COMUNE DI TRAVAGLIATO

PROVINCIA DI BRESCIA

INTERVENTO
DI AMPLIAMENTO CAPANNONE ESISTENTE
IN VIA BASSANO CREMONESINI, 4.

PROGETTO DI INVARIANZA IDRAULICA

ai sensi del

R.R. 23/11/2017 – N.7

Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)

e del

R.R. 19/04/2019 – N.8

Disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica e idrogeologica.

Modifiche al Regolamento Regionale 23/11/2017 n. 7

COMMITTENTE: ***Artex Di Begni Paolo & C Snc***

GEOLOGO: DOTT. GUIDO TORRESANI
O.G.L. n° 1141

DATA: Maggio 2019

Studio di Geologia e Ambiente dott. GUIDO TORRESANI
25034 – ORZINUOVI (BS) - Via Giordano Bruno, 44
tel/fax 030 4197172 – mail: torresani.geologo@gmail.com
GEOLOGIA AMBIENTALE, IDROGEOLOGIA, GEOTECNICA, GESTIONE CAVE, AUTORIZZAZIONI POZZI

SOMMARIO

1. PREMESSA 3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE.... 4
3. VALUTAZIONE DELLA PERMEABILITA' DEI TERRENI 5
4. PROGETTO DI INVARIANZA IDRAULICA AI SENSI DEL R.R. N.7/2017 e del R.R. n. 8 del 19/04/2019..... 6
4.1 scelte progettuali in relazione ai limiti normativi e ai vincoli idrogeologici per l'area di indagine.....6
4.2. Analisi delle superfici scolanti e determinazione del coefficiente di deflusso medio ponderale 7
4.3. Metodologia di calcolo utilizzata per il dimensionamento del sistema disperdente e calcolo del volume minimo di invaso ai sensi del R.R. 23/11/2017 – N.7 e del R.R. n. 8 del 19/04/2019 10
4.4. Dimensionamento del sistema disperdente delle acque meteoriche (pozzi perdenti).....10
4.5 Installazione e accorgimenti costruttivi per i pozzi perdenti 18
5. CONCLUSIONI 19

ALLEGATI:

- Planimetria di progetto rete acque bianche;
- Risultati prova di permeabilità eseguita K1;

1. PREMESSA

Nell'ambito del progetto di ampliamento capannone esistente in Via Bassano Cremonesini nel Comune di Travagliato (BS), è stato affidato allo scrivente l'incarico di rispondere alle prescrizioni regionali in tema di **invarianza idraulica** in relazione alla necessità di effettuare il corretto dimensionamento del sistema di dispersione delle acque meteoriche.

L'area oggetto della presente indagine è ubicata nel settore Sud dell'abitato di Travagliato. Il lotto si presenta come una superficie pianeggiante ad una quota di ca. 125 metri s.l.m.

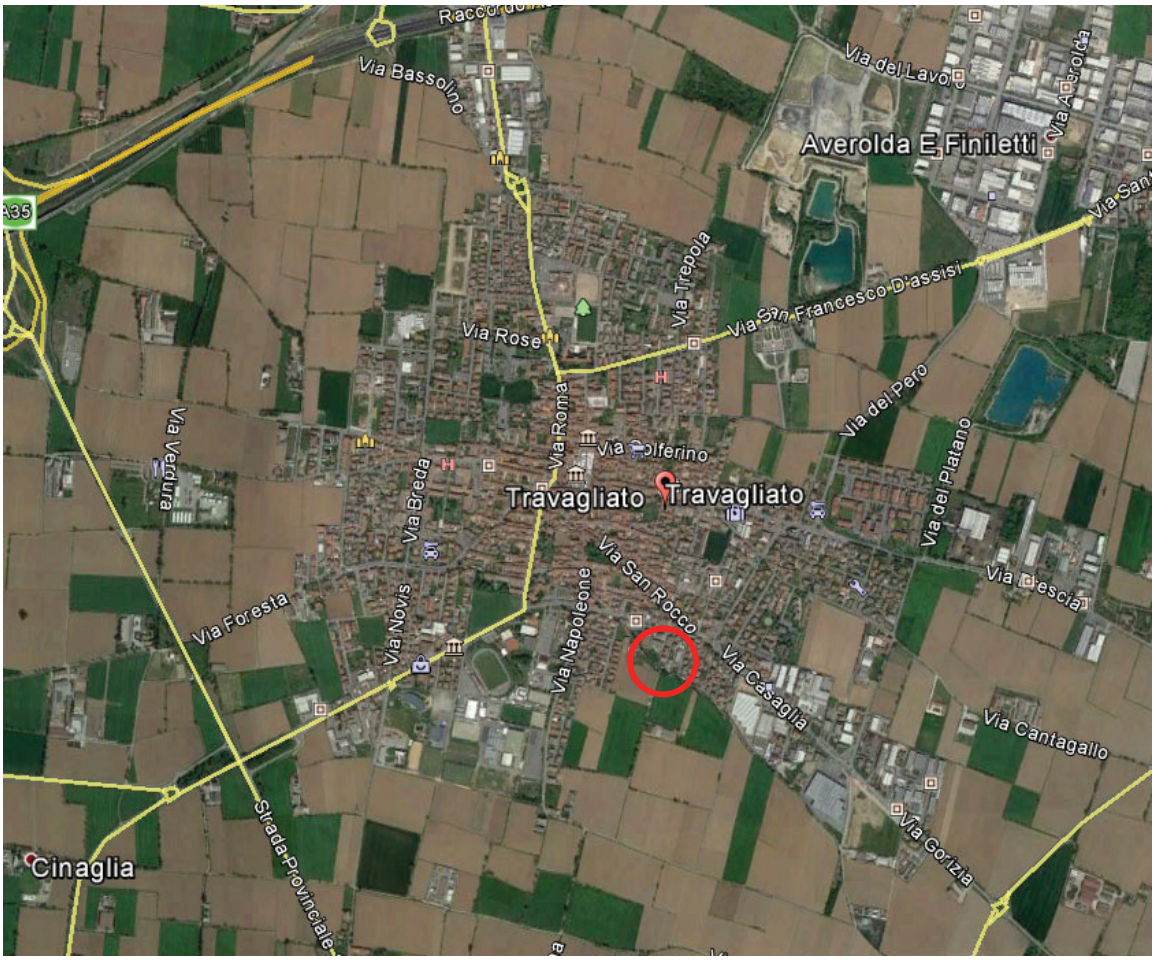


Fig.1 – Inquadramento corografico area di intervento su foto aerea

L'invarianza idraulica, così come definita dal R.R. n. 7 del 23/11/2017, è il principio in base al quale le portate massime di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non devono essere maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione, di cui all'articolo 58 bis, comma 1, lettera a), della l.r. 12/2005. Lo stesso regolamento definisce le misure di invarianza idraulica e idrologica ed i vincoli allo scarico da adottare per le superfici interessate da interventi che prevedono una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione.

Verificato quanto indicato all'art. 3 (interventi richiedenti le misure di invarianza e idrologica) e l'allegato A della Legge Regionale R.R. n.8 del 19/04/2019, si è proceduto alla stesura del progetto di invarianza idraulica per l'intervento edilizio proposto.

L'indagine si è basata sull'osservazione dello stato dei luoghi, della morfologia del terreno e dell'indagine geognostica eseguita dal sottoscritto nel mese di Novembre 2018 in occasione della stesura della relazione geotecnica. Nell'occasione oltre a n.2 prove penetrometriche è stata eseguita n. 1 trincea esplorativa (T1), che ha permesso di individuare la natura del terreno e di valutarne la permeabilità (prova K1).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NATURA LITOLOGICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Dal punto di vista morfologico questa zona appartiene all'unità definita "Livello Fondamentale della Pianura" ovvero "Piano Generale Terrazzato (P.G.T.)".

L'area indagata ricade all'interno delle alluvioni fluvioglaciali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi nella zona urbanizzata del Comune di Travagliato.

