in cui si trovano i due poli scolastici, come tutto il resto del territorio comunale, risulta prevalentemente pianeggiante, anche se lungo l'asse nord-sud, il terreno è in leggera pendenza verso sud, creando così un lieve dislivello favorevole allo scorrimento delle acque superficiali lungo questa direzione preferenziale. Tale andamento si osserva anche a larga scala; sull'intero territorio comunale, infatti, si raggiunge un dislivello di oltre 60 m su una distanza lineare di circa 5.4 km (Marchetto & Marchetto, 2010). Come si può notare in Figura 3.4, le linee di deflusso ottenute con l'analisi delle direzioni e di accumulo delle acque superficiali, utilizzando un modello digitale del terreno con risoluzione di 1 metro, seguono la stessa direzione N-S.

Secondo la carta litologica del P.A.T., l'area in cui ricade l'intervento si trova al di sopra di depositi alluvionali e fluvioglaciali formati principalmente da ghiaie e sabbie con modesta copertura argilloso-limosa (Figura 3.5). Nel P.A.T. del comune, la litostratigrafia viene descritta come formata da un sottosuolo grossolano, eminentemente ghiaioso, di spessore notevole, superiore al centinaio di metri, con debole

copertura limoso-argillosa. In tale zona, quindi, le formazioni prevalenti hanno alta permeabilità e bassa capacità di deflusso, alta infiltrabilità anche se completamente sature e notevole conducibilità idraulica (Marchetto & Marchetto, 2010).

Per quanto riguarda l'idrogeologia in bibliografia sono segnalati numerosi studi svolti nel corso degli anni a riguardo (CNR, 1982; Dal Prà, 1984; Rinaldo et al., 2004-2006); le analisi dimostrano che il sottosuolo del comune di Marano è sede di un unico acquifero indifferenziato e pertanto il territorio comunale appartiene alla cosiddetta "zona di ricarica degli acquiferi profondi". Inoltre, sempre secondo lo studio geologico e idraulico condotto da Marchetto & Marchetto (2010), la falda freatica si trova ad una profondità che si colloca tra i 40 e gli 80 metri, con i valori maggiori localizzati nella parte est del territorio. Dalla carta idrogeologica inoltre (Figura 3.7), si nota come i corsi d'acqua più vicini all'area d'intervento siano due rogge che scorrono in direzione N-S; entrambe sono localizzate ad una distanza di qualche centinaio di metri dalle scuole e non creano alcun particolare rischio potenziale all'area.

Dalle carte idrogeologica e geomorfologica si può notare come la zona oggetto d'intervento ricada in un'area senza particolari criticità. La zona, infatti, non è segnalata come area soggetta a periodiche inondazioni (Figura 3.7) anche se, come si può notare dalla documentazione fotografica in Allegato 7.1, sono stati segnalati in passato alcuni episodi di allagamento che hanno riguardato in particolare il piano seminterrato della scuola elementare.

Per quanto riguarda la **conducibilità idraulica  $K$** , il già citato studio di compatibilità idraulica (Marchetto & Marchetto, 2010) riporta valori mediamente compresi tra  $1.27 \times 10^{-4}$  m/s e  $2.66 \times 10^{-4}$  m/s ricavati da alcuni studi. Mentre, alcune prove sperimentali condotte su pozzi comunali hanno permesso di individuare un campo di variazione tra  $3.1 \times 10^{-4}$  m/s e  $4.7 \times 10^{-4}$  m/s.



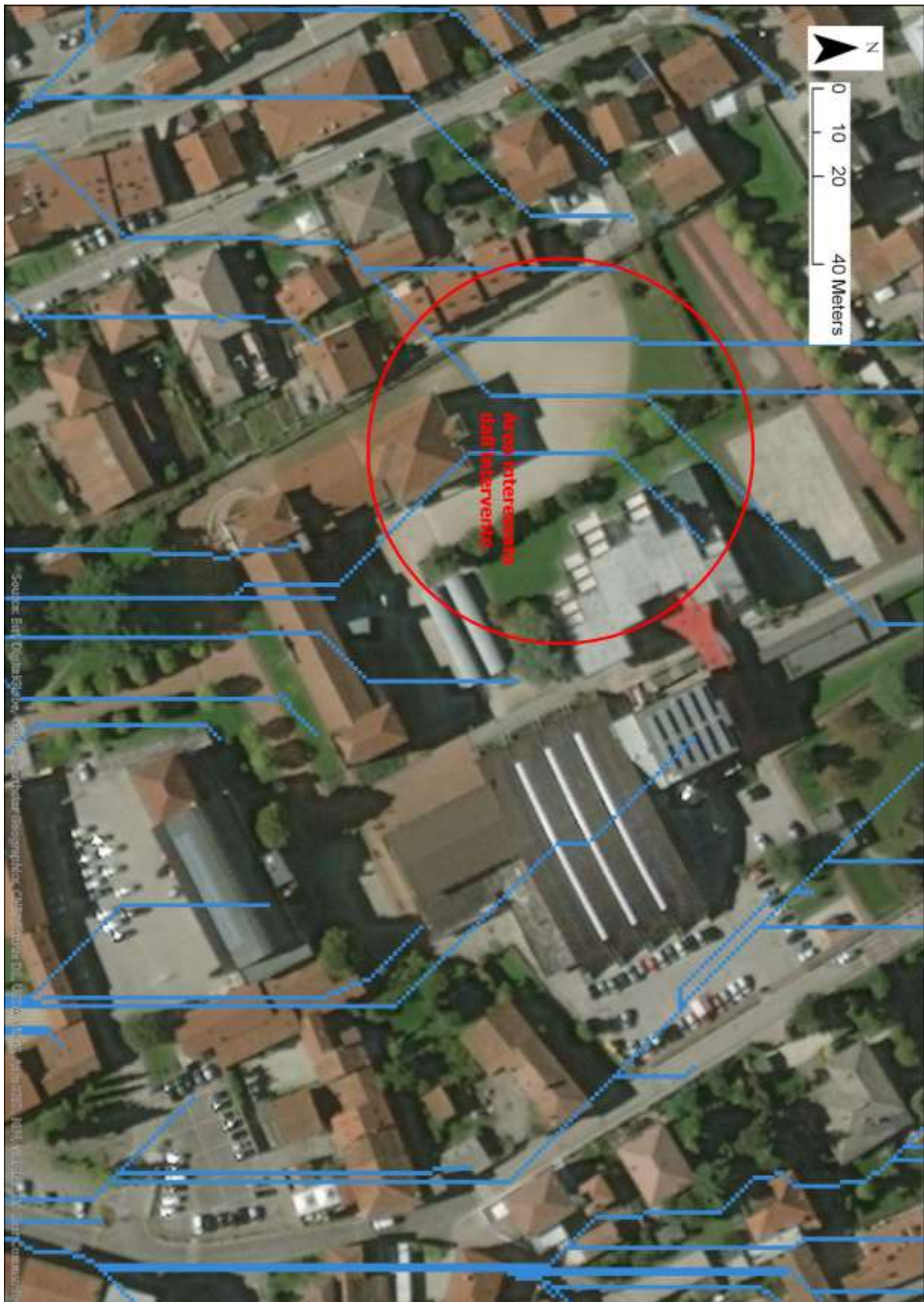


Figura 3.4: Deflusso superficiale nella zona di localizzazione degli interventi: direzione dominante da nord verso sud.





Figura 3.5. Localizzazione della zona interessata da intervento su estratto dalla Carta Litologica del P.A.T. del Comune di Marano Vicentino.

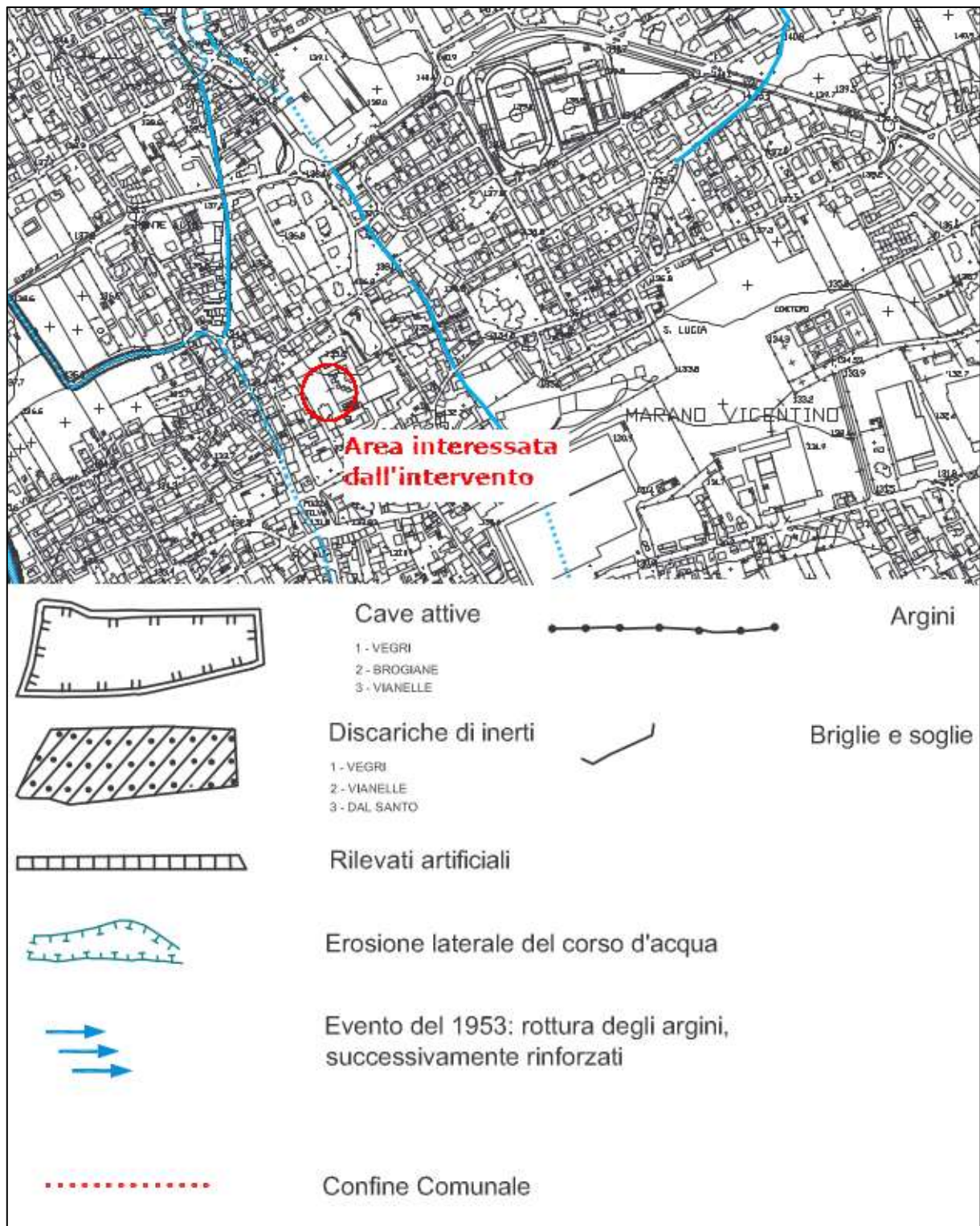


Figura 3.6. Localizzazione della zona interessata da intervento su estratto della Carta Geomorfologica del P.A.T. del Comune di Marino Vicentino.





Figura 3.7. Localizzazione della zona interessata da intervento su Carta Idrogeologica del P.A.T. del Comune di Marano Vicentino.

### 3.3 Analisi delle piogge

L'analisi delle piogge ha la funzione di studiare le quantità d'acqua che saranno gestite dalle opere in progetto. L'acqua in entrata infatti, dipende fortemente dalla quantità di pioggia che cade sull'area d'intervento e per dimensionare correttamente le superfici drenanti è necessario stimare che portate ci si può attendere considerando precipitazioni aventi diversi tempi di ritorno.

In questa analisi sono stati utilizzati i dati del pluviometro di Malo (VI), (Coordinate Gauss-Boaga fuso Ovest: 1691985 E, 5060283 N, Coordinate WGS84 Zone 32N: 691955.34E, 5060261.301N), che si localizza circa 3.5 km a sud-est rispetto al centro di Marano Vicentino. Questo pluviometro è in funzione dal 1 aprile 1992 e la serie storica disponibile arriva attualmente al 2017, senza interruzioni (Tabella 3.1).