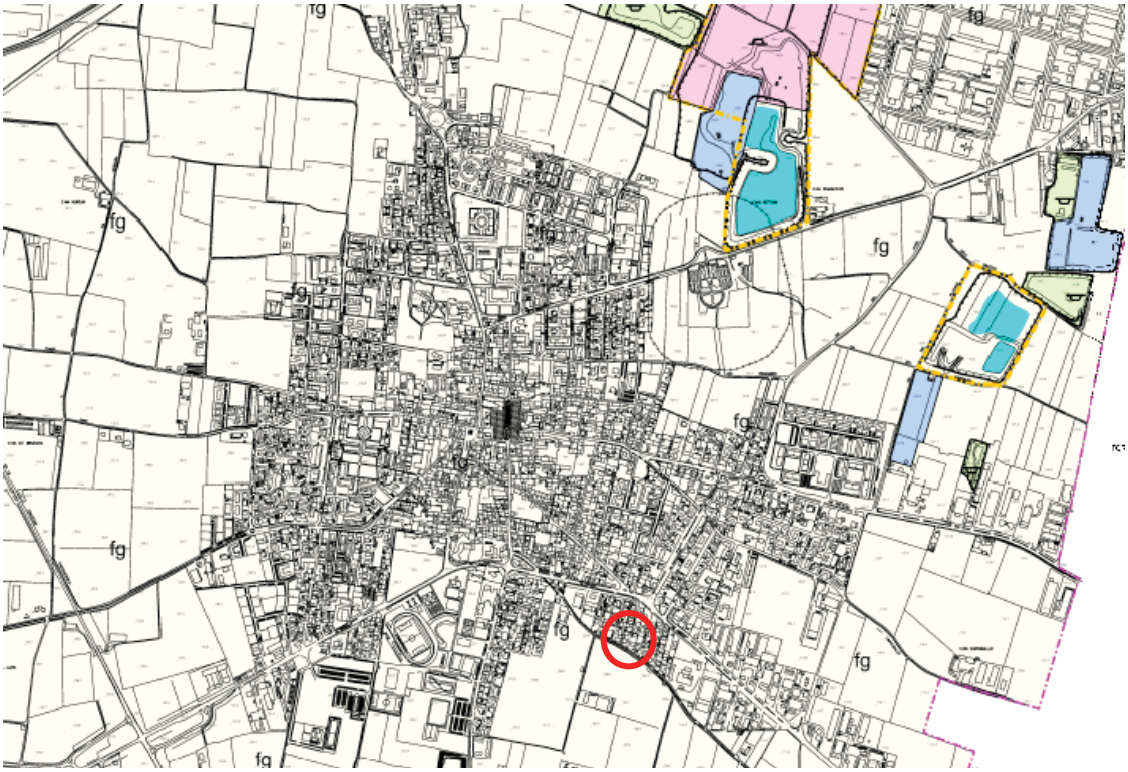


Fig.2: Estratto della carta geologica allegata al PGT comunale

Sulla base delle conoscenze dei terreni della zona e delle indagini di riferimento è possibile ipotizzare una buona uniformità litostratigrafica e geomeccanica dei terreni.

<u>La natura del terreno che può essere ipotizzata sulla base delle conoscenze locali e delle indagini eseguite nell'area, può essere schematizzata come di seguito riportato:</u>

da 0,0 m a 0,3 m	Ricarica
da 0,3 m a 2,4 m	Argilla sabbiosa
oltre 2,4 m	Sabbie e ghiaie con ciottoli “mistone”

Falda assente entro le profondità indagate; dalle conoscenze locali la falda superficiale presenta un livello statico di circa -10 m dal p.c. con escursioni stagionali poco significative.

3. VALUTAZIONE DELLA PERMEABILITA’ DEI TERRENI

La realizzazione di **n.1 prova di permeabilità alla profondità di 2,4 m** nello scavo T1, ha permesso di valutare con buon grado di attendibilità il valore di permeabilità k dei terreni dell’orizzonte indagato.

Nella tabella seguente vengono riassunte le principali caratteristiche della prova eseguita.

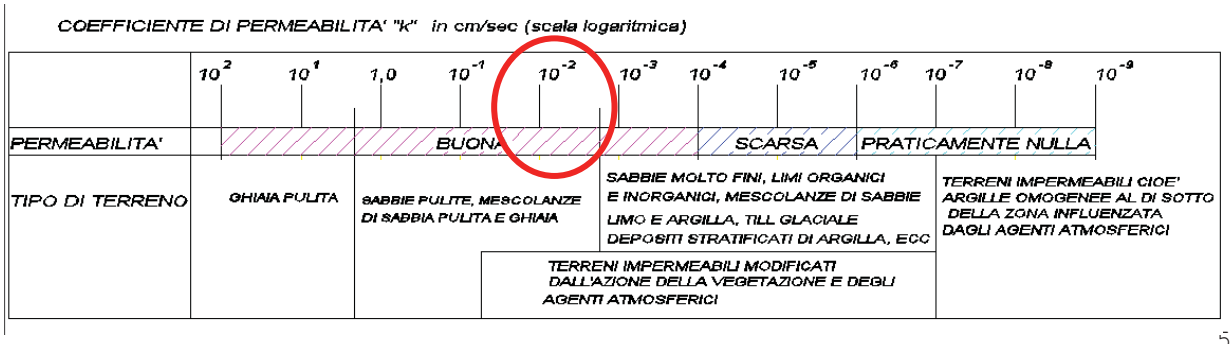
Trincea esplorativa	Prova di permeabilità	Profondità prova dal p.c.	Litologia terreni
T1	**K1**	-2,4	Sabbie e ghiaie con ciottoli

Il valore di permeabilità k ottenuto è il seguente:

Trincea esplorativa	Prova di permeabilità	Profondità prova dal p.c.	**Permeabilità k**	
			(m/s)	**(cm/s)**
T1	**K1**	-2,4	**$1,38 \times 10^{-4}$**	**$1,38 \times 10^{-2}$**

Il **valore di permeabilità** calcolato per i depositi ghiaioso sabbiosi presenti a partire da una profondità di circa -2,4 m dal p.c., risulta essere **K = $1,4 * 10^{-4}$ m/s ($1,4 * 10^{-2}$ cm/s**). Tale valore di permeabilità è associato a depositi ghiaie e sabbie contraddistinti da permeabilità buona (vedi tabella seguente).

Pertanto alla luce di tali considerazioni, data la discreta permeabilità che caratterizza le litologie di terreni in posto, si ritiene fattibile l’adozione di un sistema di raccolta e smaltimento delle acque di pioggia di tipo disperdente a sviluppo verticale, nello specifico di pozzi perdenti (o pozzi d’infiltrazione).



1. PROGETTO DI INVARIANZA IDRAULICA AI SENSI DEL R.R. N.7/2017

Nel presente capitolo verranno presentate le proposte progettuali ed i relativi calcoli di dimensionamento per la gestione sostenibile delle acque di pioggia relativamente all'area di indagine, derivanti dalle evidenze riscontrate in sito e dalle valutazioni circa l'idrogeologia e la morfologia dell'area di studio, nel rispetto dei vincoli del PGT, dei limiti imposti dal Decreto Legislativo 152/06, della Legge Regionale 26/2003 e relativi Regolamenti Regionali n° 2, 3 e 4 del 24 marzo 2006, del Regolamento Regionale n° 7 del 23 novembre 2017 e Regolamento Regionale n° 8 del 19 aprile 2019.

4.1 scelte progettuali in relazione ai limiti normativi e ai vincoli idrogeologici per l'area di indagine

È bene ricordare che la realizzazione di nuove superfici impermeabili implica necessariamente l'aumento delle portate meteoriche defluenti nei ricettori, modificando il ciclo naturale dell'acqua mediante l'aumento dei volumi di acqua di "run-off", causato dalla diminuzione dei fenomeni evapotraspirativi, dell'infiltrazione superficiale e profonda e della conseguente ricarica delle falde acquifere. A tal proposito Regione Lombardia si è dotata della L.R. n°4 del 15 Marzo 2016, che introduce i concetti base del deflusso urbano sostenibile, per ridurre i fenomeni di allagamento urbano, contenere gli apporti di acque meteoriche ai corpi idrici recettori e ridurre il degrado qualitativo delle acque.

Al fine di perseguire l'invarianza idraulica e idrologica delle trasformazioni d'uso del suolo e di conseguire, tramite la separazione e la gestione locale delle acque meteoriche a monte dei ricettori, la riduzione quantitativa dei deflussi e la conseguente attenuazione del rischio idraulico, nonché la riduzione dell'impatto inquinante sui corpi idrici ricettori tramite la separazione e la gestione delle acque meteoriche non esposte ad emissioni e scarichi inquinanti, recentemente è stato introdotto il Regolamento Regionale n. 7/2017 che "definisce, in attuazione dell'articolo 58 bis della Legge Regionale 11 marzo 2005 n. 12 (Legge per il governo del territorio), criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica e, in particolare, disciplina l'applicazione di tali principi agli interventi di cui all'articolo 58 bis, comma 2, della l.r. 12/2005, con le specificità di cui all'articolo 3, nonché i criteri e i metodi per la disciplina, nei regolamenti edilizi, delle modalità per il conseguimento dell'invarianza idraulica e idrologica, ai sensi dell'articolo 58 bis, comma 4, della l.r. 12/2005".

Per quanto riguarda l'area di indagine pertanto, in applicazione dei principi espressi dalla suddetta legge, la proposta di gestione delle acque meteoriche per l'area di studio si basa sull'adozione contemporanea delle seguenti misure di controllo dei deflussi meteorici:

a) riduzione dei volumi idrici di precipitazione mediante superfici di progetto drenanti, che favoriscono i naturali processi di infiltrazione in loco;
b) realizzazione di sistemi di accumulo temporaneo e successiva infiltrazione nel sottosuolo delle acque meteoriche.

Il progetto infatti prevede la realizzazione di un'area verde in terra naturale drenante, al fine di compensare le impermeabilizzazioni dell'intervento di progetto.

In merito al punto b) del precedente elenco, si specifica che le acque meteoriche di dilavamento che si generano sull'area di indagine risultano non contaminate: per quanto riguarda infatti la disciplina delle acque meteoriche di prima pioggia, con riferimento al R.R.

n. 4 del 24 marzo 2006 (Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne, in attuazione dell'Art. 52, comma 1, lettera a) della L.R. 12 dic. 2003, n. 26), è possibile affermare che l'attività di cui alla presente relazione non risulta tra gli ambiti di applicazione della disciplina e non si rende pertanto necessario il trattamento delle acque mediante la realizzazione di vasche di prima pioggia.