Tabella 3.1. Massimi annuali corrispondenti a diverse durate di precipitazione registrati dal pluviometro di Malo (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)
1992	10.4	17	22.8	32.8	41.2	45.2
1993	8	14.4	17.4	23	25.2	27.8
1994	9.4	16.8	21.2	32.2	45.4	50.4
1995	12.6	20	26.4	42.8	47.4	48
1996	7.6	14.8	20.6	29.2	33.4	34.4
1997	6.4	12.4	17.4	28.6	33.2	33.2
1998	6.4	9.4	13.2	24.4	29.2	29.8
1999	7.6	11.8	14.6	24.4	34.6	38.4
2000	7	11.6	17.8	30.2	43.8	48.8
2001	7.6	13.8	14.6	17.2	24.6	28
2002	13	24.2	34.6	42.4	43	46.4
2003	10.2	15	16.2	19.2	24.6	26.4
2004	10.6	21	30	46.8	56.4	58.8
2005	11.2	19.2	28.2	46.2	53.6	56
2006	9.2	16.8	23	34	35.8	36.6
2007	12.2	19.8	28.6	38.4	44	44.8
2008	7.8	15.2	20.2	35.2	46.4	55.6
2009	9.2	16.8	20	30.6	42.2	55
2010	13	17.6	19.8	25.2	30.2	37.6
2011	13.8	16.8	18.6	22.8	25.8	26.6
2012	15.2	22.8	28.2	35	35.4	36.6
2013	7.6	14.4	16.8	21.6	29.4	35.4
2014	10.2	16.2	21.6	24.4	26.2	31.6
2015	7.6	15	18	23	29.4	34
2016	14.2	21.8	28.8	41.2	52.8	72.4
2017	8.6	13.6	18	24.6	25.6	25.8

### 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. Tale considerazione deriva dall'ipotesi di indipendenza degli eventi, ossia la precipitazione massima di un anno non influenza la precipitazione massima dell'anno successivo.

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

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

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

Utilizzando il ‘metodo dei momenti’ per la stima dei parametri, i momenti della distribuzione  $P$  teorica vengono assimilati (desunti) dai momenti del campione. Perciò, i due parametri  $\alpha$  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  $\sigma$  è appunto la deviazione standard del campione, mentre il parametro  $u$  è calcolato come segue:

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

essendo  $h_m$  la media campionaria.

A questo punto è necessario verificare la bontà dell’adattamento della funzione riportando i punti sul cartogramma probabilistico di Gumbel. Per fare questo, si utilizza preliminarmente il metodo della Plotting Position, che prevede di ordinare i dati di precipitazione in senso crescente dal più piccolo al più grande, numerandoli in ordine da 1 a  $N$  (nel nostro caso  $N=26$ , Tabella 3.1). Mediante questa operazione 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  $\alpha$  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). Questa è una prima verifica speditiva dell’adattamento della funzione scelta e, come si vede ad esempio per una durata di pioggia di 30 minuti (Figura 3.8), tutti i valori plottati seguono discretamente l’equazione determinata analiticamente.

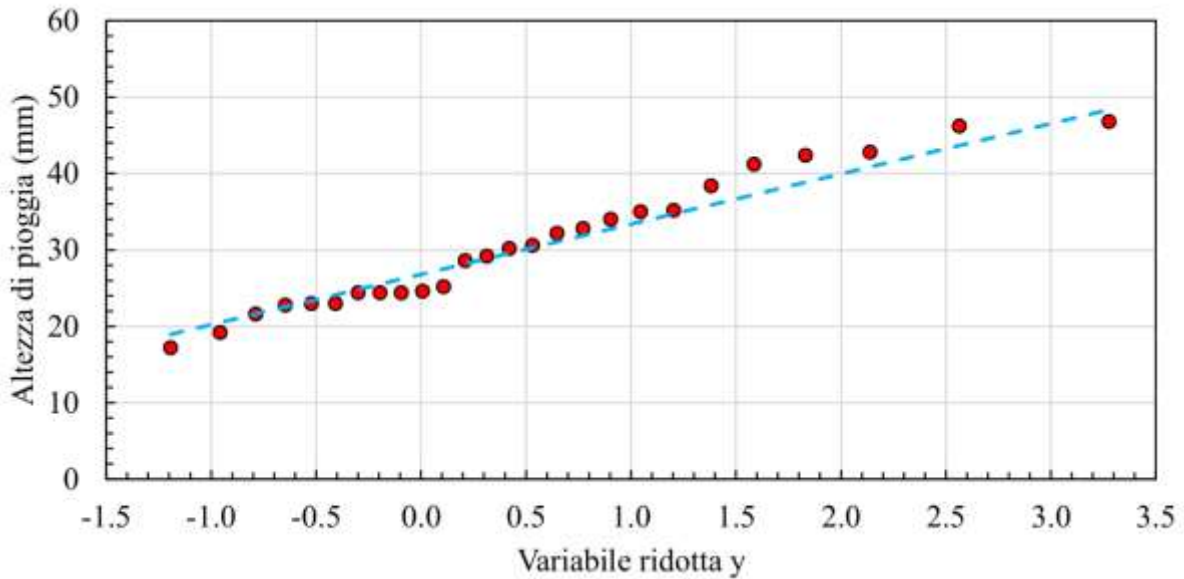


Figura 3.8. Cartogramma di Gumbel (Plotting Position Weibull) per i valori massimi annuali di precipitazione con durata di 30 minuti.

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  $E(\gamma)$ , in valore assoluto, meno del doppio dello scarto quadratico medio  $\sigma(\gamma)$ .

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

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

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

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

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

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

<b>N</b>	10	20	30	40	50	60	70	80	90
<b><math>E(\gamma)</math></b>	0,525	0,74	0,841	0,898	0,937	0,964	0,986	1,002	1,015
<b><math>\sigma(\gamma)</math></b>	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 Malo (VI).

<b>Durata (minuti)</b>	<b>h calcolata (mm)</b>				
	<b>TR = 2 anni</b>	<b>TR = 5 anni</b>	<b>TR = 10 anni</b>	<b>TR = 30 anni</b>	<b>TR = 50 anni</b>
<b>5</b>	10.26	12.52	14.02	16.28	17.31
<b>10</b>	15.17	18.68	21.00	24.51	26.11
<b>15</b>	19.06	23.60	26.60	31.13	33.21
<b>30</b>	28.17	35.20	39.85	46.87	50.09
<b>45</b>	35.40	44.48	50.48	59.55	63.70
<b>60</b>	41.63	52.50	59.70	70.57	75.54

### 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 la Figura 3.9 in cui sono rappresentati i punti corrispondenti al TR= 10 anni), si ricava l'equazione della retta:  $H = A + nT$  e da questa i corrispondenti valori di  $a$  e  $n$ .

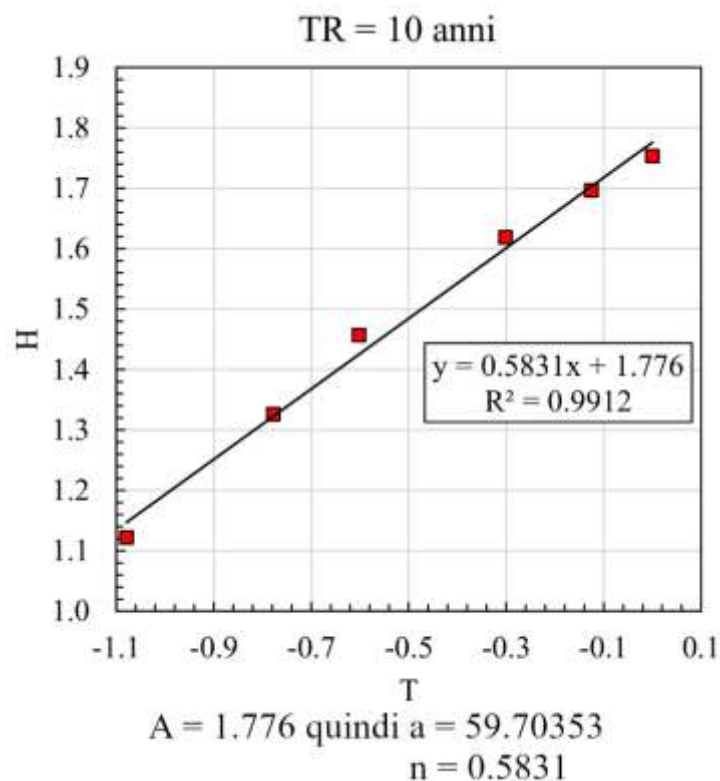


Figura 3.9. Relazione tra  $T$  e  $H$  per Tempo di Ritorno di 10 anni.

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)	LSPP	
	$a$	$n$
2	41.63	0.5635
5	52.50	0.5769
10	59.70	0.5831
30	70.57	0.5903
50	75.54	0.5929



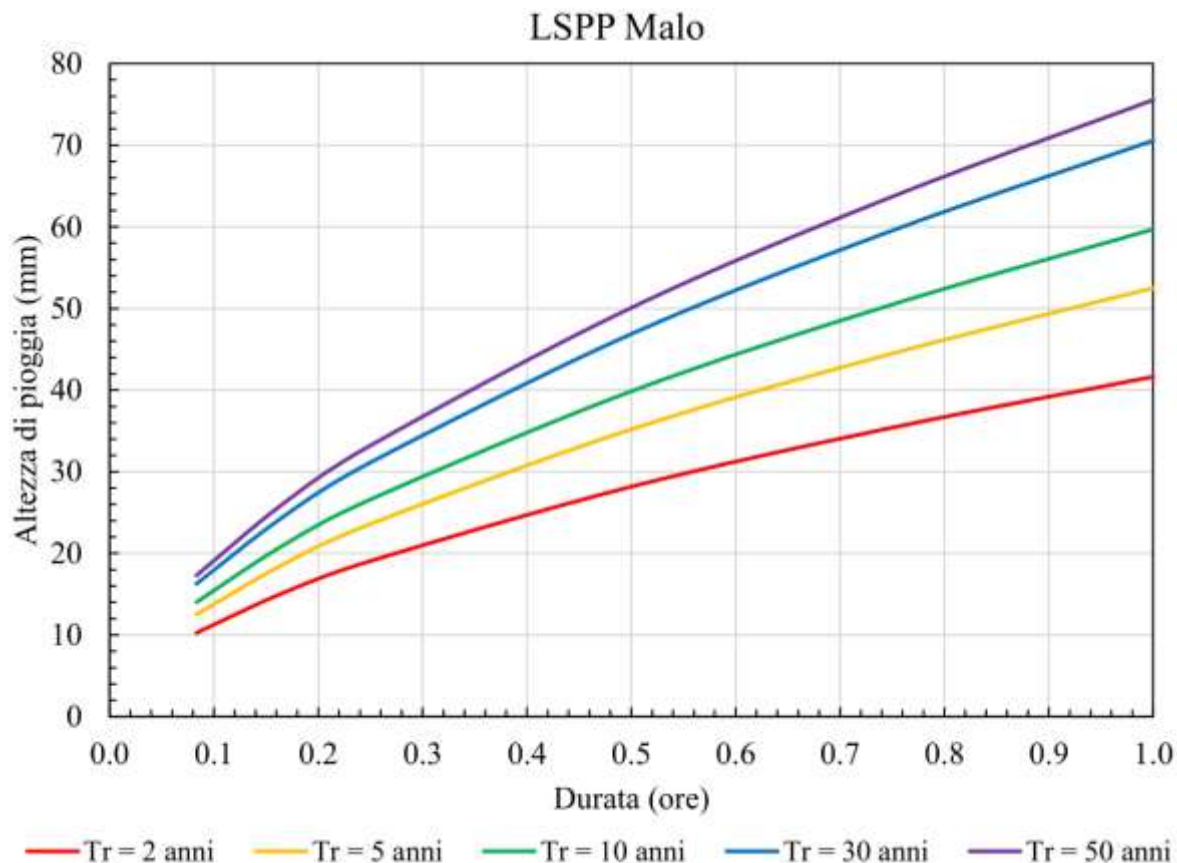


Figura 3.10. Linee Segnatrici di Possibilità Pluviometrica calcolate utilizzando la distribuzione di Gumbel.

### 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.

Due scavi di sondaggio sono stati eseguiti, con mezzo meccanico, dagli operai del Comune di Marano Vicentino, il giorno 22 maggio 2019 e hanno interessato: una porzione di terreno del giardino delle scuole medie in cui verrà rimodellato il terreno e scavato un rain garden (Figura 7.14, Allegato 7.1), e una porzione di terreno nel piazzale in ghiaia posto a nord della scuola elementare (Figura 7.15, Allegato 7.1). Entrambi gli scavi hanno 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 i due sondaggi sono stati prelevati 3 campioni di terreno ciascuno, lungo la verticale dello scavo stesso (Figura 7.14 e Figura 7.16, Allegato 7.1) in corrispondenza dei seguenti punti:

- alla base dello scavo, ad una profondità di 1,5 m (nome campione: **MM15** (scuola media) e **ME15** (scuola elementare); (Figura 7.14 e Figura 7.16, Allegato 7.1);
- a una profondità di 1 m (nome campione: **MM10** (scuola media) e **ME10** (scuola elementare); (Figura 7.14 e Figura 7.16, Allegato 7.1);
- a una profondità di 0,5 m (nome campione: **MM05** (scuola media) e **ME05** (scuola elementare); (Figura 7.14 e Figura 7.16, 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 e i risultati sono riportati in Figura 3.11 e in Tabella 3.5. Come si può notare, tutti i campioni prelevati nel prato della scuola media (Figura 3.11a) ricadono nella classe di suolo "argilloso-sabbioso" (AS); mentre, per quanto riguarda il piazzale della scuola elementare, i campioni più superficiali (ME05 e ME10 in Figura 3.11b) si posizionano nella classe di suolo "sabbioso-argilloso" (SA) e il campione più profondo (ME15 in Figura 3.11b), avendo una maggiore percentuale di sabbia (Tabella 3.5), ricade nella classe di suolo "sabbioso" (S). Tutti gli strati sono caratterizzati da un medio-alto contenuto di scheletro (sempre superiore al 50%, Tabella 3.5), dimostrando quindi un buon potere drenante.