Per quanto riguarda la scelta della tipologia del sistema di raccolta delle acque meteoriche, alla luce delle risultanze delle indagini in sito sulla permeabilità dei terreni, si è scelto di optare per **l'adozione di opere di tipo disperdente, quali pozzi d'infiltrazione, per lo smaltimento delle acque meteoriche dell'area in studio**: gli strati superficiali di suolo alle profondità entro le quali saranno posti i sistemi ad infiltrazione risultano infatti idonei per il corretto funzionamento dei sistemi di infiltrazione, in quanto litologicamente costituiti da materiale grossolano di tipo sabbioso-ghiaioso.

I pozzi perdenti sono dei bacini artificiali cilindrici, realizzati allo scopo di smaltire le portate di piena, entro limiti prefissati, dipendenti dalla conducibilità idraulica del terreno. Per operare lo smaltimento e la laminazione delle portate, il pozzo d'infiltrazione deve avere una capacità atta a determinare un processo d'invaso temporaneo dell'onda di piena in arrivo ed il suo smaltimento graduale nel tempo.
Il singolo pozzo perdente risulta costituito da una serie di anelli sovrapposti in calcestruzzo opportunamente fenestrati che permettono di disperdere lateralmente le acque meteoriche in arrivo dalla rete di drenaggio. Nell'intorno di questi anelli in cemento completamente interrati, viene posto uno strato di ghiaia di taglia molto grossa (dreno) che consente l'incremento della capacità di allontanamento delle acque, accompagnato dalla presenza di un geotessile necessario al fine di prevenire il progressivo intasamento del pozzo (vedi figura seguente).

4.2. Analisi delle superfici scolanti e determinazione del coefficiente di deflusso medio ponderale

Il dimensionamento del sistema di dispersione delle acque meteoriche consiste nel valutare il numero e la tipologia di opere (secondo la geometria e le caratteristiche tecniche), necessarie per smaltire le acque meteoriche sulla base delle caratteristiche drenanti del terreno e dell'entità degli afflussi; questi ultimi dipendono a loro volta dall'estensione e dalla tipologia delle superfici di progetto e dalle precipitazioni critiche locali di riferimento.

Risulta pertanto necessario distinguere le superfici nelle seguenti tre macro-categorie di superfici:

- Aree scoperte impermeabili;
- Aree scoperte drenanti o semi-permeabili;
- Aree verdi.

Tale distinzione è necessaria per determinare il coefficiente di deflusso medio ponderale (ϕ) del bacino scolante, che indica la quota parte di acqua piovana che contribuisce effettivamente al deflusso superficiale, ovvero la portata meteorica che non viene smaltita attraverso l'infiltrazione naturale nel terreno o l'evaporazione. La tabella che segue fornisce valori standard del coefficiente di deflusso relativi alle tipologie di superfici sopracitate (come previsto dall'art. 11, comma 6, lettera d) del R.R. 7/2017).

Coefficiente di afflusso	*Tipologia di superficie*
0.3	Superfici permeabili *(aree verdi)*
0.7	Superfici semipermeabili *(pavimentazioni drenanti, tetti verdi, giardini pensili e le aree verdi sovrapposte a solette)*
1.0	Superfici impermeabili *(tetti, strade, vialetti, parcheggi)*

Coefficienti di afflusso per tipologia di superficie (art.11, comma 2 lettera d))

Il progetto prevede l'ampliamento di un capannone industriale.
L'intero lotto di competenza del nuovo intervento ha una superficie totale pari a 1070,29 mq.
Ai sensi dell'art. 1 comma 8 lettera C del R.R. 8/2019 le superfici destinate a giardino non collettato e non sovrapposte a nuove solette, non sono tenute all'applicazione del regolamento. Nel nostro caso tuttavia le superfici destinate a giardino in piena terra (non sovrapposte a solette e/o manufatti interrati) non sono presenti.

Suddivisione delle superfici scolanti del lotto:

Le superfici scolanti, suddivise sulla base dei coefficienti riportati nella tabella precedente, risultano le seguenti (vedi planimetria in fig. 2).

- aree impermeabili: le quali comprendono l'intero capannone compreso l'ampliamento e tutti i piazzali cementati. A queste superfici viene associato un coefficiente di afflusso pari a 1, poiché maggiormente competeranno alla formazione della pioggia netta, che sarà smaltita dal sistema di raccolta dedicato. Le aree impermeabili ammontano a **903,8 mq.**
- aree semipermeabili: le quali comprendono le aree drenanti ad autobloccanti certificati, aventi superficie complessiva di **166,49 mq**. A queste superfici viene associato un coefficiente di afflusso pari a 0,7.
- Aree permeabili (superfici verdi in terreno naturale): **0 mq**: ESCLUSE DALL'APPLICAZIONE DEL REGOLAMENTO ai sensi **dell'art. 1 comma 8 lettera C del R.R. 8/2019)** e quindi non considerate ai fini dell'invarianza.

Nella tabella seguente si riassumono le superfici scolanti coinvolte, le relative metrature e i corrispondenti coefficienti di deflusso. Il **coefficiente di deflusso medio ponderale (ϕ)** relativo all'area complessiva considerata per il computo delle opere di invaso e pari a **1070,29 mq** si ottiene dalla media ponderata delle diverse superfici e risulta **ϕ = 0,95** (calcolato ai sensi dell'articolo 11 comma 2 lettera d):

$$\phi = (903{,}8 \times 1{,}0) + (166{,}49 \times 0{,}7) / 1070{,}29 = \mathbf{0{,}95}$$

Superfici scolanti	**Area [m²]**	**ϕ**
Impermeabili *(copertura tetto + pavimentazione ingresso + vasche interrate)*	903,8	1.0
Semipermeabili *(aree verdi sovrapposte alle 2 vasche interrate)*	166,49	0,7
TOTALE SUPERFICIE AREE TRASFORMATE	**1070,29**	**0,95**

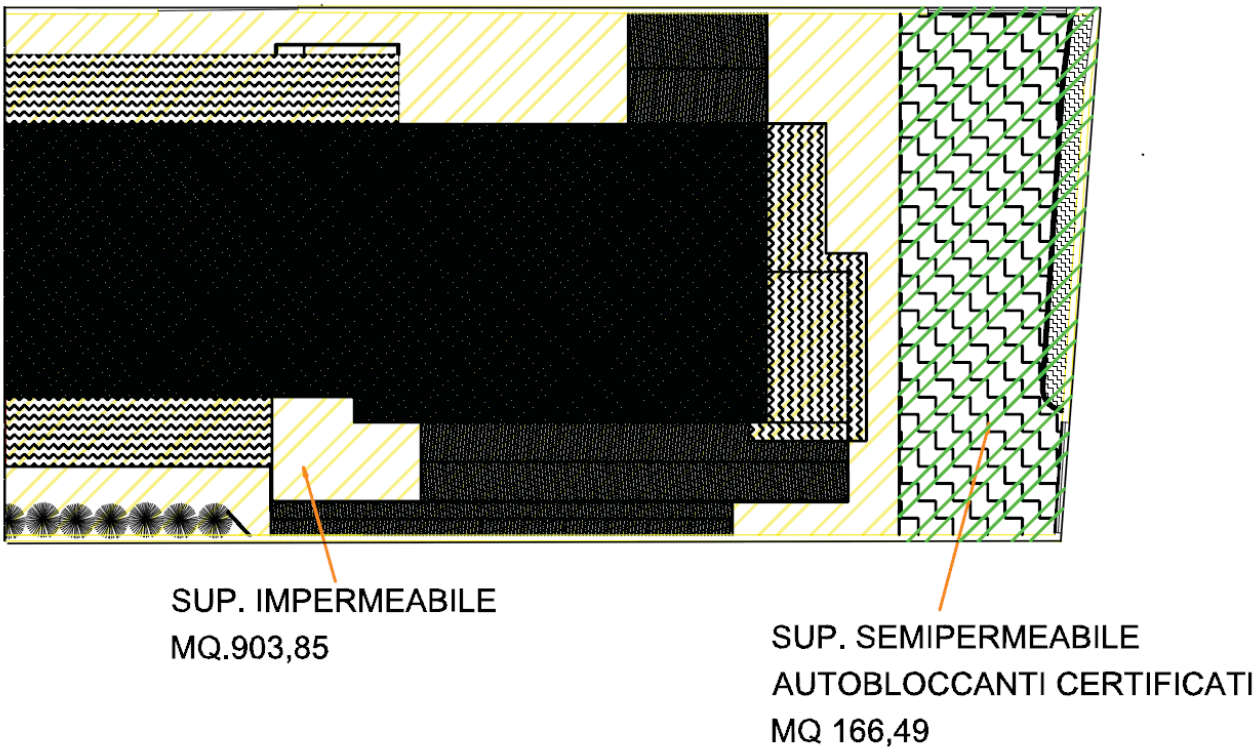


Fig. 2 – Planimetria di progetto con indicazioni delle superfici impermeabili e semipermeabili

4.3. METODOLOGIA DI CALCOLO UTILIZZATA PER IL DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DISPERDENTE E CALCOLO DEL VOLUME MINIMO DI INVASO AI SENSI DEL R.R. N.7 DEL 23/11/17 E DEL R.R. N. 8 DEL 19/04/2019

Nel presente paragrafo si descrive la metodologia utilizzata per il dimensionamento del sistema di smaltimento delle acque meteoriche, secondo quanto previsto dal R.R. 7/2017 e dal R.R. 8/2019.

La procedura di calcolo dei volumi da gestire per il rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica dipende da una serie di fattori come l'ambito territoriale in cui ricade l'intervento, l'estensione dello stesso e il coefficiente di deflusso medio ponderale. La tabella 1del R.R. 8/2019, riportata qui di seguito, distingue le diverse modalità per il calcolo dei volumi di invaso a seconda delle caratteristiche dell'intervento.

CLASSE DI INTERVENTO		SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFLUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITÀ DI CALCOLO – AMBITI TERRITORIALI (articolo 7) – Aree A, B	MODALITÀ DI CALCOLO – AMBITI TERRITORIALI (articolo 7) – Aree C
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	≤ 0,03 ha (≤ 300 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi articolo 12 comma 1	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 mq a ≤ 1.000 mq)	≤ 0,4	Requisiti minimi articolo 12 comma 2	
		da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 a ≤ 1.000 mq)	> 0,4	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11 e allegato G)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
2	Impermeabilizzazione potenziale media	da > 0,1 a ≤ 1 ha (da > 1.000 a ≤ 10.000 mq)	qualsiasi		
		da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	≤ 0,4		
3	Impermeabilizzazione potenziale alta	da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤100.000 mq)	> 0,4	Procedura dettagliata (vedi articolo 11 e allegato G)	
		> 10 ha (> 100.000 mq)	qualsiasi		

Tab. 1 - Classificazione degli interventi richiedenti misure di invarianza idraulica e idrologica e modalità di calcolo (art. 9 del Regolamento Regionale n. 8/2019).

Ai sensi dell'art. 7 e dell'allegato C del R.R. 23/11/2017 – N.7, **il territorio comunale di Travagliato rientra in area di criticità idraulica "A", ovvero a ALTA criticità idraulica.**

Nel caso dell'intervento in oggetto, si tratta di un'**impermeabilizzazione potenziale media**, in quanto la superficie interessata dall'intervento è pari a 107,29 mq (ossia >1000 mq e <10000 mq) con coefficiente di deflusso medio ponderale >0,4. Dato che Il comune di Travagliato si trova nell'ambito territoriale di **criticità idraulica "A"**, per il calcolo del volume di invaso è necessario applicare il "Metodo delle Sole Piogge". Si sottolinea tuttavia che, **qualora il volume ottenuto dalla procedura di calcolo adottata risulti inferiore ai requisiti minimi riportati all'art. 12 del Regolamento, sarà necessario applicare questi ultimi.**

Nel caso di aree "A" a alta criticità idraulica il volume minimo da soddisfare per il rispetto dei requisiti minimi di invarianza idraulica è di **800 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile (con la riduzione attraverso l'applicazione del coefficiente P=0,8 diventa 800 x 0,8 = 640 mc per ettaro)**; per il bacino scolante afferente alla rete di smaltimento in progetto risulta:

W_{min} (VOLUME MINIMO DI INVASO) = (640 m^3 / 10.000 m^2) x 1070,29 m^2 x 0,95 = **65,1 m^3**

Pertanto, per il dimensionamento del sistema disperdente costituito da pozzi perdenti, è necessario adottare il volume di laminazione maggiore tra quello risultante dalla procedura adottata (Metodo delle Sole Piogge) e quello valutato in termini parametrici come requisito minimo, come sopra riportato.

4.3.1 METODO DELLE SOLE PIOGGE (TEORIA)

Nel caso in studio, facendo riferimento alla tabella sopra riportata per classe di intervento ad impermeabilizzazione potenziale media e ambito territoriale di criticità B, il dimensionamento dei volumi di laminazione, per l'applicazione dell'invarianza idraulica, verrà effettuato mediante il **metodo idraulico denominato delle Sole Piogge**; tale metodologia di calcolo si basa sulle seguenti ipotesi:

- effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante trascurabile;
- idrogramma netto di pioggia a intensità costante $i = a \cdot D^{n-1}$;
- svuotamento sistema Q_u = *cost* (laminazione ottimale);

Nello specifico, l'onda entrante dovuta alla precipitazione piovosa Q_e nell'invaso di laminazione è un'onda rettangolare avente durata ***D*** e portata costante Q_e pari al prodotto dell'intensità media di pioggia, dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica valida per l'area oggetto di calcolo in funzione della durata di pioggia (vd. paragrafo 4.2.2), per la superficie scolante impermeabile dell'intervento afferente all'invaso ***A***; con questa assunzione si ammette che, data la limitata estensione del bacino scolante, sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante afferente all'invaso.

Conseguentemente l'onda entrante nell'invaso coincide con la precipitazione piovosa sulla superficie scolante impermeabile dell'intervento. La portata costante entrante è quindi pari a:

$$Q_e = A \cdot \varphi \cdot a \cdot D^{n-1}$$

e il volume di pioggia complessivamente entrante è pari a:

$$W_e = A \cdot \varphi \cdot a \cdot D^{n}$$

in cui *A* è la superficie scolante del bacino complessivamente afferente all'invaso, ϕ è il coefficiente di deflusso medio ponderale del bacino medesimo calcolabile con i valori standard esposti nell'articolo 11, comma 2, lettera d) del Regolamento (quindi $S \cdot \phi$ è la superficie scolante impermeabile dell'intervento), *D* è la durata di pioggia, $a = a_1 w_T$ e *n* sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica (desunti da ARPA Lombardia come esposto al paragrafo 4.2.2) espressa nella forma:

$$h = a \cdot D^n = a_1 \cdot w_T \cdot D^n$$

L'onda uscente Q_u è anch'essa un'onda rettangolare caratterizzata da una portata costante (laminazione ottimale) e commisurata al limite prefissato in aderenza alle indicazioni sulle portate

massime ammissibili di cui all'articolo 8 del Regolamento.

Nel caso oggetto di studio la portata costante in uscita dall'opera verrà considerata pari alla portata di infiltrazione Q_f nel terreno delle acque stoccate all'interno del sistema dei pozzi perdenti; tale valore, dipendente dalla permeabilità sito specifica determinata mediante prova infiltrometrica dallo scrivente, verrà stimata mediante la legge di Darcy:

$$Q_u = Q_f = k \cdot J \cdot A_f$$

dove:

- Q_f : portata d'infiltrazione (m^3/s);
- ***k*** **:** permeabilità rilevata in sito mediante prova infiltrometrica (m/s) (vd. Capitolo 3);
- ***J*** **:** cadente piezometrica (m/m);
- A_f **:** superficie netta d'infiltrazione corrispondente all'area perimetrale disperdente dell'opera, variabile in relazione al grado di riempimento della stessa (m^2).

La cadente piezometrica *J* può essere posta pari a 1 qualora il tirante idrico sulla superficie filtrante sia trascurabile rispetto all'altezza dello strato filtrante e la superficie piezometrica della falda sia convenientemente al di sotto del fondo disperdente.

Come superficie netta d'infiltrazione A_f verrà considerata a favore di sicurezza l'area filtrante del sistema di pozzi, corrispondente ad un riempimento pari al 50% dell'altezza del singolo pozzo, ovvero verrà utilizzata una portata di infiltrazione inferiore a quella massima uscente.

In tali condizioni applicando uno ietogramma netto di pioggia a intensità costante e ipotizzando evacuazione dell'opera a portata costante pari a $Q_u = Q_f$, i volumi entrante ed uscente risultano rispettivamente pari a:

$$W_e = A \cdot \varphi \cdot a \cdot D^n$$
$$W_u = Q_f \cdot D$$

Sulla base di tali ipotesi semplificative il volume di laminazione è dato, per ogni durata di pioggia considerata, dalla differenza tra i volumi dell'onda entrante e dell'onda uscente calcolati al termine della durata di pioggia. Conseguentemente, il volume di dimensionamento della vasca è pari al volume critico di laminazione, cioè quello calcolato per l'evento di durata critica che rende massimo il volume di laminazione. Il volume invasato sarà dunque:

$$W = W_e - W_u = A \cdot \varphi \cdot a \cdot D^n - Q_f \cdot D$$

Il volume da assegnare alla vasca è il valore massimo W_0 di questa differenza, che si ottiene per una precipitazione di durata D_w critica per la vasca. Si sottolinea che l'evento critico di massima sollecitazione per una vasca di laminazione non coincide con l'evento critico che genera la portata al colmo di piena per il bacino (tempo di corrivazione del bacino): il primo infatti massimizza il volume di precipitazione da invasare, data una portata in uscita dal sistema; il secondo massimizza la portata di deflusso.

Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, si ricava la durata critica per la vasca e il volume da invasare come segue:

$$\theta_w = \left(\frac{Q_f}{2.78 \cdot A \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{1/(n-1)}$$

$$W_0 = 10 \cdot A \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w{}^n - 3.6 \cdot Q_f \cdot D_w$$

Il parametro n (esponente della curva di possibilità pluviometrica) da utilizzare nelle equazioni precedenti deve essere congruente con la durata Dw risultante dal calcolo, tenendo conto che il valore di n è generalmente diverso per le durate inferiori all'ora, per le durate tra 1 e 24 ore e per le durate maggiori di 24 ore.
Per qualunque sistema d'infiltrazione dotato di accumulo infine, occorre verificare che lo svuotamento, dopo la fine dell'evento piovoso, avvenga in un tempo non maggiore di quello medio stimato fra due eventi successivi (fissato in 48 ore, come previsto dall'art. 11, comma 2, lettera f) del R.R. 7/2017).