*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 (%)
MM05	22/05/2019	27.4	19.4	53.2	57.5
MM10	22/05/2019	25.4	17.4	57.2	47.0
MM15	22/05/2019	23.4	15.4	61.2	54.0
ME05	22/05/2019	17.4	15.4	67.2	67.5
ME10	22/05/2019	17.4	17.4	65.2	62.9
ME15	22/05/2019	13.4	11.4	75.2	66.0

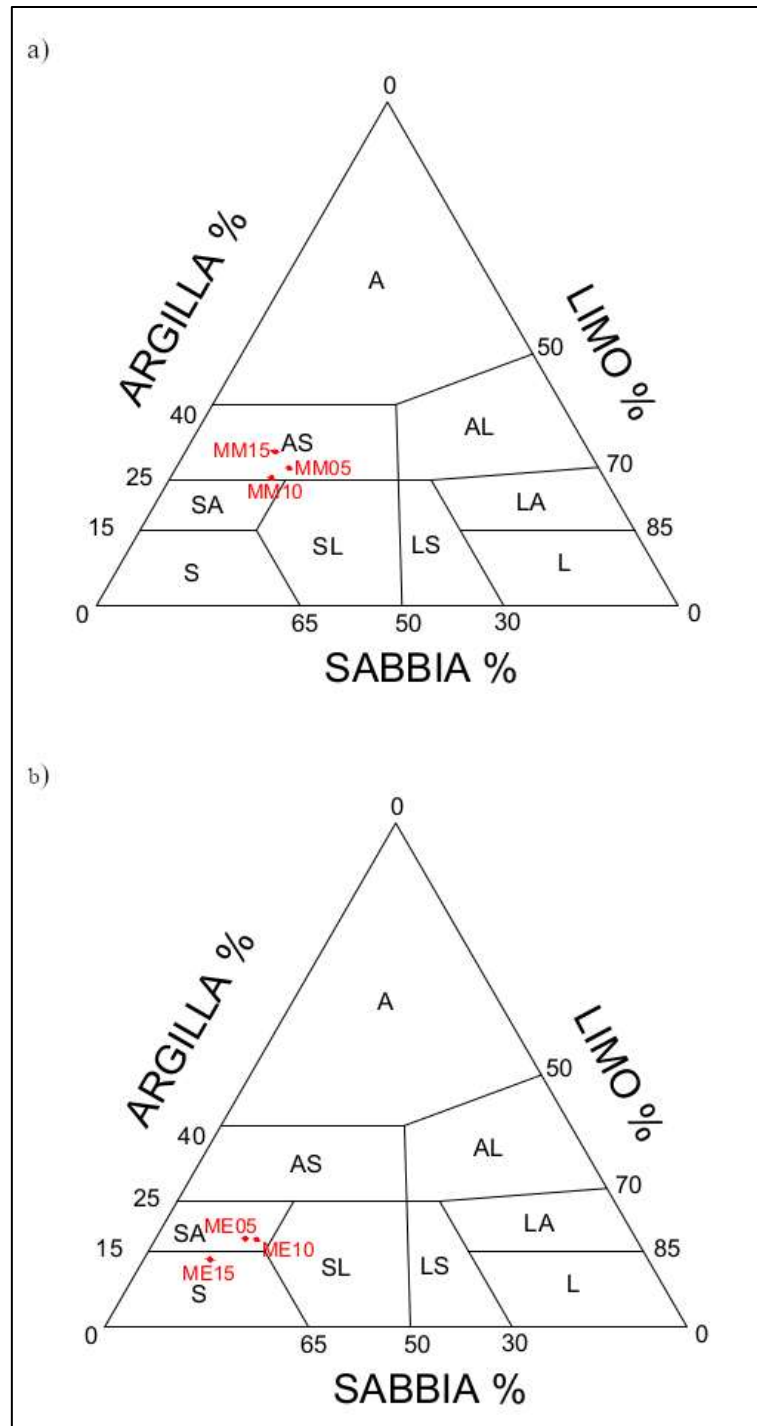


Figura 3.11: Diagramma ternario per la definizione delle classi tessiturali con il metodo della ISSS (Società Internazionale della Scienza del Suolo). In rosso sono evidenziati i punti corrispondenti ai rilievi effettuati presso le scuole di Marino Vicentino: a) prato scuole medie; b) piazzale scuole elementari.

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 satura,  $K_{sat}$ , è il reciproco, o inverso, della resistenza della matrice del suolo al flusso di acqua;  $\frac{dH}{dz}$  è il gradiente idraulico che determina il movimento dell'acqua nel suolo. La conducibilità idrica in condizioni di saturazione ha il pregio di essere costante, mentre in condizioni di non-saturazione del suolo, dipende fortemente (in misura direttamente proporzionale) dal contenuto idrico. La  $K_{sat}$  dipende principalmente dalle dimensioni e dalla distribuzione dei pori ed è molto influenzata anche dalla percentuale di scheletro presente (particelle superiori ai 2 mm di diametro).

Con riferimento ai campionamenti ottenuti (Tabella 3.5) e tenuto conto di un'indagine a livello regionale (ARPAV, 2011) che ha indicato come accettabili i valori di  $K_{sat}$  che si possono ottenere con la pedofunzione di trasferimento (PTF) messa a punto da (Saxton, Rawls, Romberger, & Papendick, 1986), si è stimato un valore medio di  $K_{sat}$  (suolo tipo 'sandy loam' prossimo alla saturazione) molto prossimo a  $10^{-4}$  m/s anche in accordo a quanto trovato da (Marchetto & Marchetto, 2010); 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 campionata (Fig. 3.11).

## 4 Dimensionamento idrologico-idraulico

### 4.1 Descrizione delle opere verdi

Il progetto di sistemazione delle scuole di Marano Vicentino servirà per una più adeguata gestione dei deflussi e prevede la costruzione di una serie di opere verdi di drenaggio (SUDS) che verranno costruite sia in una parte dell'area verde che circonda la scuola media, sia su parte del piazzale in ghiaia posto a nord del complesso delle scuole elementari.

Gli elementi che verranno costruiti sono: 1) un rain garden, comprendente un più ampio rimodellamento del terreno, dal lato scuole medie (d'ora in avanti denominato RG-SM); 2) un rain garden nel piazzale in ghiaia delle scuole elementari (d'ora in avanti denominato RG-SE); 3) pavimentazione drenante Recycle, su parte del piazzale in ghiaia; 4) tree-lined swale (canale di raccolta alberato), nel giardino delle scuole elementari e 5) fioriera da posizionare sotto ad una delle grondaie della scuola media.

1. Rain garden lato scuole medie (RG-SM): sarà localizzato nella parte S-O del giardino delle scuole medie (Figura 7.8 e Figura 7.9, Allegato 7.1). Questo però non sarà un semplice rain garden, il progetto infatti prevede un modellamento del terreno su una superficie totale di circa 400 m<sup>2</sup>, con una conformazione simile a quella mostrata in Figura 4.1. In particolare, osservando la Tavola EG6.2 (Allegato 7.2), si possono osservare tre aree di scavo caratterizzate da profondità differenti: la zona contornata dalla linea azzurro chiaro (superficie di circa 45 m<sup>2</sup>) prevede una profondità d'invaso di 10 cm, la zona contornata invece dalla linea azzurro scuro (superficie di 67 m<sup>2</sup>) avrà una profondità di 20 cm, mentre l'area centrale, contornata dalla linea blu (superficie di 45 m<sup>2</sup>) avrà una profondità d'invaso di 35 cm rispetto alla quota del terreno. Quest'area centrale, inoltre, sarà un vero e proprio giardino pluviale, infatti al di sotto della zona d'invaso più depressa, è previsto un ulteriore scavo di 60 cm di profondità ove verrà rimosso il terreno attuale che verrà sostituito da suolo ammendato (composto da un 50% di sabbia, un 20% di concime ammendante e un 30% di suolo recuperato dallo scavo). Osservando la Tavola EG6.3.1, si vede dalle sezioni 2 e 3, che è prevista la formazione di un piccolo rilevato nel lato sud dello scavo, che avrà un'altezza di 8-10 cm e servirà per riportarsi alla stessa quota che ha il terreno nel lato nord (vicino all'edificio scolastico), evitando quindi un'eventuale fuoriuscita dell'acqua verso sud (verso le aree di sosta delle biciclette), nel caso l'invaso si riempisse. Anche questo piccolo riporto di terreno, che dai calcoli risulta pari complessivamente ad un volume di 1 m<sup>3</sup>, verrà realizzato utilizzando parte del terreno proveniente dallo scavo. Nel successivo Paragrafo 5 verrà descritta nel dettaglio la vegetazione che verrà messa a dimora in questo primo intervento.
2. Rain garden lato scuole elementari (abbreviato in RG-SE): questo verrà scavato su un lato del piazzale in ghiaia della scuola elementare, vicino al muretto divisorio con il giardino della scuola media (Figura 7.3 e Figura 7.6, Allegato 7.1). L'area di scavo avrà un'estensione di circa 99 m<sup>2</sup> e avrà una forma a spicchio che richiama le linee decorative previste dal progetto di sistemazione

del tetto della scuola elementare dell'Ing. Dario Bettella. Anche in questo caso è prevista una profondità d'invaso di 35 cm e un ulteriore scavo di 0.6 m con cui il terreno attuale verrà rimpiazzato da suolo ammendato (formato come il precedente da 50% di sabbia, 20% di concime ammendante e 30% di suolo proveniente dallo scavo).

3. Pavimentazione drenante "Recycle": questa verrà posata su parte del piazzale in ghiaia della scuola elementare (Figura 7.4 e Figura 7.5, Allegato 7.1). Come si può osservare dalla planimetria EG6.2 (Allegato 7.2), la superficie ricoperta da Recycle sarà di circa 195 m<sup>2</sup> e verrà posizionata come prosecuzione di una striscia di pavimentazione attualmente già esistente che si interrompe davanti all'ingresso posteriore dell'edificio (Figura 7.4, Allegato 7.1). La nuova pavimentazione proseguirà con una forma a "U", passando in mezzo tra il rain garden (RG-SE) descritto sopra e una nuova aiuola decorativa che verrà posizionata nel lato che si affaccia verso il centro del piazzale; questa aiuola avrà un aspetto estetico che richiamerà quello del rain garden, ma non avrà nessun sottofondo drenante, per cui non è previsto nessuno scavo per la sua messa a dimora. Dopo essere passata tra il rain garden e l'aiuola, la striscia di pavimentazione drenante proseguirà in direzione O, fiancheggiando il prato fino a raggiungere il muretto di confine. Per un ottimale funzionamento della pavimentazione drenante è previsto uno scavo di terreno fino ad una profondità di 0.7 m, per permettere la posa di diversi strati di materiale caratterizzati da capacità drenanti molto superiori rispetto al terreno naturalmente presente. In particolare quindi, lo scavo verrà riempito, partendo dal fondo, con i seguenti strati drenanti: 16 cm di sabbia di fiume o cava; 30 cm di ghiaione di fiume lavato (ciottoli stonati poco gradati di diametro 6-8 cm); un primo geotessuto; 10 cm di granulare stabilizzato; un secondo geotessuto; 6 cm di ghiaia di cava. Al di sopra di quest'ultimo strato verranno posati i masselli Recycle, che avranno ciascuno una dimensione di 500x200x110 mm, descritti nel manuale della ditta produttrice (Favaro1) come ideali per la creazione di superfici ciclabili, pedonali e carrabili. La ditta produttrice descrive il massello 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)"*.

Per facilitare la posa della pavimentazione, il disegno è stato eseguito utilizzando linee rette, in modo da evitare di dover tagliare i masselli (il taglio comporterebbe un aumento notevole dei costi) e per questo motivo, la collocazione in cui ricade la striscia di Recycle ha come conseguenza la rimozione del cordolo attualmente presente che delimita il piazzale in ghiaia dalla porzione di prato e la rimozione di uno dei quattro alberi attualmente presenti (Figura 7.7, Allegato 7.1). Per questo motivo, tutta la fascia che si troverà a nord della pavimentazione, sarà ricoperta da prato (compresa un'area di circa 84 m<sup>2</sup> che è ricoperta da ghiaia, allo stato attuale).

4. Fioriera: nel muro perimetrale delle scuole medie (lato sud, direzione scuola elementare), sono presenti diverse grondaie che scendono dal tetto dell'edificio (Figura 7.11, Allegato 7.1). Alcune

di queste scaricano direttamente all'interno di pozzetti perdenti appositamente predisposti a terra, mentre una in particolare, attualmente, è sprovvista di pozzetto e scarica sul piano campagna, contribuendo ai deflussi sul prato ove è previsto lo scavo del RG-SM (Figura 7.12, Allegato 7.1). Al di sotto di questa grondaia, a scopo sia idraulico che didattico/dimostrativo, è previsto l'inserimento di una fioriera con substrato drenante (Tavola EG6.4, Allegato 7.2). Essa servirà a gestire parte delle acque di pioggia, alleggerendo e purificando il deflusso che verrà scaricato sul piano campagna con tempi di rilascio molto più ritardati, rispetto alla situazione attuale.