4.3.2 Determinazione delle altezze di pioggia e valutazione dei parametri pluviometrici per il calcolo delle portate meteoriche di progetto

Al fine di dimensionare un sistema di drenaggio delle acque meteoriche è necessario stimare la quantità di pioggia che si abbatte sul bacino scolante in occasione delle precipitazioni di maggiore intensità e quindi il contributo netto che il sistema di opere deve smaltire.
La previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto si effettua attraverso la determinazione della curva di possibilità pluviometrica, ovvero la relazione statistica che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno. Con il termine altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in millimetri, si intende l'altezza di acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale e impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) e in assenza di perdite.
Le curve di possibilità pluviometrica possono essere espresse in forma monomia tramite la seguente espressione (Allegato G, punto 1 del R.R. 7/2017):

$$\mathbf{h\ (T_R) = a_1\ (T_R) \cdot w_T\ (T_R) \cdot \theta^n\ (T_R)}$$

dove:
h (T_R): altezza massima probabile di precipitazione [mm] associata (funzione) ad un tempo di ritorno T_R (anni), relativa ad un evento meteorico di durata θ [ore];
a_1 (T_R): coefficiente pluviometrico orario, che rappresenta l'altezza media di pioggia caduta in un intervallo di tempo pari a 1 ora;
w_T (T_R): coefficiente probabilistico legato al tempo di ritorno T_R;
n (T_R): esponente di invarianza di scala, che governa l'andamento della curva e l'entità della dipendenza dalla durata della precipitazione.

I parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per l'area di indagine sono stati scaricati dal sito di ARPA Lombardia (art.11 comma 2 lettera b)), che li fornisce per ogni località della Regione (http://idro.arpalombardia.it).

Il Regolamento Regionale n. 7/2017 prevede che siano valutate le condizioni locali di rischio di allagamento residuo per eventi di ritorno alti, ovvero quelli che determinano un superamento

anche considerevole delle capacità di controllo delle strutture fognarie. Conseguentemente, il dimensionamento delle opere di invarianza deve essere effettuato assumendo un tempo di ritorno **T_R pari a 50 anni**, per garantire un accettabile grado di sicurezza delle stesse opere (art.11 comma 2 lettera a)).
La curva di possibilità pluviometrica, valida per durate di precipitazione comprese tra 1 e 24 ore, in corrispondenza del tempo di ritorno di 50 anni, per l'area in indagine, è caratterizzata dai seguenti parametri:

Parametri 1-24 ore

	Parametro	Valore
	A1 - Coefficente pluviometrico orario	28.26
	N - Coefficente di scala	0.27720001
	GEV - parametro alpha	0.28240001
	GEV - parametro kappa	-0.026000001
	GEV - parametro epsilon	0.8294

Parametri di calcolo delle LSPP per l'area oggetto di studio
(Fonte: ARPA Lombardia)

I parametri sopra riportati si riferiscono a durate comprese tra 1 e 24 ore; per durate inferiori all'ora si possono utilizzare, in carenza di parametri specifici, tutti i parametri indicati da ARPA tranne il parametro *n* per il quale si indica il valore *n* = 0.5 come suggerito dal Regolamento (Allegato G, punto 1).

Si riporta di seguito la tabella con le stime di altezza di pioggia che si abbattono sull'area oggetto dell'indagine per diverse durate (1, 3, 6, 12 e 24 ore) e tempi di ritorno (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 anni).

H (mm) x durate 1-24 ore

Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni
1	26.4	35.7	41.9	48.1	56.2	62.4	68.8
2	32.0	43.2	50.8	58.3	68.1	75.7	83.3
3	35.8	48.3	56.9	65.2	76.2	84.7	93.2
4	38.7	52.3	61.6	70.6	82.6	91.7	101.0
5	41.2	55.7	65.5	75.1	87.8	97.5	107.4
6	43.3	58.6	68.9	79.0	92.4	102.6	113.0
7	45.2	61.1	71.9	82.5	96.4	107.1	117.9
8	46.9	63.4	74.6	85.6	100.0	111.1	122.3
9	48.5	65.5	77.1	88.4	103.4	114.8	126.4
10	49.9	67.5	79.4	91.0	106.4	118.2	130.2
11	51.3	69.3	81.5	93.5	109.3	121.4	133.6
12	52.5	71.0	83.5	95.8	111.9	124.3	136.9
13	53.7	72.6	85.4	97.9	114.4	127.1	140.0
14	54.8	74.1	87.2	99.9	116.8	129.8	142.9
15	55.9	75.5	88.8	101.9	119.1	132.3	145.6
16	56.9	76.9	90.4	103.7	121.2	134.6	148.3
17	57.8	78.2	92.0	105.4	123.3	136.9	150.8
18	58.8	79.4	93.4	107.1	125.3	139.1	153.2
19	59.7	80.6	94.8	108.8	127.2	141.2	155.5
20	60.5	81.8	96.2	110.3	129.0	143.3	157.7
21	61.3	82.9	97.5	111.8	130.7	145.2	159.9
22	62.1	84.0	98.8	113.3	132.4	147.1	162.0
23	62.9	85.0	100.0	114.7	134.1	148.9	164.0
24	63.7	86.0	101.2	116.0	135.6	150.7	165.9

Altezze di precipitazione relative a diverse durate e tempi di ritorno calcolate nel sito d'indagine

4.2.3 Calcoli e risultati

Riassumendo, il dimensionamento del volume di laminazione, necessario ai fini dell'invarianza idraulica da destinare alle opere di laminazione in progetto, è stato effettuato mediante applicazione della metodologia delle sole Piogge come da Tabella 1, art.9, comma 2, assumendo per il calcolo del volume meteorico in ingresso al sistema le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (Ispp) relative ad un tempo di ritorno Tr=50 anni, con coefficienti a= 56,2 e n=0.277 per una durata dell'evento meteorico superiore a 60 minuti e n=0.5 per una durata dell'evento meteorico inferiore a 60 minuti (come riportato nel paragrafo 4.2.2). Sulla base della tipologia delle superfici scolanti si sono considerati i coefficienti di afflusso medio φ riportati al paragrafo 4.2.
Per quanto riguarda il volume in uscita dal sistema, i calcoli sono stati effettuati assumendo un sistema di pozzi perdenti con diametro D=1,5 m, altezza H=3,5 m e dreno esterno di spessore s=1,0 m con porosità del 50% (vedi fig. 5 sotto).

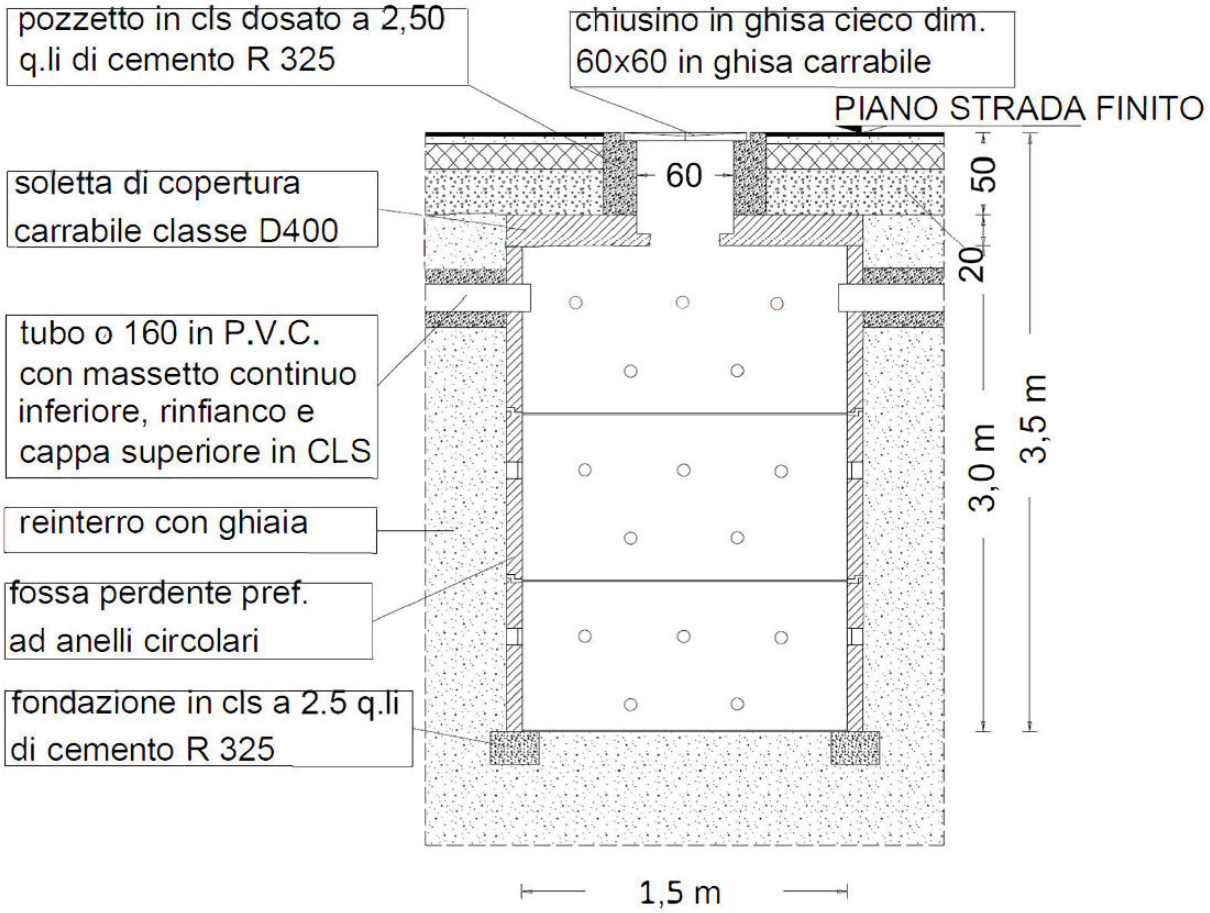


Fig. 5 – schema pozzo perdente – non in scala

E' stata assunta come portata in uscita la sola portata di infiltrazione dispersa dal sistema, calcolata pari a circa 0,0025 mc/s mediante la formulazione di Darcy, considerando come coefficiente di permeabilità del terreno il valore rilevato in sito pari a k= $1,4 \cdot 10^{-4}$ m/s, e a favore di sicurezza una dispersione media corrispondente ad un grado di riempimento dei pozzi del 50% e come superficie totale utile disponibile all'infiltrazione solo quella laterale e non il fondo pozzo, il quale può essere soggetto ad occlusione.

Si riassumono di seguito le proprietà idrologiche del sito, quelle geometriche dei pozzi che si intende realizzare per contenere il volume di invaso critico e il valore di permeabilità assunto per il terreno in sito:

DATI DI PRECIPITAZIONE		
a1	56,2000	
n1	0,5000	
a2	56,2000	
n2	0,2770	
d limite	60	min
fi	0,95	
Area	1070	mq
t corrivazione	10,8	min

DATI TERRENO		
permeabilità 1 (prof)	1,00E-04	m/s
porosità dreno	0,5	

DATI GEOMETRICI		
pozzi perdenti		
Diametro	1,5	m
Spessore dreno	1	m
Profondità totale	3,5	m

Dati in input alla procedura di calcolo

LE SOLE PIOGGE

$$D_w = \left(\frac{Q_u}{2.78 \cdot A \cdot \varphi \cdot a \cdot n}\right)^{\frac{1}{n-1}} = \mathbf{2{,}51 \quad ore}$$

$$W_{0,\text{sole piogge}} = 10 \cdot A \cdot \varphi \cdot a \cdot \left(\frac{Q_u}{A \cdot \varphi \cdot a \cdot n}\right)^{\frac{n}{n-1}} - 3.6 \cdot Q_u \cdot \left(\frac{Q_u}{A \cdot \varphi \cdot a \cdot n}\right)^{\frac{1}{n-1}} = \mathbf{51 \quad m^3}$$

Risultati del dimensionamento del volume di invaso mediante il Metodo delle Sole Piogge.

Il volume di invaso necessario a contenere l'evento critico per il sistema di durata critica pari a circa 2,51 ore è risultato di 51 mc. Come da R.R. 7/2017 tale volume risulta inferiore a quello calcolato con i Minimi Requisiti (65,1 mc) e pertanto in fase progettuale verrà adottato quest'ultimo.

Sarebbe quindi necessario realizzare un sistema di laminazione con un volume complessivo tale che soddisfi il volume di invaso calcolato, pari a circa 65 mc.

Confronto e scelta volume di Invaso		
Volume Metodo Sole Piogge	51	mc
Volume Minimi Requisiti	65	mc

VOLUME DI PROGETTO	**65**	**mc**

Considerato però quanto previsto dalla normativa :

art. 11. Il volume di laminazione da adottare per la progettazione degli interventi di invarianza idraulica e idrologica è il maggiore tra quello risultante dai calcoli e quello valutato in termini parametrici come requisito minimo di cui all'articolo 12, comma 2. ***Qualora si attui il presente regolamento mediante la realizzazione di sole strutture di infiltrazione, e quindi non siano previsti scarichi verso ricettori, il requisito minimo di cui all'articolo 12, comma 2, è ridotto del 30 per cento,*** *purché i calcoli di dimensionamento delle strutture di infiltrazione siano basati su prove di permeabilità, allegate al progetto, rispondenti ai requisiti riportati nell'Allegato F.*

Pertanto facendo riferimento all'art. 11, comma 2, lett. e), numero 3, del R.R. n. 8 del 19/04/2019 sopra riportato essendo il nostro caso rientrante nella categoria per cui non sono previsti scarichi verso recettori sarà applicata la riduzione del 30% sul volume maggiore derivante dal metodo dei minimi requisiti e di conseguenza sarà necessario realizzare un sistema di laminazione con un volume complessivo tale che soddisfi il volume di invaso calcolato, pari a:

65 mc – 30% = 46 mc

Tenendo conto che il volume utile immagazzinato da ogni pozzo perdente avente le proprietà geometriche sopra descritte **(diametro D=1,5 m, altezza H=3,5 m e dreno esterno di spessore s=1,0 m con porosità del 50%)** risulta pari a circa 19,93 mc, **il numero ottimo di opere da realizzare risulta pari a n. 3 pozzi:**

Volume di invaso singolo pozzo		
Volume dreno	13,74	mc
Volume pozzo	6,19	mc
Volume utile	19,93	mc
NUMERO POZZI NECESSARI	***3,0***	

Si fa presente che il volume utile di immagazzinamento dei 3 pozzi pari a 59,79 (=19,93x3) è comunque maggiore al volume d'invaso derivante dal calcolo delle sole piogge che non tiene conte della riduzione del 30 %.

Il tempo medio di svuotamento del sistema, calcolato come $t = W/Q_u$ per una portata di infiltrazione in uscita dal sistema pari a circa 2,5 l/s (0,0025 mc/s)**, risulta di circa 5 ore, quindi accettabile in quanto nettamente inferiore al limite di normativa di 48 ore.**

4.5 Installazione e accorgimenti costruttivi per i pozzi perdenti –GENERALITA'

La capacità portante del pozzo perdente dipende dalla corretta preparazione del piano di posa; in sostituzione della platea di fondo si pone uno strato di sabbia compattata sovrapposta ad un base di pietrame e pietrisco per uno spessore di circa 40-50 cm. Gli anelli forati in calcestruzzo devono essere posizionati l'uno sull'altro partendo dal basso e procedendo verso l'alto senza sigillatura dei giunti. Collegare il pozzo avendo cura di posizionare i tubi ad una quota di almeno -50 cm dal piano finito del terreno, per evitare il congelamento ed evitare schiacciamenti qualora la superficie attorno al pozzo sia carrabile.

Intorno alla parete forata del pozzo si pone uno strato di pietrisco/ghiaia, sistemato anch'esso ad anello, per uno spessore in senso orizzontale di circa 50 cm o più (50 cm nel caso in analisi) e di granulometria crescente procedendo verso le pareti del pozzo, in modo da facilitare il deflusso delle acque ed evitare l'intasamento dei fori disperdenti. E' consigliabile posizionare uno strato di "tessuto non tessuto" tra il dreno circostante e il pozzo per prevenire eventuali occlusioni e quindi modificare la capacità filtrante. I pozzi perdenti vanno posizionati lontani da fabbricati e aree pavimentate che ostacolino l'areazione del terreno. È buona norma che siano posti ad una distanza minima di 50 m da qualsiasi condotta, serbatoio e qualunque opera destinata al servizio di acqua potabile. Evitare il posizionamento dei pozzi in zone sensibili quali la presenza di rocce fratturate o terreni soggetti a cavità (sistemi carsici). In caso di posa di due o più pozzi perdenti in batteria, si dovrà mantenere una distanza minima tra intradossi pari a quattro volte il diametro degli stessi. A monte, dovrà essere posizionato un sifone/pozzetto deviatore, in modo da poter servire alternativamente i pozzi.

Al fine di mantenere un'elevata efficienza di dispersione delle acque meteoriche, risulta di fondamentale importanza effettuare regolarmente operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria su tutte le componenti dell'opera (caditoie, filtri, condotte di allacciamento e pozzi perdenti), al fine di evitare pericolose occlusioni che potrebbero prolungare i tempi di svuotamento degli invasi.

5 CONCLUSIONI

Visto quanto riportato nei capitoli precedenti, al fine del dimensionamento del sistema di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche, nell'ambito del progetto di invarianza idraulica ed idrologica ai sensi del R.R. 7 /2017 e s.m.i., per l'intervento di ampliamento capannone, è possibile effettuare le seguenti considerazioni conclusive:

- La presente relazione di invarianza idraulica è stata redatta ai sensi del R.R. n. 7 del 23 novembre 2017 e del R.R. n. 8 del 19 aprile 2019
- L'intervento in oggetto ricade in **classe 2** di **impermeabilizzazione potenziale media** (Tabella 1 del R.R. 8/2019);
- Il comune di Travagliato si trova nell'ambito territoriale di **criticità idraulica "A"** (alta criticità, art.7, comma 3); Nel caso di aree "A" a alta criticità idraulica il volume minimo da soddisfare per il rispetto dei requisiti minimi di invarianza idraulica è di **800 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile (che con la riduzione attraverso l'applicazione del coefficiente P=0,8 diventa 800 x 0,8 = 640 mc per ettaro)** per il calcolo del volume di invaso è necessario pertanto applicare il Metodo delle Sole Piogge (art. 9, Tabella 1);
- Nell'area oggetto della presente relazione **la falda idrica principale** si attesta, sulla base delle conoscenze idrogeologiche locali**,** ad una profondità >10 m
- Ai fini del dimensionamento è stato adottato un coefficiente di permeabilità, valutato mediante una prova di permeabilità all'interno della trincea esplorativa eseguita dallo scrivente, pari a **$k = 1,4 \times 10^{-4}$ m/s** che permette quindi di collocare i terreni in esame tra le formazioni contraddistinte da un grado di **permeabilità buona**;
- **Per l'area di indagine si propone l'adozione di un sistema di raccolta e smaltimento delle acque di pioggia di tipo disperdente, nello specifico di pozzi perdenti (o d'infiltrazione);**
- Il bacino contribuente complessivo, afferente alla rete meteorica presenta, una **superficie complessiva di circa 1070,29 m^2**, a cui è associabile un **coefficiente di afflusso medio ponderale di 0,95**;
- Mediante la procedura di calcolo delle Sole Piogge è stato calcolato il volume di invaso relativo all'evento critico di precipitazione per l'area di studio, fissato un tempo di ritorno pari a 50 anni, pari a circa 51 mc. Tale volume risulta inferiore a quello calcolato con i Minimi Requisiti (65 mc) e pertanto in fase progettuale è stato adottato quest'ultimo (art.12 comma 3); **Tuttavia facendo riferimento 'art. 11, comma 2, lett. e), numero 3, del R.R. n. 8 del 19/04/2019 sopra riportato essendo il nostro caso rientrante nella categoria per cui non sono previsti scarichi verso recettori è stata applicata la riduzione del 30% sul volume maggiore derivante dal metodo dei minimi requisiti, pertanto sarà necessario realizzare un sistema di laminazione con un volume complessivo tale che soddisfi il volume di invaso calcolato, pari a:**

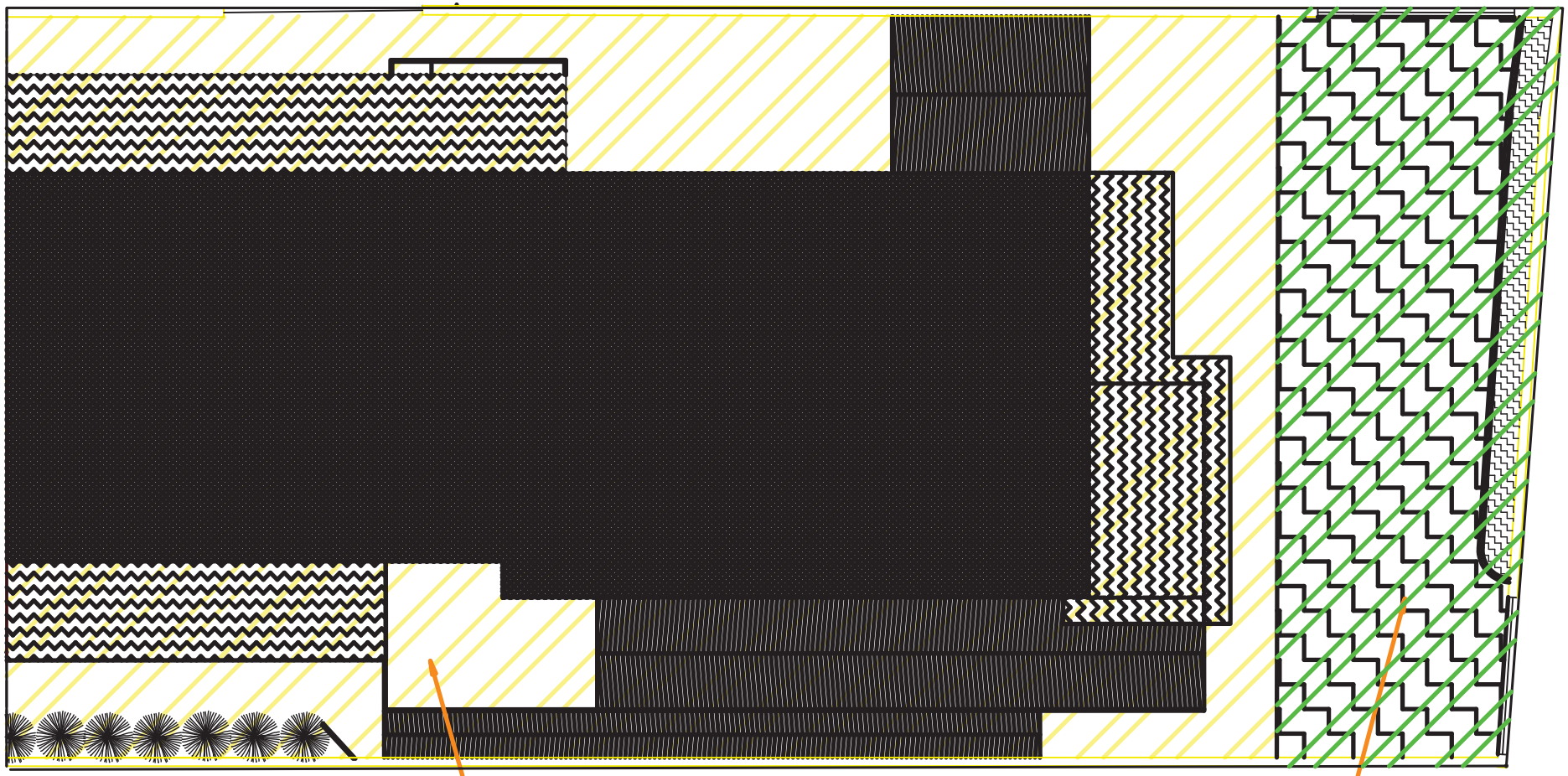
  65 mc – 30% = **46 mc**

- Tenendo conto che il volume utile immagazzinato da ogni pozzo perdente avente diametro D=1,5 m, altezza H=3,5 m e dreno esterno di spessore = 1,0 m con porosità del 50% risulta pari a circa 19,93 mc, **il numero ottimale di opere da realizzare, per la laminazione del volume critico, risulta pari a n. 3 pozzi.** Si fa presente che il volume utile di immagazzinamento dei 3 pozzi pari a 59,79 (=19,93x3) è comunque maggiore al volume d'invaso derivante dal calcolo delle sole piogge che non tiene conte della riduzione del 30 %.

Qualora in fase di escavazione delle opere si rilevassero situazioni anomale dal punto di vista litologico-stratigrafico ed idrogeologico rispetto a quanto evidenziato nella presente relazione, sarà cura della committenza informare il sottoscritto al fine di rivalutare criticamente il dimensionamento effettuato.

Orzinuovi, 31/05/2019

Geol. Guido Torresani

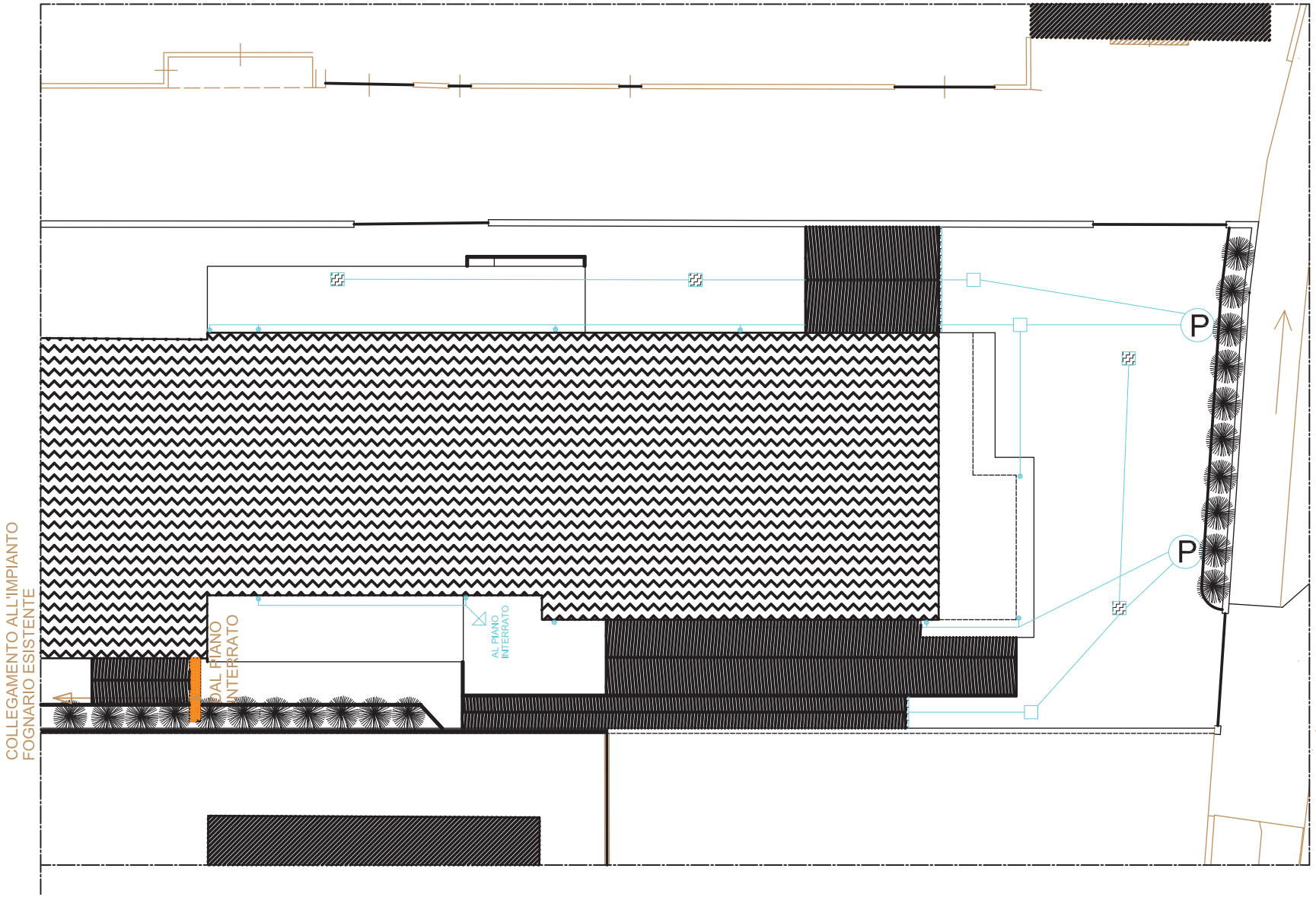


SUP. IMPERMEABILE
MQ.903,85

SUP. SEMIPERMEABILE
AUTOBLOCCANTI CERTIFICATI
MQ 166,49

LEGENDA

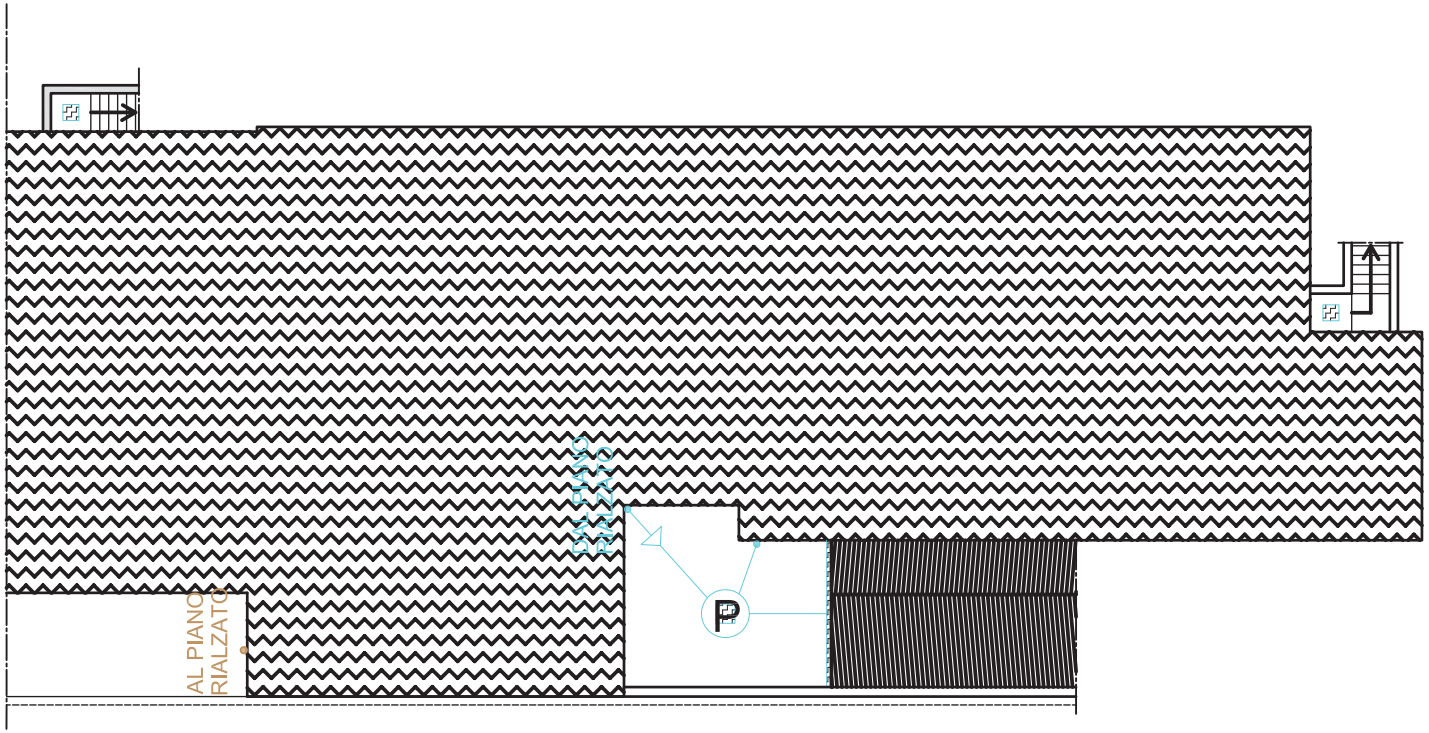
P	POZZO PERDENTE D=1,5 m
	CADITOIA SIFONATA
	PLUVIALE/POZZETTO PIEDE COLONNA
	POZZETTO ISPEZIONE
	CONDOTTA ACQUE BIANCHE
	CANALETTA RACCOLTA ACQUE
	SCARICO ACQUE NERE
	CONDOTTA ACQUE NERE



PIANTA PIANO RIALZATO

LEGENDA

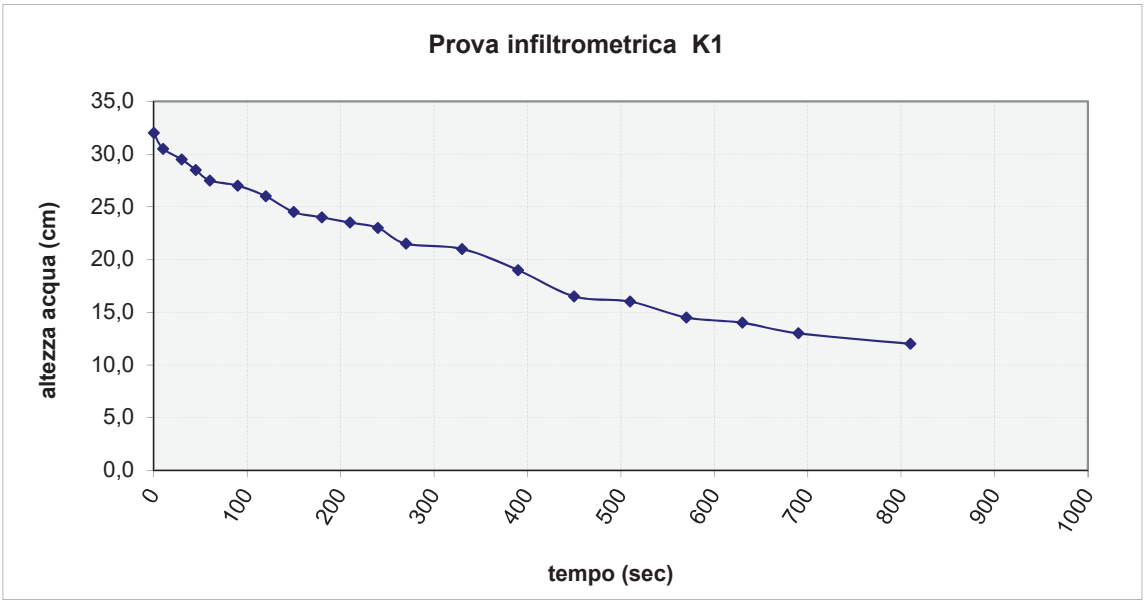
P	POZZO PERDENTE D=1,5 m
	CADITOIA SIFONATA
	PLUVIALE/POZZETTO PIEDE COLONNA
	POZZETTO ISPEZIONE
	CONDOTTA ACQUE BIANCHE
	CANALETTA RACCOLTA ACQUE
	SCARICO ACQUE NERE
	CONDOTTA ACQUE NERE



PIANO PIANO SEMINTERRATO

Prova infiltrometrica

Località: Travagliato, Via Bassano Cremonesini, 4
Committente: Artex Di Begni Paolo & C Snc
Trincea esplorativa: **T1**
Profondità esecuzione prova: 2,4 m dal p.c.

DATI	
Diametro infiltrometro (cm)	30,00
Sezione (cm^2)	706,500
Infissione (cm)	15
Altezza infiltrometro (cm)	50
RISULTATI	
K media (m/s)	**1,38E-04**

MISURE						
Tempo	**Intervallo**	**Lettura livello idrico**	**Abbassamento**	**Velocità flusso**	**Gradiente**	**Permeabilità**
T progressivo (s)	**delta T (s)**	**h (cm)**	**delta h (cm)**	**v (cm/s)**	**i**	**k (cm/s)**
0	-	32,0	-	-	-	-
10	10	30,5	1,5	0,150	3,03	0,0495
30	20	29,5	1,0	0,050	2,97	0,0169
45	15	28,5	1,0	0,067	2,90	0,0230
60	15	27,5	1,0	0,067	2,83	0,0235
90	30	27,0	0,5	0,017	2,80	0,0060
120	30	26,0	1,0	0,033	2,73	0,0122
150	30	24,5	1,5	0,050	2,63	0,0190
180	30	24,0	0,5	0,017	2,60	0,0064
210	30	23,5	0,5	0,017	2,57	0,0065
240	30	23,0	0,5	0,017	2,53	0,0066
270	30	21,5	1,5	0,050	2,43	0,0205
330	60	21,0	0,5	0,008	2,40	0,0035
390	60	19,0	2,0	0,033	2,27	0,0147
450	60	16,5	2,5	0,042	2,10	0,0198
510	60	16,0	0,5	0,008	2,07	0,0040
570	60	14,5	1,5	0,025	1,97	0,0127
630	60	14,0	0,5	0,008	1,93	0,0043
690	60	13,0	1,0	0,017	1,87	0,0089
810	120	12,0	1,0	0,008	1,80	0,0046