5. Tree-line swale (canale di raccolta alberato): a nord della pavimentazione drenante verrà scavato un piccolo tree-line swale, osservabile in planimetria (Tavola EG6.2, Allegato 7.2) e in sezione 8 (Tavola EG6.3.2, Allegato 7.2), che avrà una lunghezza di circa 34 m. Esso avrà una larghezza di 2 m e una morfologia a "corda molle" con una profondità lungo l'asse centrale di circa 15 cm. All'interno di questa depressione verranno messi a dimora 5 alberi di specie "Fraxinus oxycarpa", posizionati ad un'interdistanza di 6 m.



Figura 4.1: Esempio di modellamento del terreno simile a quello previsto nel lato S-O delle scuole medie.

## 4.2 Dimensionamento e verifica idrologico-idraulica delle NWRM

La progettazione delle NWRM si articola nei seguenti tre punti di analisi tecnica:

1. Condizioni di massimo afflusso idrico dal quale il sistema può essere interessato.



2. Verifica dell'efficienza del sistema per diverse situazioni di esercizio previste durante la sua vita nominale.

#### 4.2.1 Afflusso massimo atteso ed efficienza del sistema RG-SM

Per la verifica idraulica delle opere in progetto, è stata fatta un'analisi suddivisa in due parti: prima di tutto è stato calcolato il volume gestibile dal rain garden RG-SM; successivamente è stata verificata l'efficacia del RG-SE e della pavimentazione Recycle, comprendendo in questo calcolo anche l'eventuale volume d'acqua scaricato dal tubo di troppo pieno proveniente dal RG-SM e che scarica nel RG-SE (tubo in PVC visibile in Tavola EG6.2 e in sezione 5, Tavola EG6.3.2, Allegato 7.2).



Figura 4.2: Le due superfici utilizzate per il dimensionamento delle opere verdi. L'area in azzurro genera i deflussi che saranno gestiti da RG-SE, pavimentazione Recycle e Tree-lined swale; l'area in arancio genera invece i deflussi che saranno gestiti dal RG-SM e dalla fioriera.

Per quanto riguarda **RG-SM**, quale superficie drenante da cui arriva il deflusso entrante della NWRM, è stato utilizzato il tetto della scuola media (area in arancio, Figura 4.2), che ha un'estensione di 1080 m<sup>2</sup>. Essendo questa una superficie praticamente impermeabile, nei calcoli si è utilizzato un coefficiente di deflusso pari a 0.95. La posizione del rain garden e in generale della zona destinata all'invaso è stata



scelta appositamente per avere la sicurezza di intercettare le acque che defluiscono dal tetto della scuola media e che andrebbero a concentrarsi in direzione sud, proprio verso l'ingresso della scuola elementare.

Per verificare l'efficienza idrologico-idraulica del sistema, sono stati utilizzati i dati di pioggia presentati nell'analisi del Paragrafo 3.3 e tale verifica è stata condotta attraverso un bilancio cumulato nel tempo fra il volume d'acqua potenzialmente entrante al perdurare della precipitazione,  $Ve(t)$ , e quello gestito dal sistema  $Vg(t)$ .

Le due quantità si calcolano come segue:

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

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:

$$Vg(t) = (Vsup + Vstor) + Vinf(t)$$

le tre component di  $Vg$  indicate sopra sono le seguenti:

- $Vsup$ : 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 prevede le tre diverse profondità d'invaso descritte nel precedente paragrafo che risultano in una media pesata di 0.21 m 'utili come invaso' che si estendono su di una superficie totale pari a 158 m<sup>2</sup>;  $Vsup = 0.21 \times 158 = 33.9 \text{ m}^3$ .
- $Vstor$ : il volume che viene invasato per riempimento dei vuoti della parte drenante di suolo adeguatamente ammendato e preparato; per questo calcolo si è tenuto conto solamente dell'area del rain garden, ossia l'unica che prevede la posa di uno strato di suolo ammendato; questo strato drenante ha uno spessore complessivo  $SD$  di 0.60 m; assumendo una porosità media ( $n$ ) dello strato del 35%, il massimo volume d'acqua invasabile risulta:  $Vstor = SD \times AS \times n = 0.6 \times 45.3 \times 0.35 = 9.5 \text{ m}^3$  (valore di  $AS$  arrotondato cautelativamente per difetto). La somma di  $Vsup$  e di  $Vstor$  può anche definirsi come una sorta di "volume invaso di base" complessivo reso disponibile dalla conformazione topografica del rain garden e del suo strato drenante.
- $Vinf(t)$ : è il volume idrico che, realizzando un SuDS disperdente nel terreno, va ad infiltrarsi al di sotto e perimetralmente allo strato drenante; la soluzione disperdente è avvallata dalla condizione freaticometrica dell'area della scuola; 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. 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. 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  $t$  = tempo,  $AS = 1080 \text{ m}^2$ ; e le rimanenti variabili espresse nelle opportune unità di misura in modo da fornire il volume in metri cubi).

Con l'applicazione del criterio di verifica idraulica appena descritto, si è quindi determinato quel tempo di precipitazione, denominato tempo critico, per il quale il giardino pluviale entra in una condizione di criticità idraulica, ovverossia il suo invaso superficiale è colmo e deve per forza intervenire, per evitare il traboccamento dell'acqua dal giardino, lo scarico di troppo pieno, che convoglierà il volume in eccesso nel RG-SE.

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.

Da Figura 4.3 a Figura 4.7 sono riportate le curve dell'andamento del volume entrante nel tempo ( $V_e$ , curva blu nelle figure) e del volume gestito ( $V_g$ , linea tratteggiata arancione nelle figure) al perdurare della precipitazione; nei grafici si può apprezzare che quando la prima curva interseca e comincia a posizionarsi al di sopra della seconda si determina proprio il tempo critico ricercato. Sintetizzando i risultati dell'analisi idrologica, si desume che:

- per una precipitazione con  $Tr = 2$  anni, il giardino non va praticamente mai in crisi e la pioggia viene sempre gestita senza l'intervento del dispositivo di troppo pieno;
- per una precipitazione con  $Tr = 5$  anni, il tempo critico si verifica dopo circa 90 minuti e le acque sono recapitate dal tubo di troppo pieno immerse nel RG-SE (Tavola EG6.2, Allegato 7.2) che è stato posizionato nella parte O del giardino, adiacente al muretto divisorio tra le due scuole;
- per una precipitazione con  $Tr = 10$  anni, il tempo critico diminuisce a circa 50 minuti, con un anticipo quindi di 40 minuti rispetto alla situazione precedente, nell'entrata in funzione del troppo pieno;
- per una precipitazione con  $Tr = 30$  anni, il tempo critico si riduce a circa 35 minuti, valore che risulta comunque ancora di buona efficacia vista la severità dell'evento;
- per una precipitazione con  $Tr = 50$  anni, il tempo critico diminuisce a circa 25 minuti, si tratta però di un tempo di ritorno limite, mostrato nella presente relazione come situazione di rischio residuo, infatti un'opera di ritenzione naturale delle acque di questo tipo, non è pensata per gestire deflussi idrici così intensi.

In base ai risultati ottenuti e considerando il miglioramento notevole rispetto alla situazione attuale, la performance attesa per la misura naturale di ritenzione delle acque in progetto risulta molto soddisfacente, anche in relazione ai tempi di ritorno di alluvione/pioggia verificati. Per un quadro sul comportamento complessivo (RG-SM + RG-SE) si rimanda al paragrafo successivo.

Dopo 20-25 anni, si consiglia una riapertura del giardino pluviale in modo da poter sostituire il vecchio substrato drenante con uno nuovo, perché è molto probabile che il dilavamento dei sedimenti fini abbia ostruito i vuoti atti a garantire l'invaso di progetto ( $V_{stor}$ ).

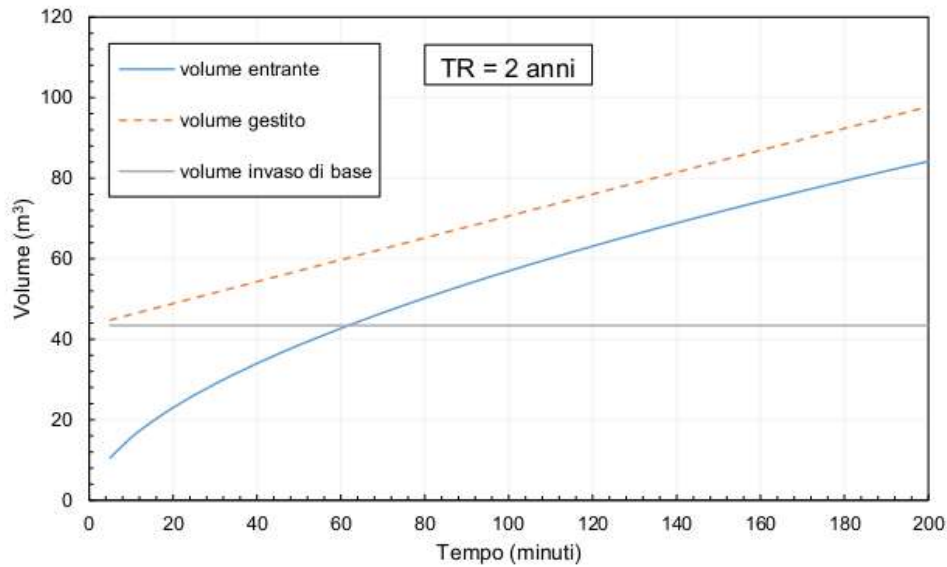


Figura 4.3. Volumi di deflusso entrante nel RG-SM e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV del Comune di Malo per tempo di ritorno  $Tr=2$  anni.

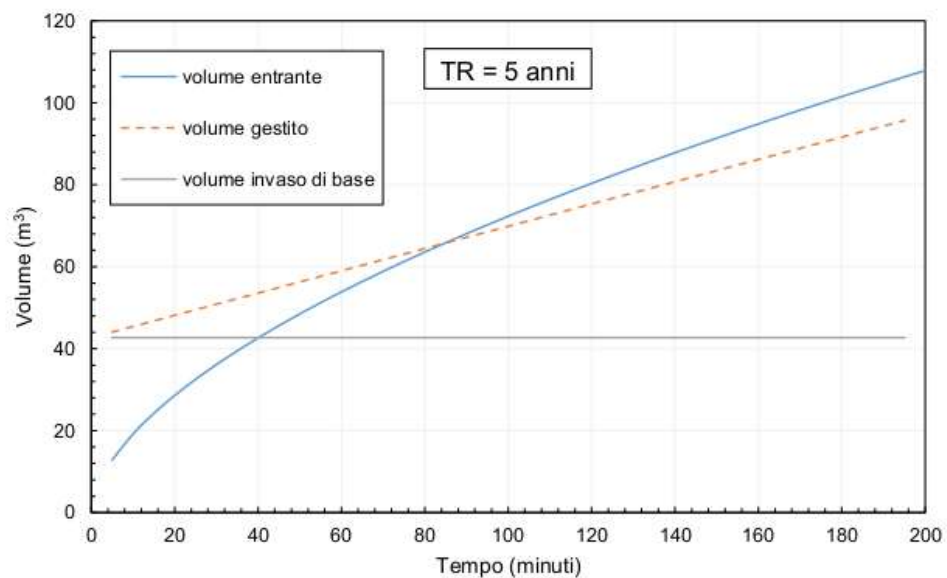


Figura 4.4. Volumi di deflusso entrante nel RG-SM e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV del Comune di Malo per tempo di ritorno  $Tr=5$  anni.

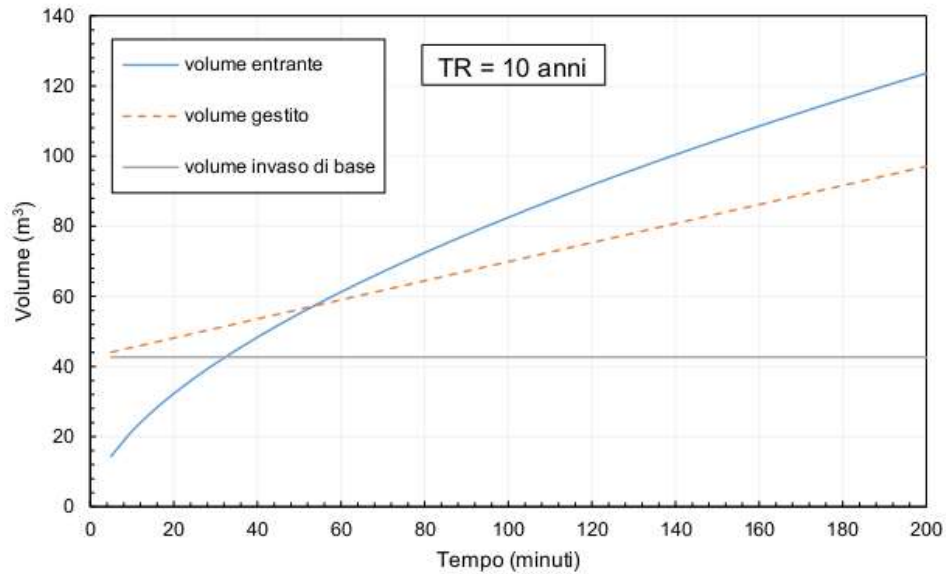


Figura 4.5. Volumi di deflusso entrante nel RG-SM e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV del Comune di Malo per tempo di ritorno  $Tr=10$  anni.

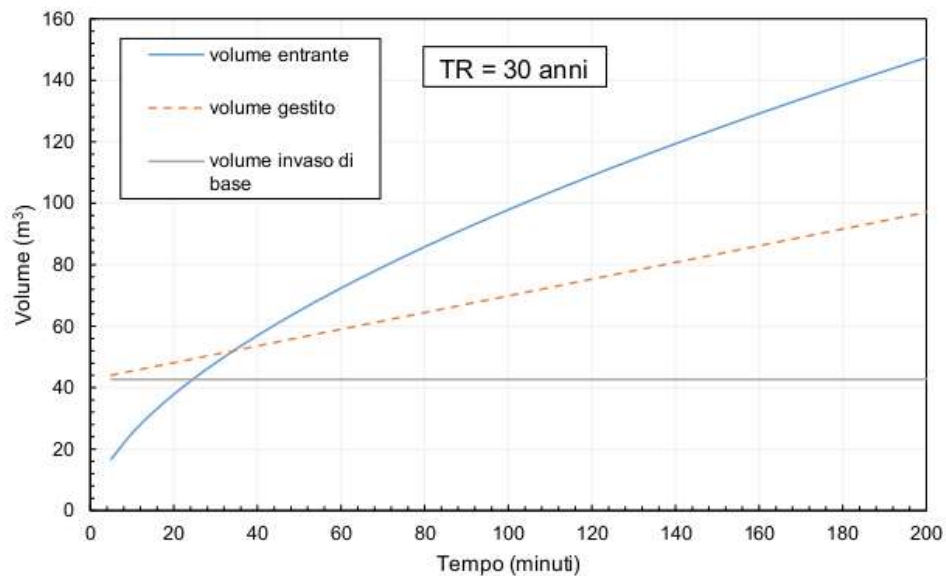


Figura 4.6. Volumi di deflusso entrante nel RG-SM e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV del Comune di Malo per tempo di ritorno  $Tr=30$  anni.

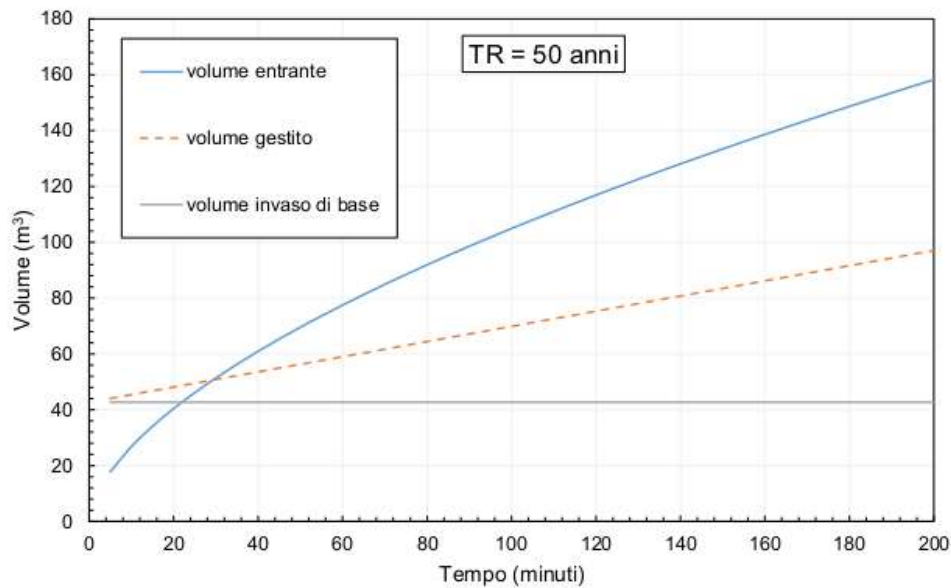


Figura 4.7. Volumi di deflusso entrante nel RG-SM e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV del Comune di Malo per tempo di ritorno  $Tr = 50$  anni.

#### 4.2.2 Afflusso massimo atteso ed efficienza del sistema RG-SE e pavimentazione drenante

Il sistema di drenaggio previsto nel piazzale della scuola elementare è composto da una superficie ricoperta da pavimentazione drenante Recycle e da un secondo rain garden (RG-SE). Questo sistema è stato progettato per gestire l'afflusso idrico proveniente sia dal prato posto a nord del piazzale, comprendendo anche una porzione della pista di atletica adiacente (area in azzurro, Figura 4.2), sia dalla porzione centrale del piazzale in ghiaia stesso, per una superficie totale pari a  $2670 \text{ m}^2$ . Inoltre, poiché il troppo pieno del RG-SM scaricherà direttamente in questo rain garden, i calcoli hanno tenuto conto anche di questo surplus di volume d'acqua (tubo in PVC visibile in Tavola EG6.2 e in sezione 5, Tavola EG6.3.2, Allegato 7.2).

In questo caso, essendo l'area da cui proviene il deflusso, ricoperta in parte da erba, in parte da ghiaia e in parte da cemento, si è utilizzato un coefficiente di deflusso pari a 0.70.

Come per il precedente rain garden, anche in questo caso sono stati utilizzati i dati di pioggia presentati nell'analisi del Paragrafo 3.3 e tale verifica 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 sono state calcolate come nel precedente Paragrafo 4.2.1.

Le tre component di  $V_g$  in questo caso sono le seguenti:

- $V_{sup}$ : il volume massimo che può essere invasato in superficie dal rain garden fino al suo massimo riempimento; nel caso specifico il sistema prevede il rain garden con una profondità d'invaso di 35 cm e la pavimentazione drenante che invece ha un invasato di superficie trascurabile, risulta

quindi una media pesata di 0.12 m 'utili come invaso' che si estendono su di una superficie totale pari a 294 m<sup>2</sup>;  $V_{sup} = 0.12 \times 294 = 34.6 \text{ m}^3$ .

- $V_{stor}$ : il volume che viene invasato per riempimento dei vuoti della parte drenante di suolo adeguatamente ammendato e preparato nel rain garden, e negli strati di suolo drenanti previsti sotto alla pavimentazione; per questo calcolo si è tenuto conto dell'area complessiva di rain garden e Recycle; questo strato drenante ha uno spessore complessivo ottenuto come media pesata pari a 0.67 m; assumendo una porosità media ( $n$ ) dello strato del 35%, il massimo volume d'acqua invasabile risulta:  $V_{stor} = SD \times AS \times n = 0.67 \times 294 \times 0.35 = 68.6 \text{ m}^3$ . La somma di  $V_{sup}$  e di  $V_{stor}$  può anche definirsi come una sorta di "volume invaso di base" complessivo reso disponibile dalla conformazione topografica del rain garden e del suo strato drenante.
- $V_{inf}(t)$ : è il volume idrico che, se si costruisce come nel caso in esame un SuDS disperdente nel terreno, va ad infiltrarsi al di sotto e perimetralmente alla strato drenante; la soluzione disperdente è avvallata dalla condizione freaticometrica dell'area della scuola; 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; 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 le tre 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. Sulla base di questi sondaggi si è attribuito (valori di letteratura corroborati anche dalla formula di Hazen) un valore di  $K_{sat} = 10^{-4} \text{ m/s}$ ; il volume infiltrato risulta quindi:  $V_{inf}(t) = K_{sat} \times AS \times t$  (con  $AS = 2670 \text{ m}^2$ ; e le rimanenti variabili espresse nelle opportune unità di misura in modo da fornire il volume in metri cubi).

Con l'applicazione del criterio di verifica idraulica appena descritto, si è quindi determinato anche in questo caso quel tempo di precipitazione, denominato tempo critico, per il quale il giardino pluviale e la pavimentazione drenante entrano in una condizione di criticità idraulica, ovvero sia l'invaso superficiale del giardino pluviale è colmo e la capacità d'infiltrazione non garantisce più il totale smaltimento dei deflussi entranti nel sistema.

Il calcolo è stato sviluppato determinando il tempo critico per differenti scenari di tempo di ritorno ( $T_r$ ) della linea segnalatrice, definiti dai corrispettivi valori dei parametri  $a$  ed  $n$  riportati nella Tabella 3.4 al Paragrafo 3.3.2. Inoltre, come già descritto precedentemente, al volume d'acqua entrante per ruscellamento superficiale sul terreno, è stato aggiunto anche il volume d'acqua entrante dal tubo di troppo pieno del RG-SM. Come si vede da Figura 4.9 con una precipitazione con Tempo di ritorno pari a 5 anni, il troppo pieno entrerà in funzione dopo circa 90 minuti di pioggia, aumentando quindi la quantità d'acqua gestita dal sistema RG-SE e Recycle.

Nelle Figura 4.8-Figura 4.12 sono riportate le curve dell'andamento del volume entrante nel tempo ( $V_e$ ) e del volume gestito ( $V_g$ ) al perdurare della precipitazione. La linea gialla che compare da Figura 4.9 mostra la somma tra il volume idrico entrante direttamente nel sistema e quello immesso dal tubo di

troppo pieno. Sintetizzando i risultati dell'analisi idrologica, si desume che il sistema composto dal RG-SE e dalla pavimentazione drenante, non dovrebbe mai entrare in crisi, garantendo un'ottimale gestione dei deflussi anche con precipitazioni particolarmente severe (i.e.  $Tr = 50$  anni). Quindi, in base ai risultati ottenuti e considerando il miglioramento notevole rispetto alla situazione attuale, la performance della misura naturale di ritenzione delle acque in progetto può essere considerata molto soddisfacente sia in relazione ai tempi di ritorno di alluvione/pioggia verificati ( $Tr = 50$  anni) sia rispetto alla vita nominale dell'intervento.

Dopo 20-25 anni, infatti, si consiglia una sostituzione dei substrati drenanti al di sotto di RG-SE e pavimentazione Recycle perché è molto probabile che il dilavamento dei sedimenti fini abbia ostruito i vuoti atti a garantire l'invaso di progetto ( $V_{stor}$ ).

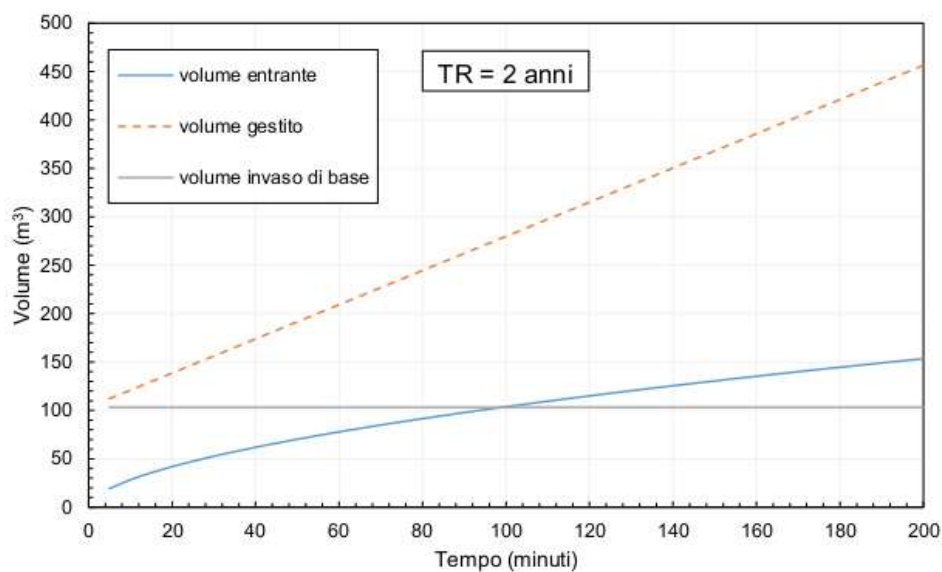


Figura 4.8. Volumi di deflusso entrante nel sistema RG-SE/Recycle e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV del Comune di Malo per tempo di ritorno  $Tr = 2$  anni.

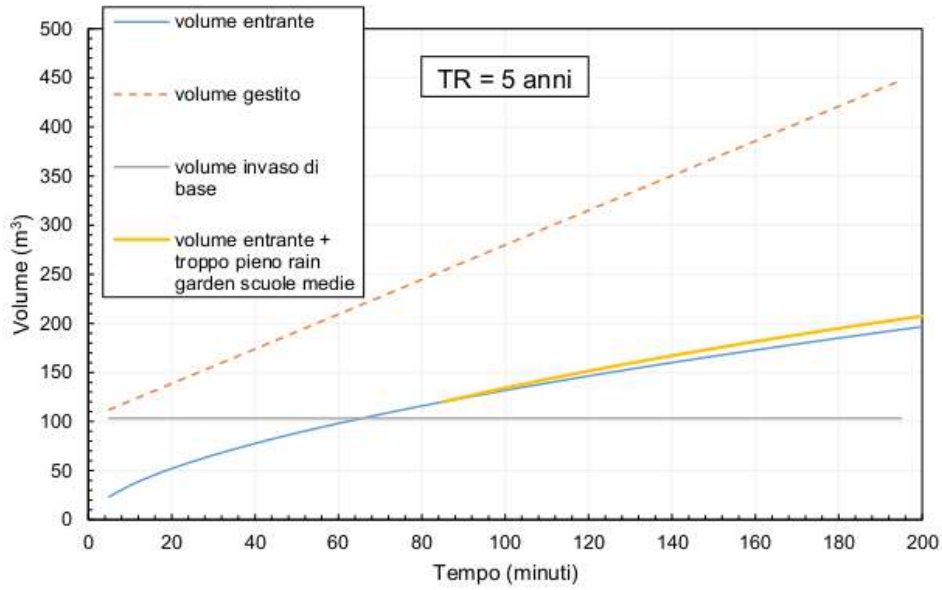


Figura 4.9. Volumi di deflusso entrante nel sistema RG-SE/Recycle e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV del Comune di Malo per tempo di ritorno  $Tr=5$  anni.

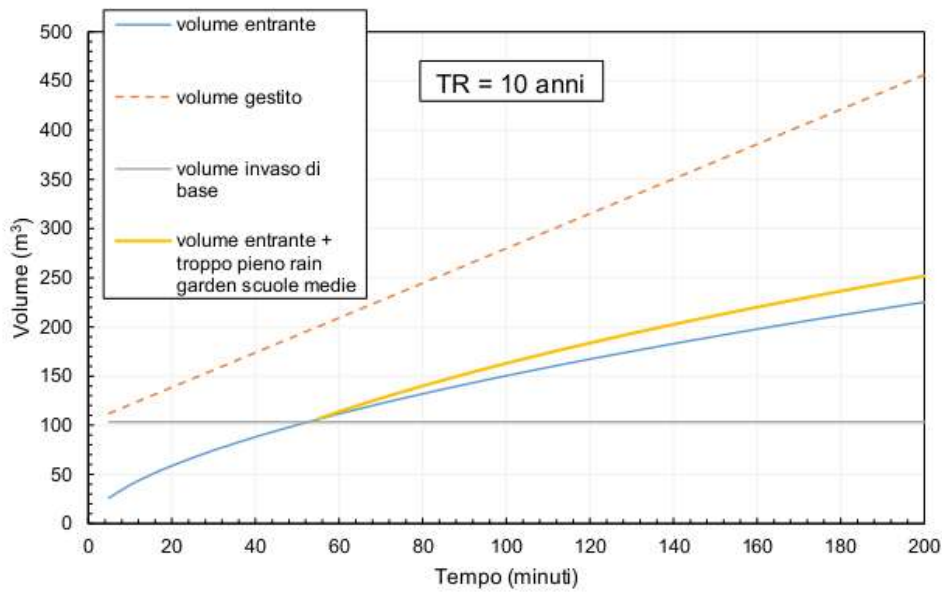


Figura 4.10. Volumi di deflusso entrante nel sistema RG-SE/Recycle e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV del Comune di Malo per tempo di ritorno  $Tr=10$  anni.



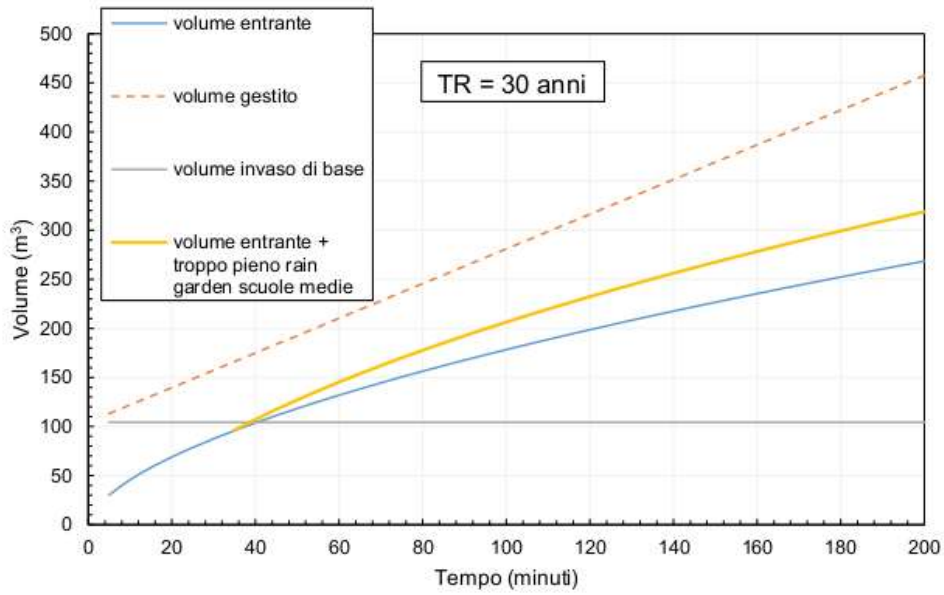


Figura 4.11. Volumi di deflusso entrante nel sistema RG-SE/Recycle e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV del Comune di Malo per tempo di ritorno  $Tr=30$  anni.

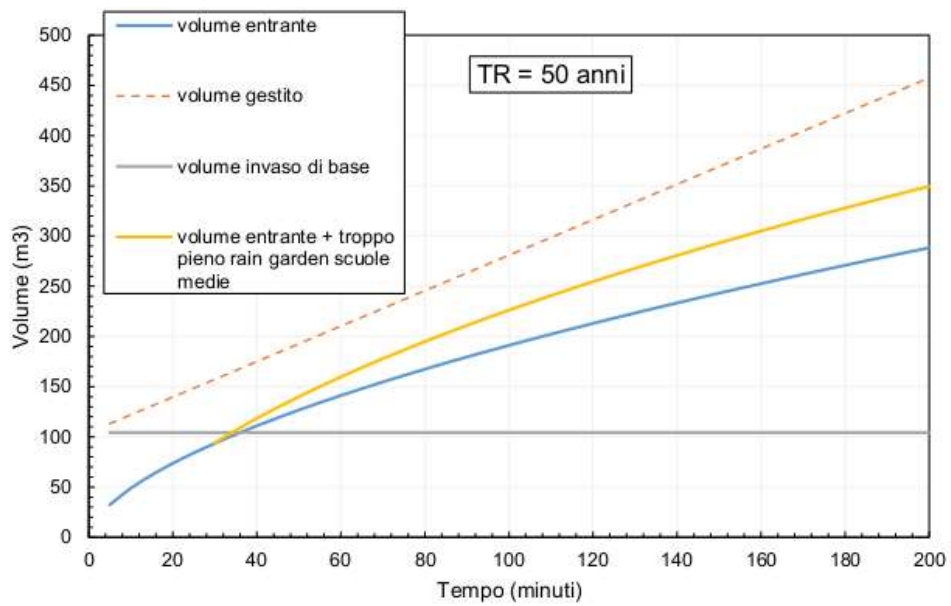


Figura 4.12. Volumi di deflusso entrante nel sistema RG-SE/Recycle e volume idrico gestito al perdurare della precipitazione; comportamenti attesi per la precipitazione cumulata risultante dalla linea segnalatrice di possibilità pluviometrica della stazione ARPAV del Comune di Malo per tempo di ritorno  $Tr=50$  anni.

## 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.

In particolare, per la vegetazione che andrà messa a dimora nel RG-SM, si ricorda che una buona parte della depressione scavata, sarà ricoperta da vegetazione erbacea spontanea (Figura 4.1). Questo faciliterà la manutenzione dell'area, permettendo il normale sfalcio dell'erba utilizzando i macchinari in dotazione al comune. Le piccole aiuole di vegetazione previste invece, visibili nelle tavole EG6.2 e EG6.3.1, dovranno essere prima di tutto sistemate con telo pacciamante, ricoperto da un sottile strato di ghiaio lavato. Per il telo si consiglia di utilizzare il modello Plantex® Pro della Dupont.

Per quanto riguarda le specie vegetali da mettere a dimora all'interno di queste aiuole si consiglia:

- *Spiraea bumalda*: si tratta di un piccolo arbusto resistente alle basse temperature, che da adulto raggiunge circa 1-1.2 m di altezza e 0.8-1 m di larghezza. È un arbusto a foglia caduca con una fioritura di colore rosa che si protrae da giugno a ottobre.
- *Cotoneaster adpressus*: si tratta di un arbusto che raggiunge un'altezza massima di 50 cm e un'espansione laterale di 1.5-2 m. Presenta foglie decidue e fiori bianchi che si trasformano poi in bacche di colore rosso.
- Piante erbacee perenni miste come *Iris*, *Sedum*, etc.... da posizionare come contorno nelle aiuole.

Per il RG-SE e l'adiacente aiuola, si consiglia di predisporre lo stesso telo pacciamante già descritto in precedenza, ricoperto da ghiaio. Come si può osservare in tavola EG6.2, il rain garden e l'aiuola hanno una forma simile tra loro, infatti entrambi saranno suddivisi in tre fasce, ognuna decorata in maniera omogenea al suo interno. Nel rain garden, posto a est rispetto alla pavimentazione Recycle, lo spicchio più interno, adiacente ai due lati della pavimentazione, sarà ricoperto da ghiaio e non è prevista la messa a dimora di piante, ma si consiglia di usare a scopo puramente estetico del ghiaio colorato (ad esempio di colore rosso). La fascia centrale invece, sarà decorata con piante di *Hypericum moserianum*: arbusti

caratterizzati da fiori di colore giallo (periodo di fioritura tra giugno e ottobre), che raggiungono un'altezza massima di 60-70 cm. Per un impianto ottimale si consiglia una densità di 3 piantine per m<sup>2</sup>. La striscia più esterna del rain garden, ossia quella adiacente al muretto tra le due scuole, verrà decorata con *Loropetalum chinense rubrum*, un piccolo arbusto sempreverde, con foglie e fiori di colore rosso (fioritura primaverile). Questo arbusto raggiunge un'altezza massima di 1.5 m e una larghezza di circa 1.5 m.

Per l'aiuola posizionata frontalmente al RG-SE, dal lato opposto rispetto alla pavimentazione Recycle, è prevista la messa a dimora delle stesse specie vegetali, in modo da riprendere l'estetica del rain garden. Quindi, nella fascia più esterna (lato sud) verranno messe a dimora le piante di *Loropetalum*, nella fascia centrale invece, verranno disposte le piante di *Hypericum* e nello spicchio a nord, adiacente all'angolo della pavimentazione, è prevista nuovamente una semplice copertura con ghiaio colorato.

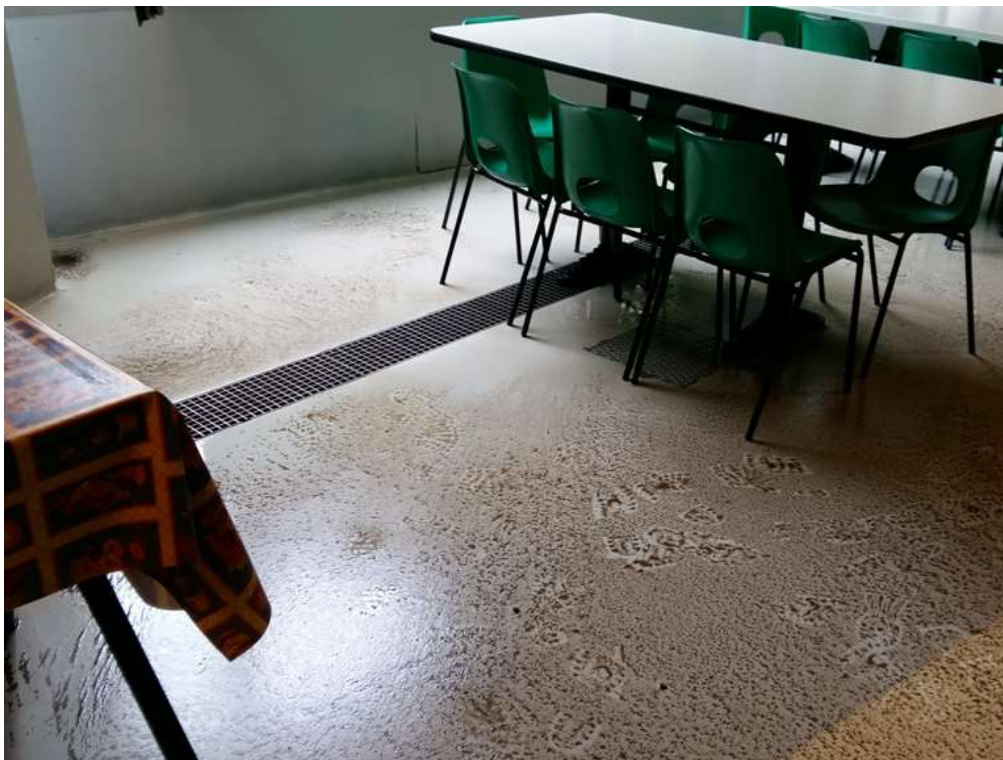
Per quanto riguarda infine il tree-lined swale previsto a nord della pavimentazione Recycle, al suo interno verranno messe a dimora cinque piante di *Fraxinus angustifolia subsp. Oxycarpa*: pianta arborea che raggiunge i 15-20 m di altezza. Questi cinque alberi verranno piantati ad una distanza di circa 6 m l'uno dall'altro, al centro del tree lined swale visibile in sezione S8, Tavola EG6.3.2.

## 6 Bibliografia

- ARPAV. (2011). *Valutazione della permeabilità e del gruppo idrologico dei suoli del Veneto*. Retrieved from  
from  
[http://www.arpa.veneto.it/suolo/docs/documenti/suolo/Relazione\\_permeabilita\\_Gruppo\\_Idrologico\\_giu2011.pdf](http://www.arpa.veneto.it/suolo/docs/documenti/suolo/Relazione_permeabilita_Gruppo_Idrologico_giu2011.pdf)
- CNR-Isac. (2019). 2018 anno più caldo dal 1800 per l'Italia. Retrieved from Nota stampata sul sito CNR website: <https://www.cnr.it/it/nota-stampa/n-8503/cnr-isac-2018-anno-piu-caldo-dal-1800-per-l-italia>
- CNR. (1982). *Gli acquiferi della pianura a nord di Vicenza*.
- Dal Prà, A. (1984). *Carta idrogeologica dell'Alta Pianura Veneto*. Padova, Italy: Grafiche Erredici.
- Favaro1. (n.d.). *Manuale Recycle, pavimentazione drenante porosa*. Via Noalese 79, Zero Branco (TV).
- Marchetto, P., & Marchetto, A. (2010). *Analisi geologiche e idrauliche*. Comune di Marano Vicentino.
- Rinaldo, A., Altissimo, L., Marani, M., Putti, M., Sottani, A., Passadore, G., ... Donato, M. (2004). *Bacino del Bacchiglione: Studi e Ricerche idrologiche finalizzati alla messa a punto di modelli matematici per la tutela e la gestione delle risorse idriche*.
- Saxton, K. E., Rawls, W. J., Romberger, J. S., & Papendick, R. I. (1986). Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture. *Soil Science Society of America Journal*, 50(4), 1031–1036. <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000040054x>
- Trigila, A., Iadanza, C., Bussettini, M., & Lastoria, B. (2018). *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio*. ISPRA, Rapporti 287/2018, Roma.

## 7 Allegati

### 7.1 Documentazione fotografica



*Figura 7.1: Esempio di danno da allagamento documentato nel maggio 2017 nel piano interrato delle scuole elementari di Marano Vicentino.*



*Figura 7.2: Altra documentazione dell'allagamento subito dal piano interrato delle scuole elementari nel maggio 2017.*



*Figura 7.3. Panoramica in direzione N-O del piazzale in ghiaia posto nel cortile posteriore della scuola elementare.*





*Figura 7.4. Vista verso la scuola media, dal piazzale in ghiaia sul retro della scuola elementare. Nel punto in cui si trovano i due operatori è previsto lo scavo del RG-SE, mentre la posa della pavimentazione Recycle proseguirà dalla pavimentazione attualmente già presente, visibile in primo piano in basso.*



*Figura 7.5. Vista in direzione O della pavimentazione attualmente presente da cui proseguirà la posa dei masselli Recycle.*



*Figura 7.6. Zona del piazzale in ghiaia su cui verrà scavato il RG-SE (adiacente al muretto). Nel muretto divisorio tra le due scuole verrà inoltre fatto passare il tubo di troppo pieno che permetterà il deflusso dei volumi idrici in eccesso proveniente dal RG-SM.*



*Figura 7.7: Vista in direzione nord della porzione di piazzale in cui sono previsti gli inserimenti: del RG-SE sulla destra, della pavimentazione Recycle, e dell'aiuola decorativa. Il percorso della pavimentazione Recycle rende necessaria la rimozione dell'albero sulla sinistra (barrato con una croce).*





*Figura 7.8. Vista in direzione N-O della porzione di prato adiacente alla scuola media, su cui è previsto lo scavo delle tre aree d'invaso a diversa profondità (compresa la porzione di RG-SM).*



*Figura 7.9. Vista in direzione S-O della porzione di prato adiacente alla scuola media, su cui è previsto lo scavo delle tre aree d'invaso a diversa profondità (compresa la porzione di RG-SM). Sullo sfondo si possono riconoscere i portabici e l'edificio delle scuole elementari.*



*Figura 7.10. Vista in direzione S-E di parte della porzione di prato adiacente alla scuola media, su cui è previsto lo scavo delle tre aree d'invaso a diversa profondità (compresa la porzione di RG-SM). Si può apprezzare la presenza di quattro alberi, di cui non si è prevista la rimozione.*



*Figura 7.11. Grondaie con sottostanti pozzetti perdenti, posizionate sul muro esterno delle scuole medie, lato S (verso il nuovo RG-SM).*





*Figura 7.12. Grondaia localizzata nel lato S del muro delle scuole medie, sprovvista del sottostante pozzetto. Da progetto è previsto l'inserimento della fioriera al di sotto di questa grondaia.*



*Figura 7.13. Scavo effettuato per l'identificazione del profilo pedologico nell'area del RG-SM.*



Figura 7.14. Profilo pedologico dello scavo RG-SM con riferimento metrico. Profondità di scavo 1,5 m.



Figura 7.15. Inizio lavori di scavo per l'identificazione del profilo pedologico nell'area del RG-SE.



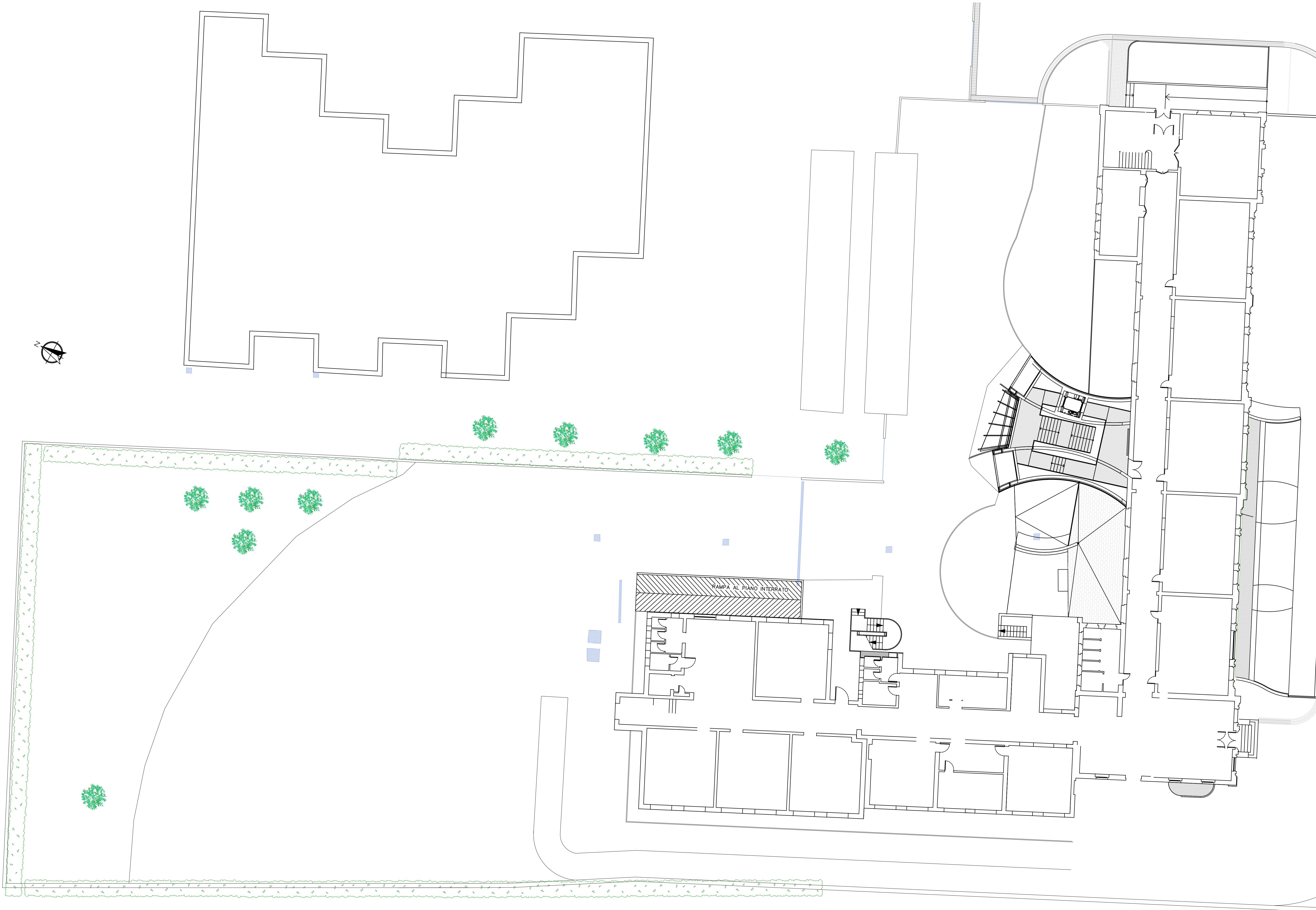


*Figura 7.16. Profilo pedologico dello scavo RG-SE con riferimento metrico. Profondità di scavo 1,5 m.*

## 7.2 Tavole di progetto

- Tavola 6.1 (EG6.1) Planimetria scuole Marano: Stato di fatto
- Tavola 6.2 (EG6.2) Planimetria scuole Marano: Stato di progetto
- Tavola 6.3.1 (EG6.3.1) Sezioni scuole Marano: Stato di progetto
- Tavola 6.3.2 (EG6.3.2) Sezioni scuole Marano: Stato di progetto
- Tavola 6.4 (EG6.4) Scuole Marano: Particolari di progetto





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,  
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 6: Scuola elementare di Marano Vicentino (VI)

DATA  
10 / 05 / 2019  
N. ELABORATO  
EG6.1  
SCALA  
1:150

**TAVOLA 6.1:**  
**Planimetria scuole Marano -**  
**Stato di fatto**

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

Responsabile tecnico del progetto per COMMAR:  
Daniela Golcic  
Collaboratori per COMMAR:

Legenda  
— Caditoie/griglie esistenti  
— Edifici/muretti



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

Intervento 6: Scuola elementare di Marano Vicentino (VI)

DATA  
10 / 05 / 2019

N. ELABORATO  
EG6.2

SCALA  
1:150

**TAVOLA 6.2:**  
**Planimetria scuole Marano -**  
**Stato di progetto**

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

Responsabile tecnico del progetto per COMMAR:  
Daniela Golcic  
Collaboratori per COMMAR:

Legenda

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| — Edifici/muretti            | — Copertura erbacea                           |
| — Opere di progetto          | — Ghiaia rossa                                |
| — Particolari di progetto    | — Suolo ammendato                             |
| — Profondità = 35 cm         | — Sabbia di fiume/cava                        |
| — Profondità = 20 cm         | — Ciottoli stondati poco gradati (D = 6/8 cm) |
| — Profondità = 10 cm         | — Stabilizzato                                |
| — Caditoie/griglie esistenti | — Ghiaia di cava                              |
| — Tubi in PVC                | — Terreno vegetale/ Suolo riportato           |
| — Tubo forato rivestito      | — Area di scavo                               |
| — Geotessuto                 | — Telo pacciamante ricoperto da ghiaia lavato |
| — Telo pacciamante           | — Area di riporto                             |
|                              | ● Alberi esistenti                            |









DIPARTIMENTO TESAF,  
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

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

Intervento 6: Scuola elementare di Marano Vicentino (VI)

DATA  
10 / 05 / 2019

N. ELABORATO  
EG6.3.2

SCALA  
1:100

**TAVOLA 6.3.2:**  
**Sezioni scuole Marano -**  
**Stato di progetto**

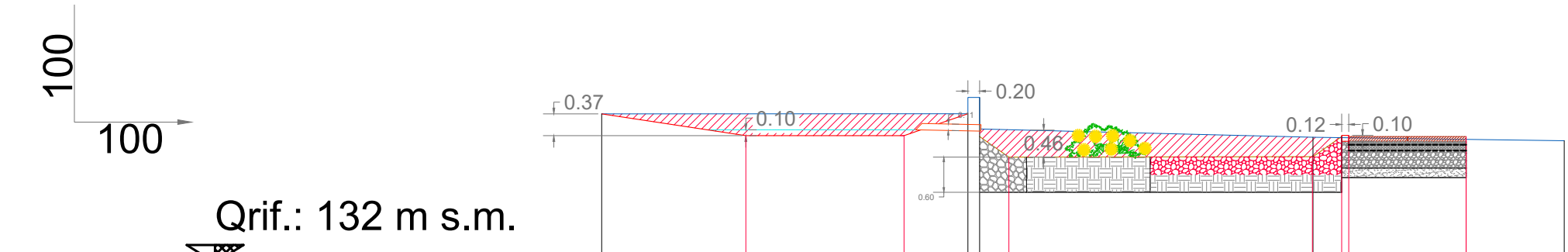
Responsabile tecnico del progetto per TESAF:  
Prof. Vincenzo D'Agostino  
Collaboratori per TESAF:  
Dott. Roberta Pastorello  
Prof. Paolo Semenzato  
Prof. Lucia Bortolini

Responsabile tecnico del progetto per COMMAR:  
Daniela Golcic  
Collaboratori per COMMAR:

**Legenda**

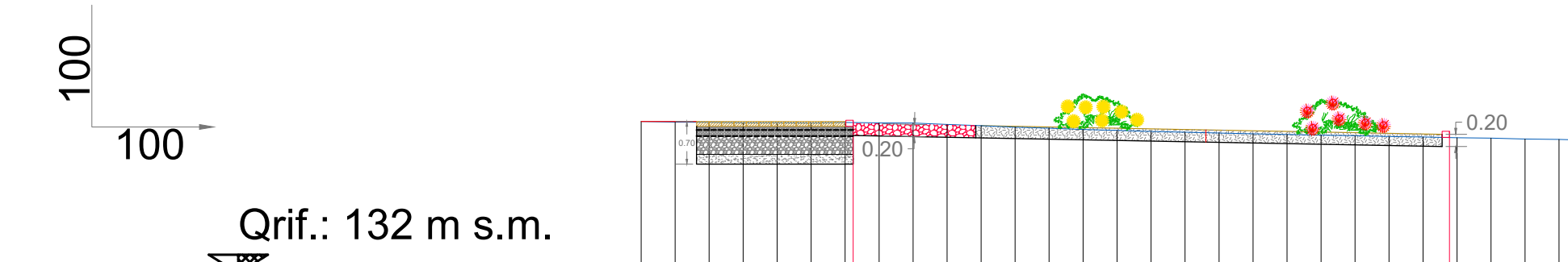
- Edifici/muretti
- Copertura erbacea
- Opere di progetto
- Ghiaia rossa
- Particolari di progetto
- Suolo ammendato
- Profondità = 35 cm
- Sabbia di fiume/cava
- Profondità = 20 cm
- Ciottoli stondati poco gradati (D = 6/8 cm)
- Profondità = 10 cm
- Stabilizzato
- Caditoie/griglie esistenti
- Ghiaia di cava
- Tubi in PVC
- Terreno vegetale/ Suolo riportato
- Tubo forato rivestito
- Area di scavo
- Geotessuto
- Telo pacciamante ricoperto da ghiaia lavato
- Telo pacciamante
- Area di riporto
- Alberi esistenti

**SEZIONE 5**



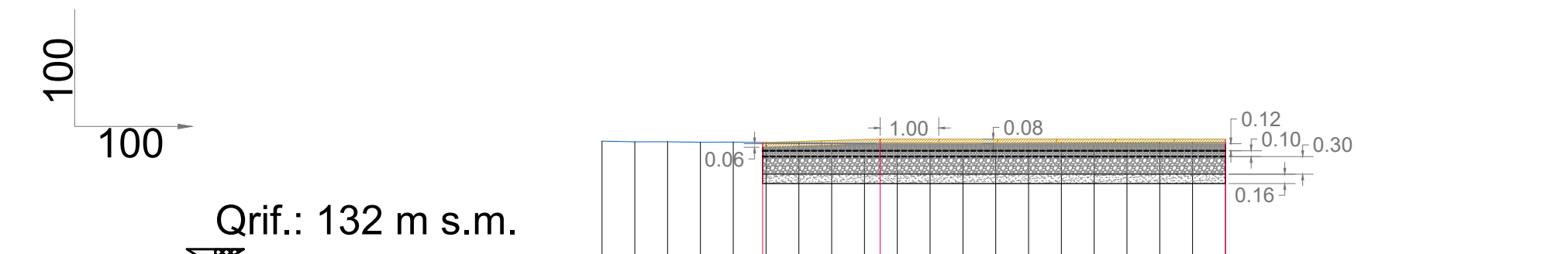
DISTANZE PROGRESSIVE	0.00	6.25	12.14	16.43
DISTANZE PARZIALI		6.25	5.69	4.29
QUOTE STATO DI FATTO	134.54	134.54	134.54 134.54 134.27	134.14 134.13 134.11 134.08
QUOTE STATO DI PROGETTO		134.17	134.17 134.54 133.80	133.80 134.17 134.15

**SEZIONE 7**



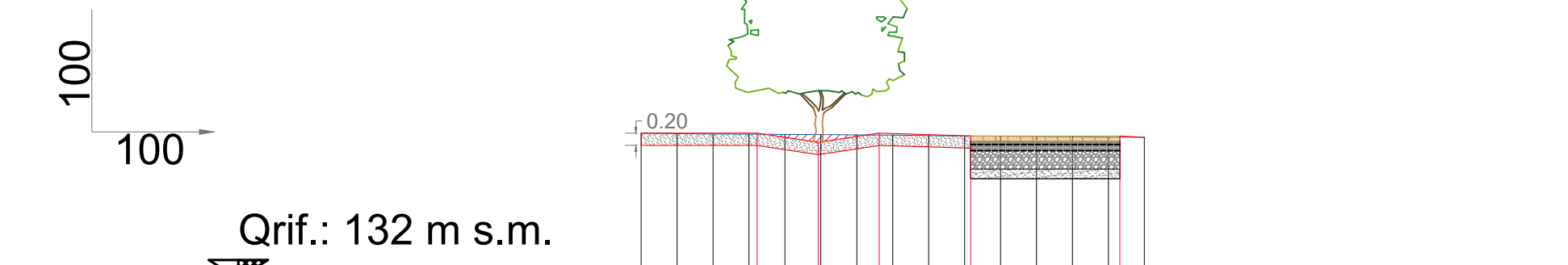
DISTANZE PROGRESSIVE	0.00	0.56	1.11	1.67	2.23	2.78	3.34	3.90	4.46	5.01	5.57	6.13	6.68	7.24	7.80	8.36	8.91	9.47	10.03	10.58	11.14	11.70	12.25	12.81	13.37	13.92	14.48	15.04	15.60
DISTANZE PARZIALI		0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
QUOTE STATO DI FATTO	134.49	134.48	134.47	134.47	134.46	134.47	134.47	134.47	134.46	134.44	134.42	134.40	134.38	134.36	134.34	134.33	134.31	134.30	134.29	134.28	134.27	134.26	134.24	134.24	134.22	134.22	134.20	134.20	134.18
QUOTE STATO DI PROGETTO	134.49					134.51																		134.33			134.18		

**SEZIONE 6**



DISTANZE PROGRESSIVE	0.00	0.56	1.12	1.68	2.24	2.80	3.36	3.92	4.48	5.04	5.60	6.16	6.72	7.28	7.84	8.40	8.96	9.52	10.08	10.64	
DISTANZE PARZIALI		0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	
QUOTE STATO DI FATTO	134.15	134.14	134.14	134.13	134.12	134.12	134.12	134.12	134.11	134.11	134.11	134.11	134.11	134.12	134.12	134.12	134.12	134.12	134.12	134.12	134.13
QUOTE STATO DI PROGETTO				134.12				134.18													134.18

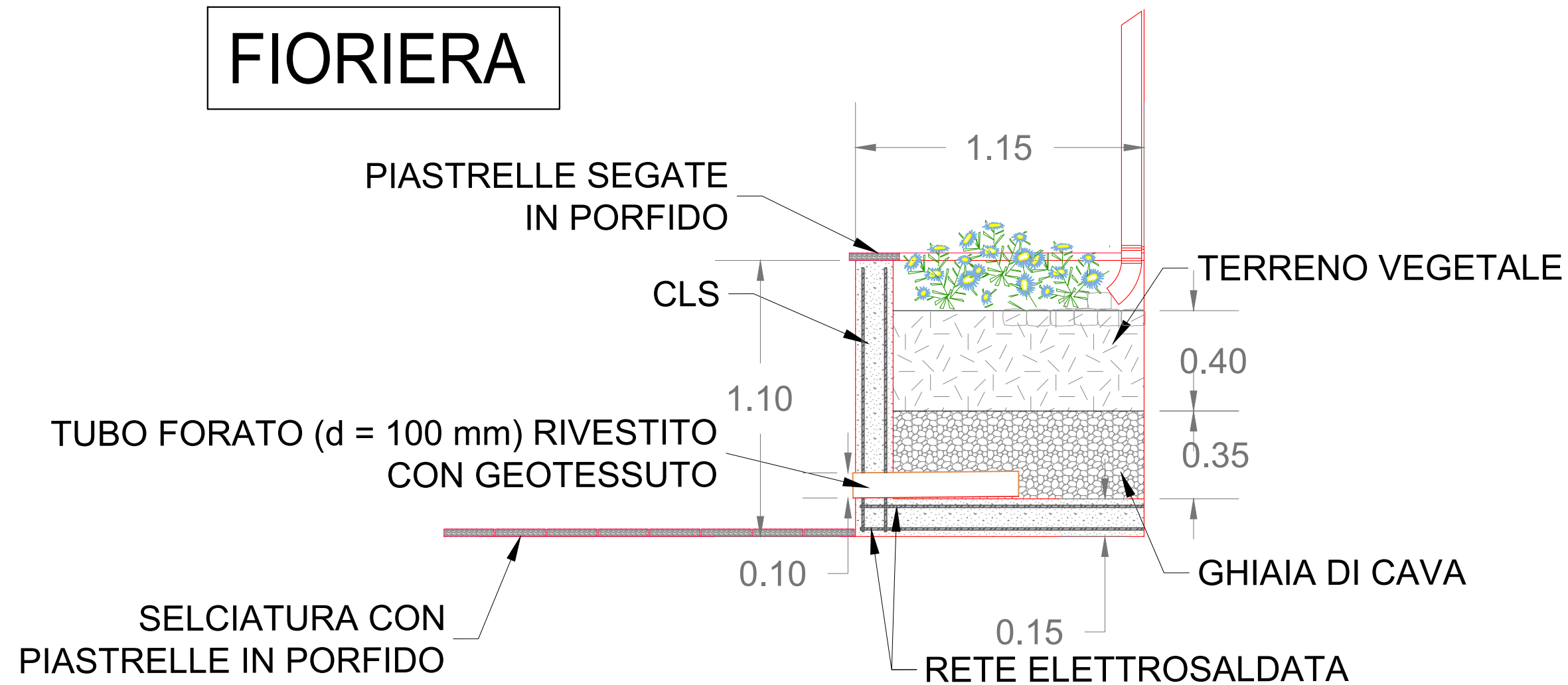
**SEZIONE 8**



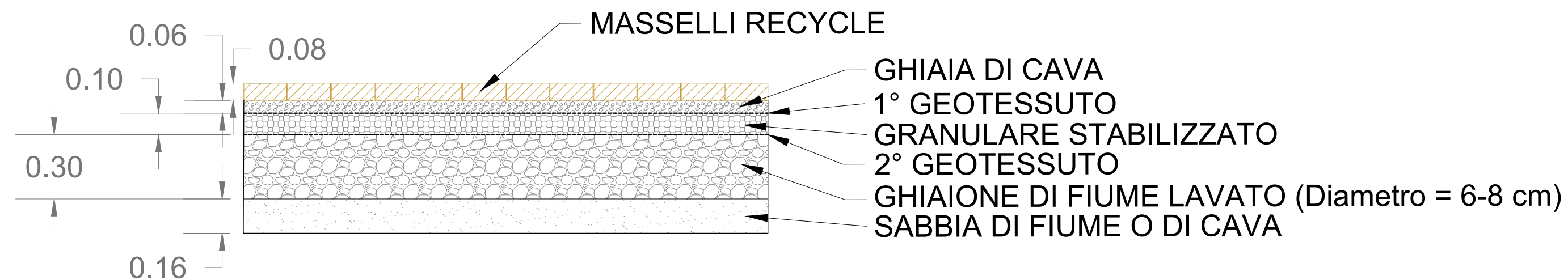
DISTANZE PROGRESSIVE	0.00	0.59	1.18	1.77	2.36	2.94	3.53	4.12	4.71	5.30	5.89	6.48	7.07	7.66	8.24
DISTANZE PARZIALI		0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
QUOTE STATO DI FATTO	134.38	134.37	134.36	134.36	134.36	134.35	134.35	134.34	134.33	134.33	134.33	134.32	134.32	134.31	134.31
QUOTE STATO DI PROGETTO			134.38	134.23		134.38			134.33					134.33	



# FIORIERA



# PAVIMENTAZIONE RECYCLE



Legenda

— Edifici/muretti	Copertura erbacea
— Opere di progetto	Ghiaia rossa
— Particolari di progetto	Suolo ammendato
— Profondità = 35 cm	Sabbia di fiume/cava
— Profondità = 20 cm	Ciottoli stonati poco gradati (D = 6/8 cm)
— Profondità = 10 cm	Stabilizzato
— Caditoie/griglie esistenti	Ghiaia di cava
— Tubi in PVC	Terreno vegetale/ Suolo riportato
— Tubo forato rivestito	Area di scavo
— Geotessuto	Telo pacciamante ricoperto da ghiaino lavato
— Telo pacciamante	Area di riporto
	Alberi esistenti



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 MARANO VICENTINO (VI) UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

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

**Intervento 6: Scuola elementare di Marano Vicentino (VI)**

DATA	10 / 05 / 2019
N. ELABORATO	EG6.4
SCALA	1:20

## TAVOLA 6.4: Scuole Marano - Particolari di progetto

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

Responsabile tecnico del progetto per COMMAR:  
Daniela Golcic  
Collaboratori per COMMAR: