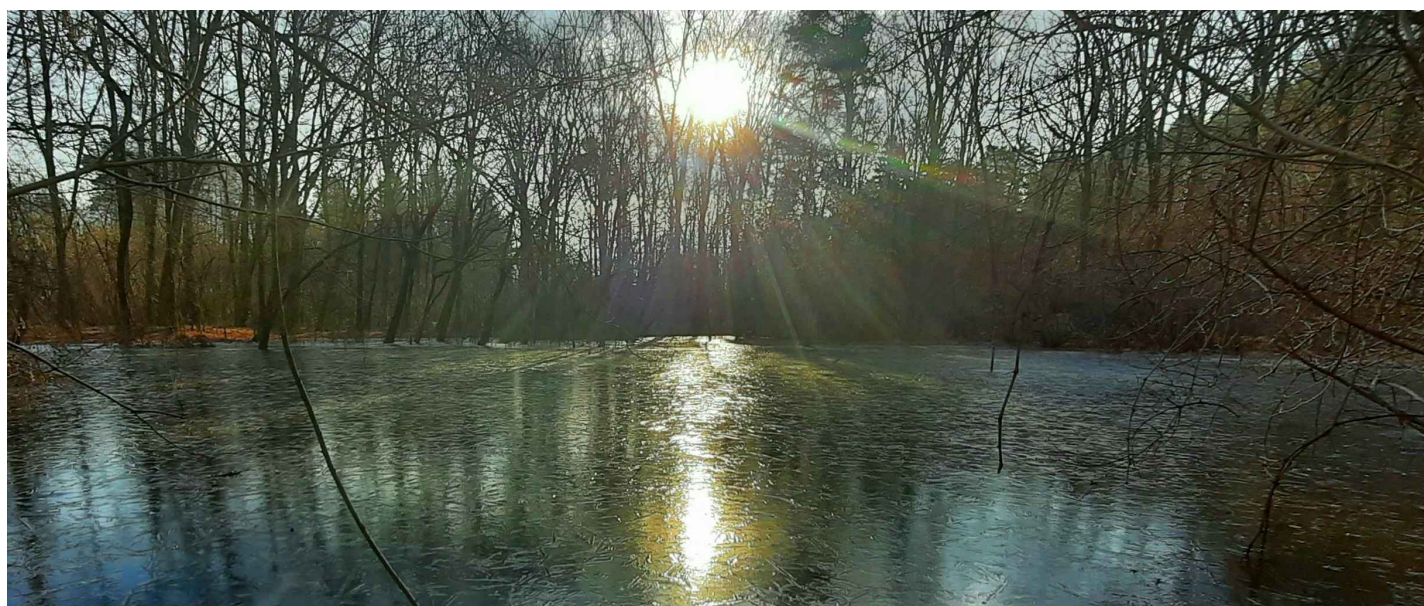


PROGETTO LIFE19 NAT/IT/000883 LIFE INSUBRICUS

“Urgent actions for long-term conservation of *Pelobate fuscus insubricus* in the distribution area”

AZIONE A4 - PIANIFICAZIONE ESECUTIVA AZIONI C3

PARCO PINETA DI APPIANO GENTILE E TRADATE

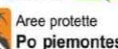


**INTERVENTI PER LA CONSERVAZIONE A LUNGO TERMINE DEL PELOBATE FOSCO INSUBRICO
NEL SITO NATURA 2000 ZSC IT2020007 – PINETA PEDEMONTANA DI APPIANO GENTILE
REGIONE LOMBARDIA – COMUNI DI CASTELNUOVO BOZZENTE E APPIANO GENTILE (CO)**

Co-financed by

Partners

Supporto alla progettazione


Ente di gestione delle aree protette
Città metropolitana di Torino

Ente di gestione delle aree protette
Città metropolitana di Torino


LOTTO 1, LAGHETTO DEL RUSUN - PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Titolo elaborato:

Relazione geologica

Elaborato n°

02

Timbro e firma:

Ns. Rif.

21BP17

Data:

Marzo 2022

Scala:

Formato:

ISO A4

DIRETTORE TECNICO:

Dott. Ing. Massimo SARTORELLI

PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Beniamino Barenghi

Dott. For. Enrico Pozzi

Dott. Geol. Elena Nostani



Via Repubblica n.1
21020 - Varano Borghi (VA) -IT
tel.: +39 0332.961097
fax: +39 0332.961162
www.bluprogetti.eu
info@bluprogetti.eu





SOMMARIO

PREMESSA	2
1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI INTERVENTO	4
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	6
3 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO	8
4 ASPETTI RELATIVI ALLA SISMICITÀ.....	9
5 FATTIBILITÀ' E VINCOLI	15
6 CAMPAGNA DI INDAGINI	16
6.1 SAGGI ESPLORATIVI E PROVE DI PERMEABILITÀ IN POZZETTO SUPERFICIALE	17
6.2 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO	21
6.3 PROVA LEFRANC A CARICO VARIABILE IN FORO DI SONDAGGIO	23
7 CONCLUSIONI ED INDICAZIONI PROGETTUALI	26



PREMESSA

La presente relazione geologica riguarda gli interventi da realizzarsi nel Comune di Appiano Gentile (CO) sull'area del Laghetto del Rusun.

La problematica principale relativa alla progettazione è stata quella di capire la stratigrafia esistente nel sottosuolo dell'area di intervento e di appurare la permeabilità dei depositi al fine di essere certi nella buona riuscita dell'obiettivo di progetto, che consiste nel migliorare la funzionalità del laghetto come ambiente per la riproduzione del pelobate fosco.

In particolare, perché il laghetto possa svolgere in modo ottimale tale funzione, è necessario far in modo che esso possa accumulare acqua nel periodo invernale e trattenerla fino a metà estate, quando si conclude la metamorfosi dei girini che abbandonano lo stagno per proseguire il loro ciclo vitale nel bosco. A questo punto è necessario che lo stagno si asciughi completamente e rimanga tale fino a quando le precipitazioni autunnali invasano nuovamente lo stagno, che rimarrà quindi invasato fino all'estate successiva.

Questa alternanza tra presenza e assenza di acqua, assieme ad una buona esposizione alla luce del sole e alla presenza di un bosco strutturato nelle aree adiacenti, sono gli elementi fondamentali che caratterizzano l'ambiente riproduttivo del pelobate fosco.

Il laghetto del Rusun presenta solo in parte le caratteristiche appena illustrate: la morfologia "a catino" dell'area e le caratteristiche pedologiche del sito sono tali per cui la capacità di trattenere acqua per tutto il periodo riproduttivo del pelobate, fino alla conclusione della metamorfosi dei girini, non è sempre garantita. Anche nelle annate caratterizzate da abbondanti precipitazioni primaverili, in assenza di piogge tra giugno e luglio, il rischio che l'area si asciughi prematuramente è elevato.

Per questa ragione, gli elementi principali del presente progetto consistono da un lato nell'incremento della impermeabilità dello stagno, dall'altro nella realizzazione di un sistema che facilita lo svuotamento dell'area umida al termine del ciclo riproduttivo del pelobate fosco.

La relazione è stata redatta compiendo preliminarmente un'accurata indagine bibliografica volta alla ricerca sia dei dati geologici e idrogeologici disponibili sia dei vincoli insistenti sull'area di interesse.

In particolare sono state consultate le banche dati della Regione Lombardia (SIT – Sistema Informativo Territoriale) e del Comune di Appiano Gentile (Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio).

Oltre alle NTC/2018 e relativa circolare, la normativa di riferimento presa in considerazione per la redazione della presente relazione, viene così riassunta:

- ✓ ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO 20.03.2003 N°3274 (G.U. 08.05.2003 N°105) Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica;
- ✓ L.R. 11 MARZO 2005 - N. 12 "Legge per il governo del territorio" (Piani di Governo del Territorio);
- ✓ ORDINANZA DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO 28.04.2006 N°3519 Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone;
- ✓ D.G.R. IX/2616 DEL 30 NOVEMBRE 2011 Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in



- attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n. 12", approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374;
- ✓ D.G.R. 11 LUGLIO 2014 - N. X/2129 Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r.1/2000, art. 3, c. 108, lett. d);
 - ✓ LEGGE REGIONALE L.R.N. 33/2015 Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche e D.G.R.5001/2016 Nuova zonazione simica;
 - ✓ DIRETTIVA ALLUVIONI 2007/60/CE – D.lgs. 49/2010;
 - ✓ D.G.R. 19/06/2017, n. X/6738 Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art. 58 delle norme di attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del bacino del fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con deliberazione n. 5 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po;
 - ✓ A.G.I. ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA 1977, "Raccomandazioni sulla progettazione e sulla esecuzione delle indagini geotecniche";
 - ✓ REGOLAMENTO REGIONALE n.7 del 23/11/2017 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);
 - ✓ R.R. n. 8 del 24/04/2019 Disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 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').

Proprio per investigare la stratigrafia e la permeabilità dei depositi caratterizzanti il sottosuolo delle aree di intervento, è stata eseguita una campagna di indagini ad hoc, che è consistita in:

- ✓ n° 1 sondaggio a carotaggio continuo con estrazione delle carote e riconoscimento della stratigrafia;
- ✓ n° 1 prova di permeabilità nel foro di sondaggio;
- ✓ posizionamento di piezometro entro il foro di sondaggio per monitoraggio del livello dell'acqua nel tempo, anche e soprattutto successivamente alla realizzazione delle opere di progetto.

Prima dell'esecuzione della succitata campagna di indagini, erano state eseguite n° 2 prove di permeabilità in pozzetto superficiale e, a seguito delle risultanze, si è poi deciso di eseguire il sondaggio.

Tutte le indagini eseguite verranno dettagliatamente descritte nel proseguo della relazione.



1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI INTERVENTO

L'area di intervento si colloca in Comune di Appiano Gentile (CO), ai margini del Parco Pineta di Appiano Gentile e Tradate. L'area interessata dal progetto si trova all'interno di un sistema di colline originate da depositi morenici, delimitata dal Torrente Antiga a ovest e dal Torrente Lura a est.

La zona si trova in una conca leggermente depressa rispetto al piano campagna circostante, ad una quota di circa 354 m s.l.m.

250 metri a sud della conca si trova il Monte Beludrò, una delle colline moreniche che caratterizzano il sito, che raggiunge la quota di 399 m s.l.m., mentre 700 metri a nord si trova un altro rilievo morenico che raggiunge i 410 m s.l.m.

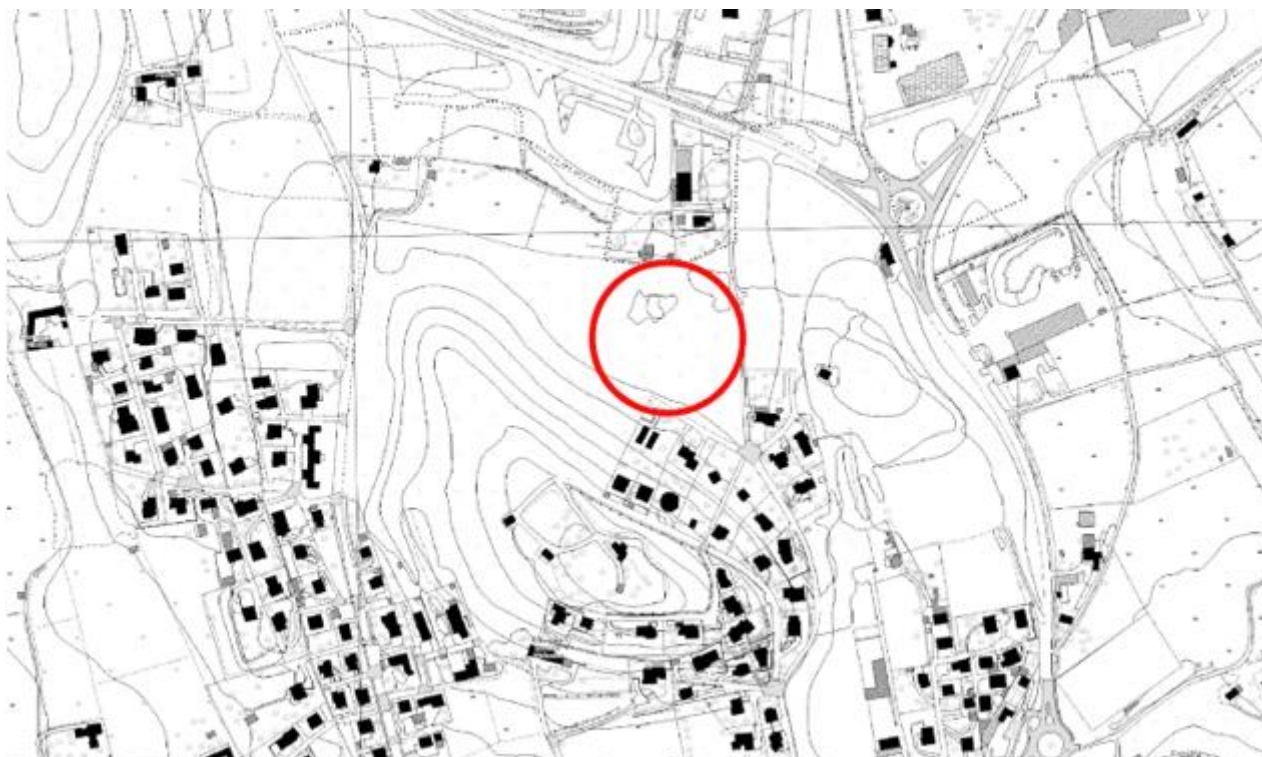


Figura 1 - Localizzazione su CTR dell'area di intervento

L'area è costituita da una zona leggermente depressa -il laghetto- caratterizzata da accumuli stagionali di acqua che, a seconda della piovosità delle stagioni invernali può raggiungere anche un livello di due metri e permanere fino alla stagione estiva. A est del laghetto sono presenti delle baulature costituite da alcuni fossi paralleli orientati da sud a nord e da un fosso principale, che collega le estremità nord dei fossi secondari e drena l'acqua verso il laghetto.

L'area semi- pianeggiante attualmente occupata dal laghetto ha un'estensione di circa 1.000 mq, mentre l'area interessata complessivamente dagli interventi, che comprende anche la zona delle baulature e alcune porzioni di bosco a ovest e a sud del laghetto ha un'estensione complessiva di quasi 6.000 mq.



Figura 2 – Alcune immagini dell'area di intervento



2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

La porzione occidentale del Comune di Appiano Gentile corrisponde ad una vasta area sub - pianeggiante, di origine fluvioglaciale, con terrazzi caratterizzati da una notevole alterazione superficiale inseriti all'interno del Parco Pineta di Appiano Gentile e Tradate.

Dal punto di vista geologico, come mostrato dalla Carta geologica allegata al PGT Comunale, l'area di intervento si caratterizza per la presenza del Supersintema di Venegono (Pleistocene medio): si tratta di limi debolmente argillosi con clasti debolmente alterati sparsi (loess colluviali).

Il Supersintema di Venegono costituisce gran parte delle coperture dei principali versanti e dei fondovalle appiattiti di molti corsi d'acqua temporanei o abbandonati.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area è caratterizzata da elementi che riconducono all'azione glaciale: le forme più evidenti sono rappresentate dai cordoni morenici, che indicano la presenza di un margine glaciale.

Sono tuttavia presenti anche forme legate a più processi geomorfologici, tra cui gli orli di terrazzo morfologico.

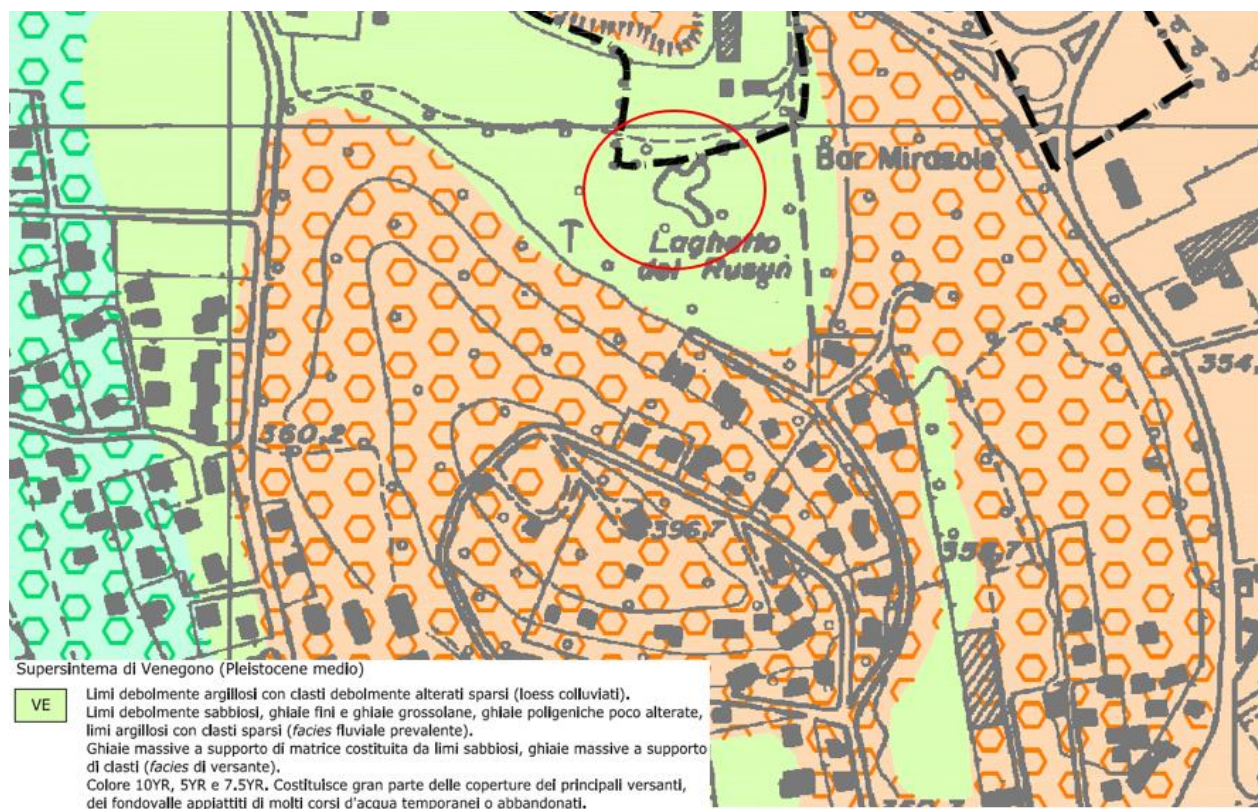


Figura 3 - Stralcio della Carta Geologica allegata al PGT Comunale



Figura 4 - Stralcio della Carta Geomorfológica allegata al PGT Comunale



3 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO

Circa gli aspetti idrogeologici, nell'area del laghetto Rusun, la falda – come mostrato dalla carta idrogeologica del PGT Comunale, dovrebbe attestarsi attorno ai 70 m rispetto alla quota del p.c; tuttavia, non si esclude la presenza di piccole falde sospese entro i livelli più grossolani.

Stante le caratteristiche granulometriche dei depositi presenti nell'area, le problematiche legate al drenaggio delle acque superficiali sono da considerarsi da modeste ad elevate.

Per quanto riguarda gli aspetti idrografici, non si segnalano reticoli idrici nell'immediato intorno delle aree di intervento.

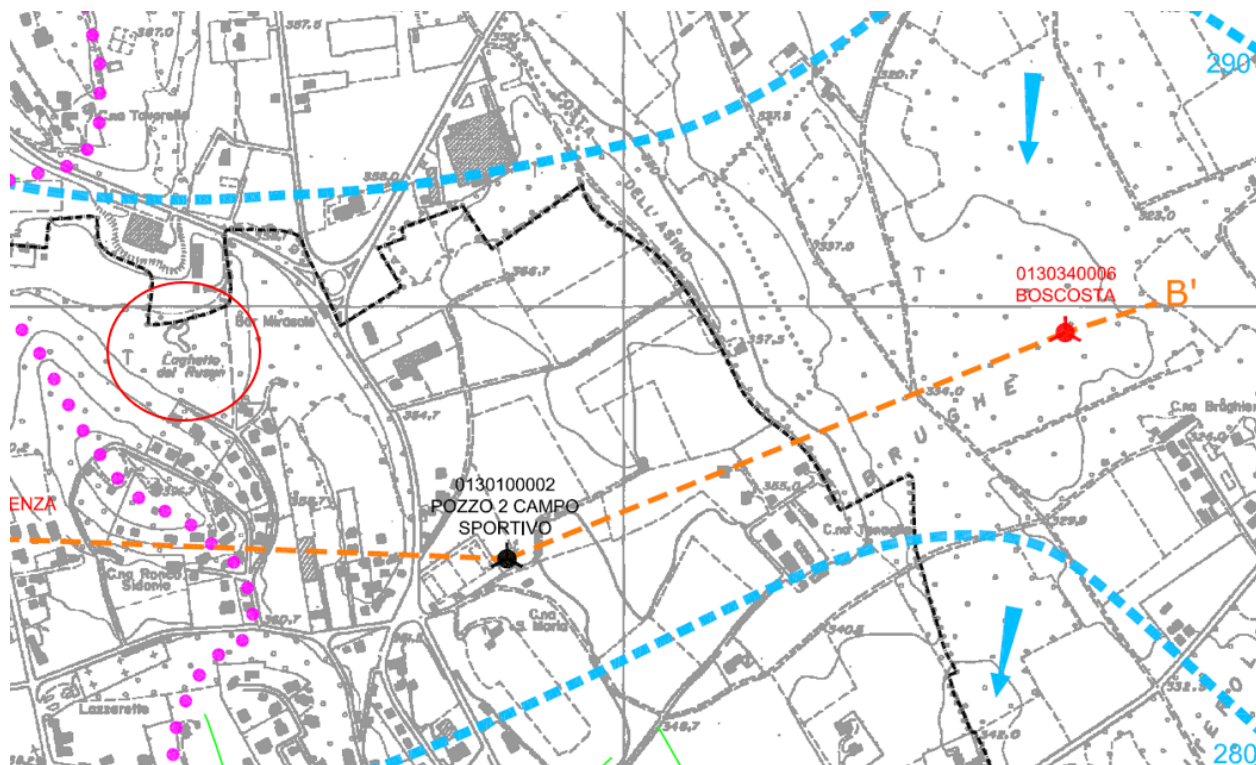


Figura 5 - Stralcio della Carta Idrogeologica allegata al PGT Comunale



4 ASPETTI RELATIVI ALLA SISMICITÀ

Il Comune di Appiano Gentile, prima del 2003, non era considerato Comune sismico e non rientrava in alcuna classificazione.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003 introdusse le nuove classificazioni sismiche per tutto il territorio nazionale lasciando alle Regioni la facoltà di poter modificare i parametri del proprio territorio. Tutto il territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche, con grado di rischio decrescente dalla 1 alla 4; la suddivisione in classi deriva dalla valutazione della pericolosità sismica su tutto il territorio nazionale, valutata come accelerazione orizzontale massima al suolo, dovuta al sisma, con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Con l'entrata in vigore di cui sopra tutto il territorio nazionale venne classificato sismico, con differenti livelli, ed anche il Comune di Appiano Gentile rientrò in questa classificazione in zona sismica 4, quella con rischio basso.

Nel 2014, anche a seguito del forte evento sismico che ha colpito i territori delle province di Mantova e Modena, la Regione Lombardia ha approvato, D.g.r. 11 luglio 2014 – n.X/2129, una nuova classificazione sismica del territorio Regionale e, gran parte dei comuni lombardi hanno variato la loro zona sismica.

La classificazione è entrata definitivamente in vigore nell'aprile 2016 ed il Comune di Appiano Gentile non ha visto variazioni nella sua classificazione sismica, rimanendo in classe di sismicità 4.

Mappa di classificazione sismica dei comuni lombardi

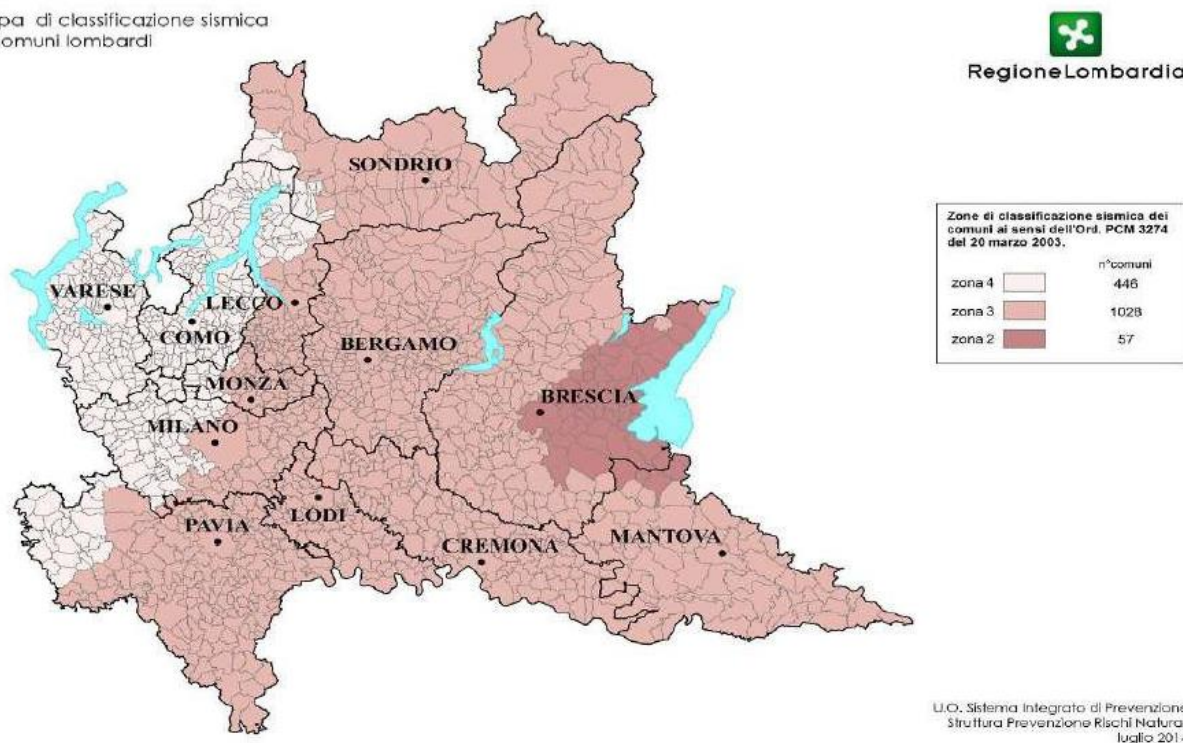


Figura 6 - Mappa della classificazione sismica della Lombardia attualmente in vigore



Prendendo in considerazione la zonazione sismo - genetica del territorio italiano ZS9, prodotta nel 2004 dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) utilizzata per la valutazione della pericolosità sismica, si riscontra che il Comune di Appiano Gentile risulta esterno a qualunque zona sismogenetica.



Figura 7 - Mappa delle zone sismogenetiche italiane con localizzazione del Comune di Appiano Gentile.

È stata inoltre eseguita un'interrogazione al DataBase Macrosismico Italiano chiamato DBMI15 (Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. 2016). Questo Database indica una serie di intensità macrosismiche, prendendo in considerazione solo terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.



La ricerca effettuata per il Comune di Appiano Gentile evidenzia la presenza di possibili effetti in 4 terremoti, con un'intensità epicentrale Io compresa tra 5 e 7, e una magnitudo momento Mw compresa tra 4,35 e 5,36.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1991	11	20	01	54	1	Grigioni, Vaz	468	6	4.70
NF	1995	10	29	13	00	2	Lago d'Iseo	408	5-6	4.35
NF	2000	08	21	17	14		Monferrato	595	6	4.94
2-3	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36

Figura 8 - Risultati dell'interrogazione al database macrosismico italiano DBMI15 per il Comune di Appiano Gentile

Con riferimento alle NTC/2018 "Norme tecniche per le costruzioni" la sismicità di base dell'area in esame è definibile in funzione del valore assunto dall'accelerazione massima attesa su suolo rigido per eventi con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni, in corrispondenza dei nodi del reticolo di riferimento nazionale (Mappa interattiva di pericolosità sismica dell'INGV).

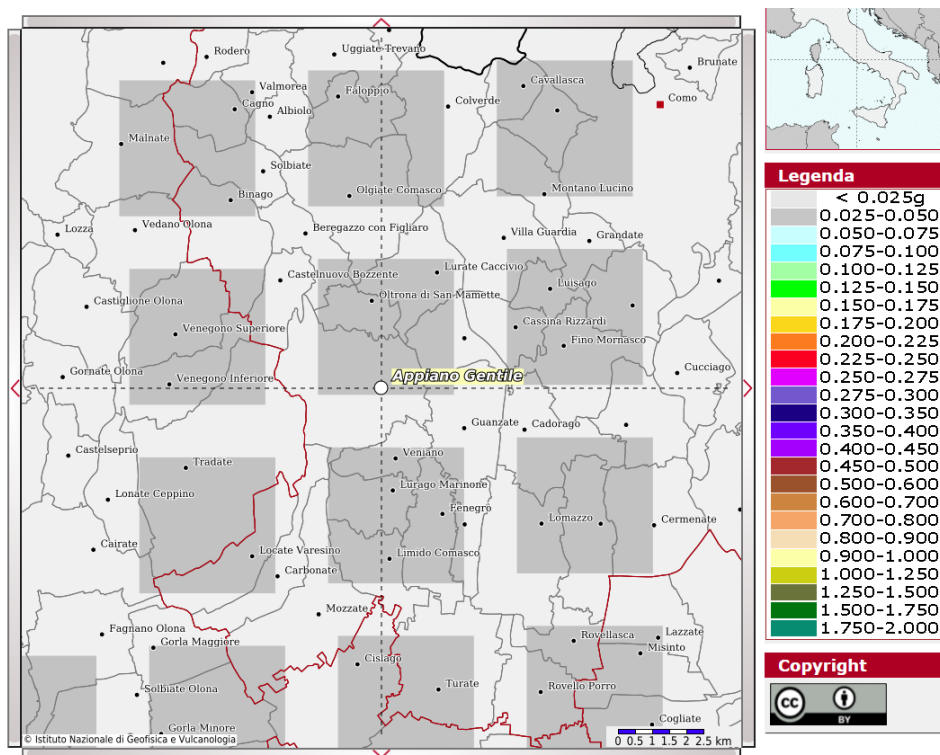


Figura 9 - Stralcio Mappa interattiva di pericolosità sismica dell'INGV centrata sul Comune di Appiano Gentile



Come si nota, il valore dell'accelerazione di picco su suolo rigido per il sito d'indagine a cui corrisponde una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, è compreso tra 0,025g e 0,050g. Tale valore massimo (Agmax) in riferimento all'Allegato A della D.G.R. di Regione Lombardia n.X – 2129/2014 è il seguente:

ISTAT	Provincia	Comune	Zona Sismica	AgMax
03013010	CO	APPIANO GENTILE	4	0,039505

Secondo la mappa interattiva di pericolosità sismica dell'INGV, nel territorio del Comune di Appiano Gentile sono attesi eventi sismici di Magnitudo (M) media pari a 5,17 per una distanza dal nodo (Coordinate del punto lat: 45.751, lon: 8.981) pari a 90,80 Km.

Per definire l'azione sismica di progetto, occorre determinare l'effetto della risposta sismica locale (RSL) mediante specifiche analisi che, in sintesi, si basano sulla definizione di amplificazione locale del fenomeno, i cosiddetti "effetti di sito". In assenza di analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento e sulle condizioni topografiche.

La normativa vigente identifica 5 categorie di sottosuolo, e la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (m/s) definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = H / (\sum h_i / V_{si})$$

dove:

- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s;
- h_i = spessore (m) dello strato i -esimo cui corrisponde una velocità V_{si} .

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.



CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Inoltre vengono distinte 4 condizioni topografiche per tenere conto della morfologia del sito.

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore uguale 15°.
T2	Pendii con inclinazione media maggiore di 15°.
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media compresa tra 15° e 30°.
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media maggiore di 30°.

Nell'ambito del PGT Comunale è stata redatta la Carta della PSL (Pericolosità Sismica Locale) di 1° livello, in cui vengono definite, sulla base della normativa regionale (Allegato 5 – Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio) le aree di potenziale amplificazione sismica.

L'area oggetto di intervento risulta interna allo scenario di amplificazione Z4d: zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio colluviale (*Figura 10*).

Secondo l'Allegato 5 della D.G.R. n.IX/2016 di Regione Lombardia, i livelli di approfondimento sismico e le fasi di applicazione sono strettamente legati alla zona sismica nella quale ricade il Comune d'indagine, allo scenario sismico interessato e alla fase di progettazione.

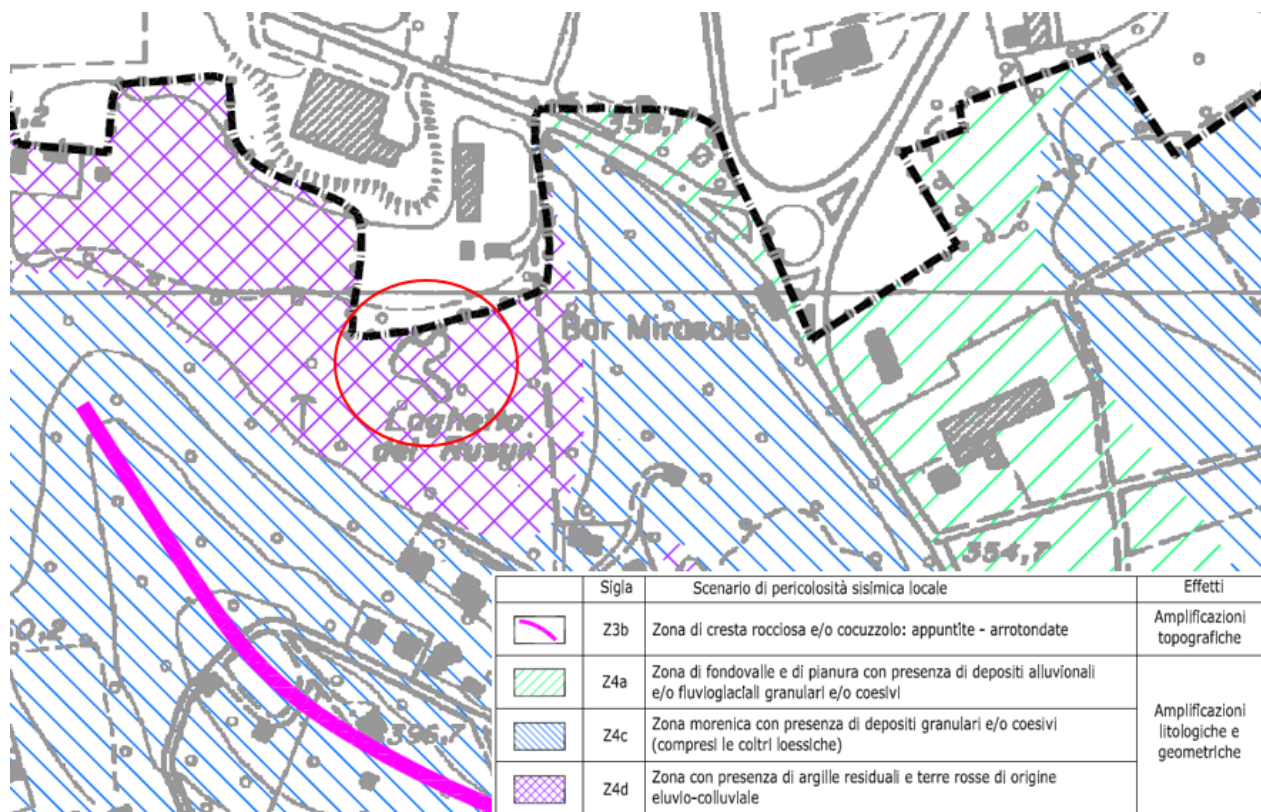


Figura 10 - Stralcio della carta della PSL da PGT Comunale

Livelli di approfondimento e fasi di applicazione			
	1° livello fase pianificatoria	2° livello fase pianificatoria	3° livello fase progettuale
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando F_a calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1e Z2.
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando F_a calcolato > valore soglia comunale; - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti.

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Sulla base della tabella sopra, si evince che, per quanto riguarda il Comune di Appiano Gentile, inserito in classe sismica 4 e soggetti in quella specifica area ad uno scenario di pericolosità Z4, è necessario il 2° livello di approfondimento solo nel caso di strutture strategiche e rilevanti, casistica nella quale non si configura l'opera di progetto.



5 FATTIBILITÀ' E VINCOLI

Dalla carta di fattibilità geologica allegata al PGT Comunale, si evince come l'area di intervento sia ricompresa nella classe di fattibilità 3 – Fattibilità con consistenti limitazioni all'uso dei terreni; la classe di fattibilità, come è possibile notare dalla carta di sintesi, è stata data in funzione del fatto che tali aree sono caratterizzate dalla presenza di terreni colluviali con limitata capacità portante e spessore in genere superiore a 3 m.

Circa la vincolistica presente sul sito, non si segnalano vincoli di sorta.

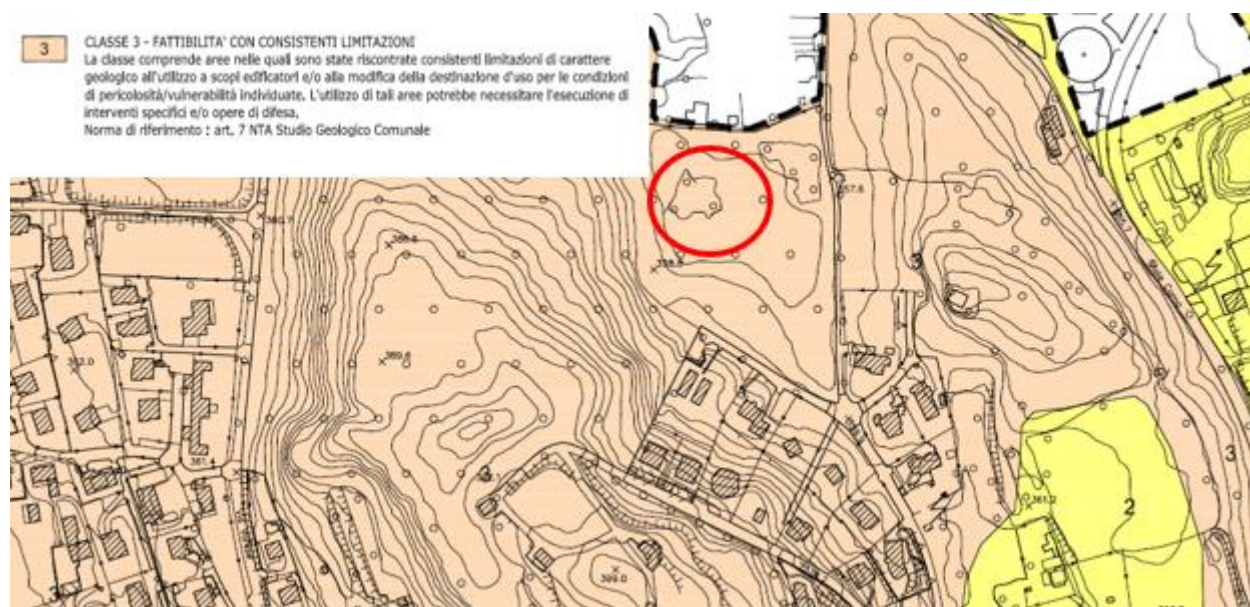


Figura 11 - Stralcio della carta della Carta di fattibilità geologica da PGT Comunale.



Figura 12 - Stralcio della carta della Carta dei vincoli da PGT Comunale



6 CAMPAGNA DI INDAGINI

La campagna di indagini si è sviluppata in 2 step distinti:

- ✓ inizialmente, al fine di disporre di un'idea di massima della stratigrafia e della permeabilità dell'area, sono state eseguite due trincee esplorative superficiali, all'interno delle quali sono state eseguite prove di permeabilità in pozzetto superficiale;
- ✓ successivamente, considerando la non perfetta omogeneità tra le indagini speditive eseguite, e stante il fatto che il fine ultimo era quello di capire se nel sottosuolo, al di sotto del terreno costituito da materiale per lo più coesivo, ci fosse uno strato di terreno drenante entro cui "far drenare l'acqua" per scaricare il laghetto durante il periodo compreso tra metà estate ed inizio autunno, si è deciso di eseguire un sondaggio a carotaggio continuo con estrazione delle carote.

Il sondaggio a carotaggio continuo ha permesso di vedere la stratigrafia fino a 10 m di profondità (oltre il quale si è deciso di non proseguire), e soprattutto di eseguire una prova Lefranc entro il terreno granulare rinvenuto a partire dalla profondità di circa 6,30 m rispetto alla quota del piano campagna.

All'interno del foro di sondaggio è stato inoltre posato un piezometro per il controllo futuro del livello delle acque.

Di seguito si passano quindi in rassegna le metodologie d'indagine e se ne evidenziano i risultati.



6.1 SAGGI ESPLORATIVI E PROVE DI PERMEABILITÀ IN POZZETTO SUPERFICIALE

Il giorno 31 gennaio 2022, sono stati eseguiti due saggi esplorativi nell'area di interesse; all'interno dei due saggi sono poi state eseguite le prove di permeabilità.

Circa la stratigrafia osservata nei due saggi:

SAGGIO 1	SAGGIO 2
0 - 0,40 m = Sabbia limoso - argillosa	0 – 0,50 m= Sabbia limoso - argillosa
0,40 – 0,7 = Terreno argilloso	

Le prove in pozzetto consentono di determinare in modo molto semplice la permeabilità di un terreno superficiale al di sopra del livello di falda.

Operativamente si realizza uno scavo, lo si riempie di acqua e si valuta la portata necessaria per mantenere il livello costante (prova a carico costante) o si valuta l'abbassamento dell'acqua all'interno dello scavo (prove a carico variabile).

Il pozzetto di prova può essere a forma quadrata o circolare e le dimensioni possono essere scelte basandosi sugli strumenti di scavo disponibili.

In linea di principio comunque le dimensioni devono aumentare all'aumentare delle dimensioni dei granuli del terreno.

In particolare il lato quadrato (nel caso di pozzetti a base quadrata) o il diametro del cerchio (nel caso di pozzetti circolari) deve essere superiore a 10 – 15 volte la dimensione della frazione granulometrica significativa. Se ad esempio la prova viene eseguita in ghiaie di dimensione dei granuli di circa 2 cm, la larghezza del pozzetto non deve essere inferiore a 20 – 30 cm.

Se il terreno è sabbioso o comunque con componente sabbiosa dominante, la dimensione del pozzetto è sempre superiore a 15 volte la dimensione dei granuli di sabbia; basandosi sulla documentazione bibliografica presente, in questi casi si può raggiungere comunque un lato del pozzetto di almeno 30 – 40 cm. La profondità del pozzetto è a discrezione dell'operatore.

Occorre comunque evitare di avvicinarsi eccessivamente alla superficie della falda perché, secondo le raccomandazioni AGI deve risultare $H \geq 7h$

Nel caso di prove a carico variabile, come quelle eseguite, il vincolo diviene: $(h_1+h_2)/2=hm$; $H \geq 7 hm$.

Sempre secondo le raccomandazioni AGI devono essere valide anche le condizioni: $hm > d/4$ per le prove a carico variabile; $h > d/4$ per le prove a carico costante. Prima di eseguire la prova il terreno deve essere preventivamente saturato mediante immissione d'acqua e si deve stabilire un regime di flusso permanente.

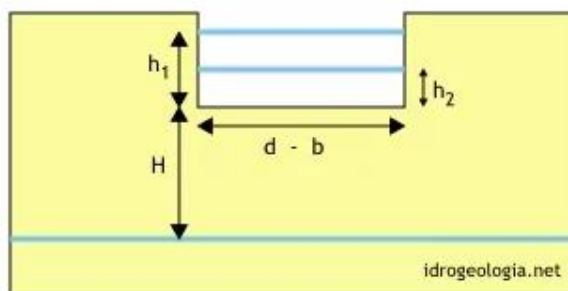


Figura 13: Schema prova di permeabilità a carico variabile in pozzetto superficiale.

Nella prova a carico variabile, quale quella eseguita sull'area di indagine, si porta il livello dell'acqua alla quota h_1 e poi si misura in quanto tempo l'acqua scende al livello h_2 .

Successivamente si utilizza la formula per risalire al coefficiente di permeabilità. La prova viene interpretata utilizzando la seguente formula per una prova a carico variabile in pozzetto quadrato:

$$k = \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \times \frac{1 + \left(\frac{2hm}{b}\right)}{\left(\frac{27hm}{b}\right) + 3}$$

dove:

b : lato del pozzetto a base quadrata;

hm : altezza media dell'acqua nel pozzetto durante la prova a carico variabile;

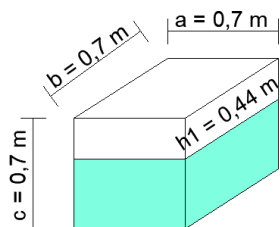
h_1, h_2 : altezze d'acqua nel pozzetto misurate dalla base del pozzetto all'inizio e alla fine della prova a carico variabile;

$t_2 - t_1$: durata della prova a carico variabile.

Di seguito vengono esposti in tabella i valori rilevati nelle prove di permeabilità eseguite nei pozzetti.



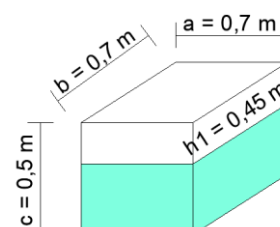
PROVA DI PERMEABILITA' IN POZZETTO SUPERFICIALE N°1



Altezza h (m)	Tempo t (sec)
0,44 (h1)	0 (t1)
0,38	240
0,35	780
0,31	2220
0,26	3420
0,13(h2)	8340 (t2)

$$k = \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \times \frac{1 + \left(\frac{2hm}{b}\right)}{\left(\frac{27hm}{b}\right) + 3} = 6,29 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

PROVA DI PERMEABILITA' IN POZZETTO SUPERFICIALE N°2



Altezza h (m)	Tempo t (sec)
0,45 (h1)	0 (t1)
0,30	360
0,28	720
0,22	2460
0,22	3360
0,21(h2)	8280(t2)

$$k = \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \times \frac{1 + \left(\frac{2hm}{b}\right)}{\left(\frac{27hm}{b}\right) + 3} = 3,58 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$



La permeabilità trovata per entrambe le prove è riconducibile ad un terreno avente scarse capacità di drenaggio.

I due valori di permeabilità sono confrontabili, sebbene il valore di k ottenuto nel pozzetto n° 2 sia leggermente maggiore.

Si sottolinea come, dopo circa un giorno dall'apertura dei due pozzetti, l'acqua era completamente sparita nel pozzetto 1, mentre nel pozzetto 2 rimaneva un'aliquota di circa 17 cm.

Questo denota come la stratigrafia locale possa essere tale da comprendere livelletti più permeabili all'interno di uno macro – strato che può essere definito tutto sommato impermeabile.

Proprio per questo non è possibile fare affidamento sulla sola impermeabilità delle pareti e del fondo del laghetto in progetto per trattenere l'acqua, ma sarà necessaria la posa di un telo impermeabile affinché l'acqua permanga per il tempo necessario agli obiettivi di progetto.

Avendo appurato la necessità della posa del telo impermeabile si è reso indispensabile eseguire delle indagini aggiuntive – il sondaggio di cui si è parlato precedentemente – per capire se, al di sotto del macro strato poco permeabile, esistesse uno strato più permeabile entro cui far drenare l'acqua di svuotamento del laghetto attraverso la realizzazione di un pozzo perdente.

K (m/s)	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
K (cm/s)	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	
Drenaggio	Buono					Povero			Praticamente impermeabile			
	Ghiaia pulita	Sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita				Sabbia fine, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati			Terreni impermeabili, argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici			

Figura 14 - Classificazione della capacità di drenaggio dei terreni sulla base della permeabilità.

Grado di permeabilità	Valore di K	
	(m/s)	(cm/s)
Alto	$K > 10^{-3}$	$K > 10^{-1}$
Medio	$10^{-3} < K < 10^{-5}$	$10^{-1} < K < 10^{-3}$
Basso	$10^{-5} < K < 10^{-7}$	$10^{-3} < K < 10^{-5}$
Molto basso	$10^{-7} < K < 10^{-9}$	$10^{-5} < K < 10^{-7}$
Impermeabile	$K < 10^{-9}$	$K < 10^{-7}$

Figura 15 - Classificazione del grado di permeabilità sulla base del valore misurato di K.

6.2 SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO

Il giorno 25 febbraio 2022, è stato eseguito un sondaggio a carotaggio continuo sull'area di intervento; la perforazione è stata effettuata con sonda modello Atlas 5F4 2, con rivestimento 152 mm.

Il sondaggio ha raggiunto la profondità di 10 m da p.c.; non si è proceduto oltre tali quote poiché era già stato assolto l'obiettivo di progetto, ovvero quello di trovare uno strato abbastanza consistente, a livello di spessore, di materiale permeabile.

La metodica è stata quella della perforazione a carotaggio continuo con carotiere semplice, al fine di ottenere una precisa visione delle litologie attraversate e una buona conservazione delle carote estratte. Di seguito si riporta l'esatta ubicazione della perforazione.

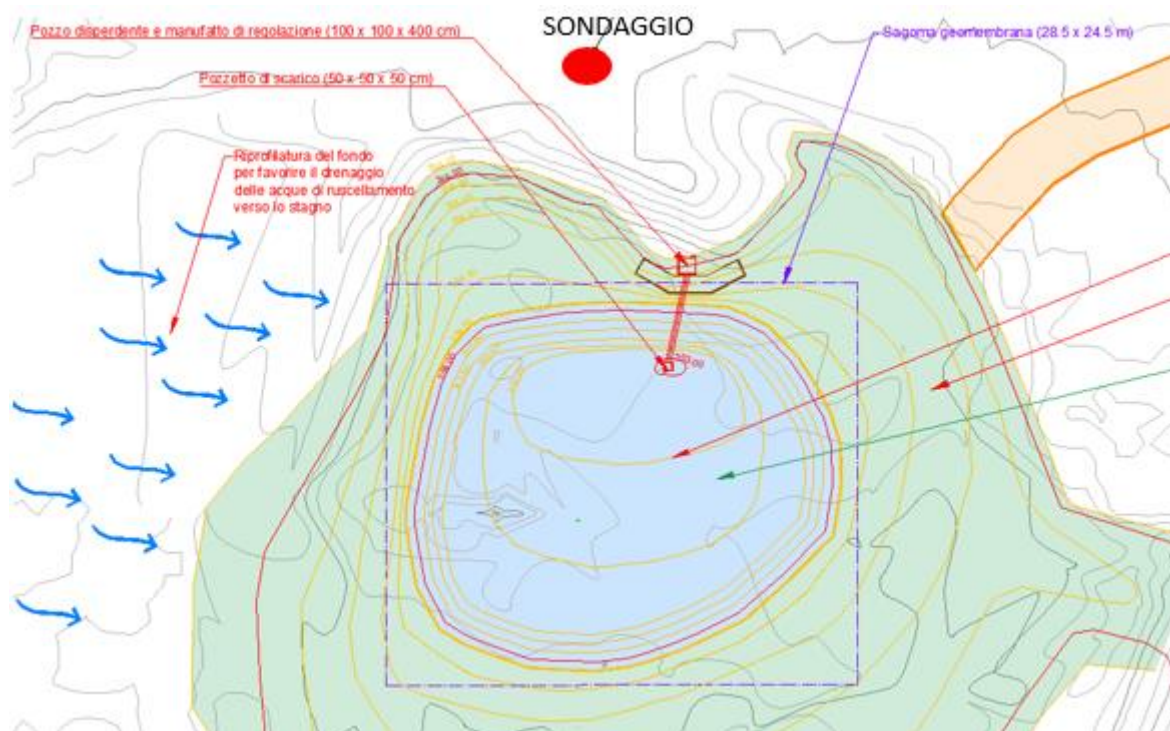






Figura 16 - Ubicazione del sondaggio eseguito in relazione alla posizione degli elementi progettuali

La stratigrafia relativa al sondaggio è riportata di seguito, insieme alla documentazione fotografica delle cassette contenenti le carote estratte.

Come è possibile vedere, lo strato ghiaioso è stato incontrato a partire da circa 6,30 m da p.c.



				COMMITTENTE: Parco Pineta		DATA INIZIO: 25/02/2022		RESPONSABILE: E.N.					
				CANTIERE: Rosun - Appiano Gentile (CO)		DATA ULTIMAZIONE: 25/02/2022		ATTREZZATURA: Sonda Atlas 5F4 2					
				PROGETTO: Laghetto Rosun		OPERATORE: N.N., Eurogeo S.r.l.		PERFORAZIONE n°: S1					

ROTAZIONE CAROTAGGIO CONTINUO	SONDA MODELLO ATLAS 5F4 2	152 mm			Colonna stratigrafica	Descrizione stratigrafica	Prof. falda Falda non rilevata	S.P.T.			Lefranc	Campione disturbato	Campione indisturbato	Piezometro				
					Profondità da p.c. (m)	N°		N° colpi	Profond.									
					0.00													
					0.60													
					1													
					2													
					2.40													
					3													
					3.80													
					4													
					5													
					5.50													
					6													
					6.30													
					7													
					8													
					9													
10																		
													10.00					
													prova Lefranc					
													10.50					
														Cieco - 6 m				

Cassetta 0 m - 5 m



Cassetta 5 m - 10 m





6.3 PROVA LEFRANC A CARICO VARIABILE IN FORO DI SONDAGGIO

Durante la perforazione, è stata eseguita una prova di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile, allo scopo di misurare la conducibilità idraulica (o permeabilità K) dell'orizzonte di terreno identificato nel sondaggio come "ghiaia immersa in matrice sabbioso limosa, leggermente argillosa, inglobante ciottoli dim. max. 10 cm".

Nello specifico la prova è stata eseguita nell'intervallo compreso tra 10 m e 10,5 m da p.c.

La prova Lefranc consiste nel preparare un tratto di foro scoperto durante la perforazione del sondaggio e creare un gradiente idraulico mediante immissione (o estrazione) di acqua nella colonna di rivestimento, tale per cui si possa misurare la portata necessaria a mantenerlo costante (prova a carico costante), o la tendenza al ristabilirsi dell'equilibrio idraulico (prova a carico variabile).

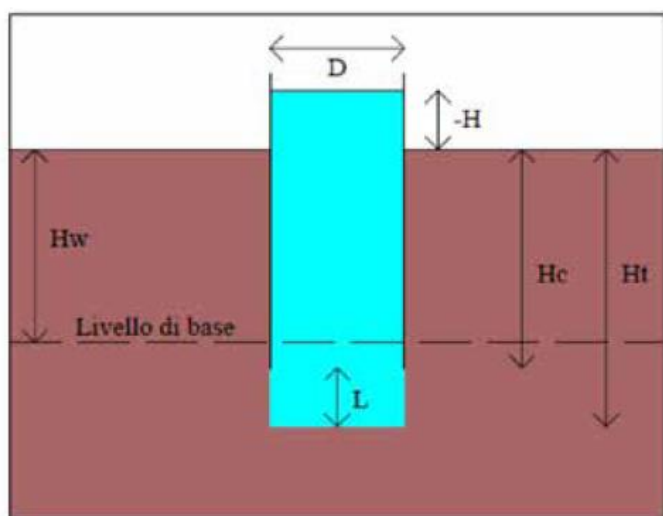
In questa maniera è possibile ricavare tramite opportuni algoritmi di calcolo il coefficiente di permeabilità del terreno.

Per la prova sono state rispettate le seguenti prescrizioni (Associazione Geotecnica Italiana AGI):

- ✓ le pareti della perforazione sono state rivestite con una tubazione per tutto il tratto del sondaggio non interessato dalla prova;
- ✓ il tratto di prova, chiamato tasca, è stato riempito con materiale filtrante di granulometria adatta.

In questo tipo di prova si misura la velocità di riequilibrio del livello dell'acqua nel foro dopo averlo alterato mediante l'immissione di acqua; dall'istante in cui si sospende l'immissione dell'acqua (raggiunta la testa della tubazione di rivestimento), a intervalli di tempo variabili a seconda della velocità di discesa dell'acqua nel foro, si annotano il livello e il tempo di ciascun abbassamento.

Il metodo utilizzato per l'interpretazione dei risultati della prova fa riferimento alla metodologia consigliata dalla Associazione Geotecnica Italiana (AGI) ed utilizza il seguente schema geometrico e relazione di calcolo.



$$K = \frac{A}{C_f \times T}$$

dove:

K = coefficiente di permeabilità

A = area di base

T = tempo di riequilibrio (basic-time lag)

C_f = coefficiente di forma dipendente dalla configurazione geometrica

In generale, $C_f = L$ se $L > D$; $C_f = 2\pi D + L$ se $L < D$



Per la determinazione di T è necessario diagrammare i valori del rapporto h/h_0 , in scala logaritmica, con i corrispondenti valori di tempo t in scala decimale ($t = 0$ all'inizio della prova, quando $h/h_0 = 1$, con h altezza misurata e h_0 altezza iniziale). Viene tracciata poi la retta che meglio collega i punti sperimentali diagrammati e si disegna, quindi, una retta parallela a quella precedente, ma che passa per l'origine degli assi ($h/h_0=1$; $t=0$).

Il valore del tempo t letto in corrispondenza del rapporto $h/h_0 = 0,37$ corrisponde al valore del tempo di riequilibrio T.

Di seguito viene riportato il report di calcolo; come si può notare il valore di permeabilità risultato è pari a 6×10^{-3} cm/sec (6×10^{-5} m/s); tale valore, di un ordine di grandezza superiore rispetto a quello afferente ai depositi superficiali indagati con le prove in pozzetto, permette di collocare i terreni presi in esame tra le formazioni contraddistinte da un grado di permeabilità medio, al limite tra un drenaggio "buono" ed un drenaggio "povero"

K (m/s)	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
K (cm/s)	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}
Drenaggio	Buono					Povero			Praticamente impermeabile			
	Ghiaia pulita	Sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita				Sabbia fine, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati			Terreni impermeabili, argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici			

Figura 17 - Classificazione del grado di permeabilità sulla base del valore misurato di K.

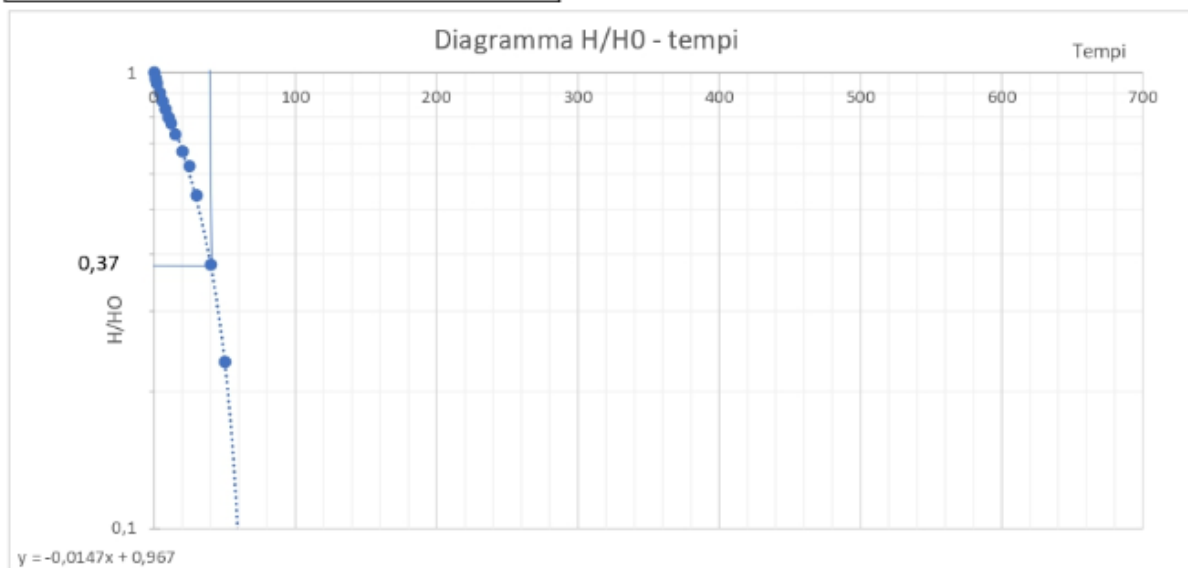
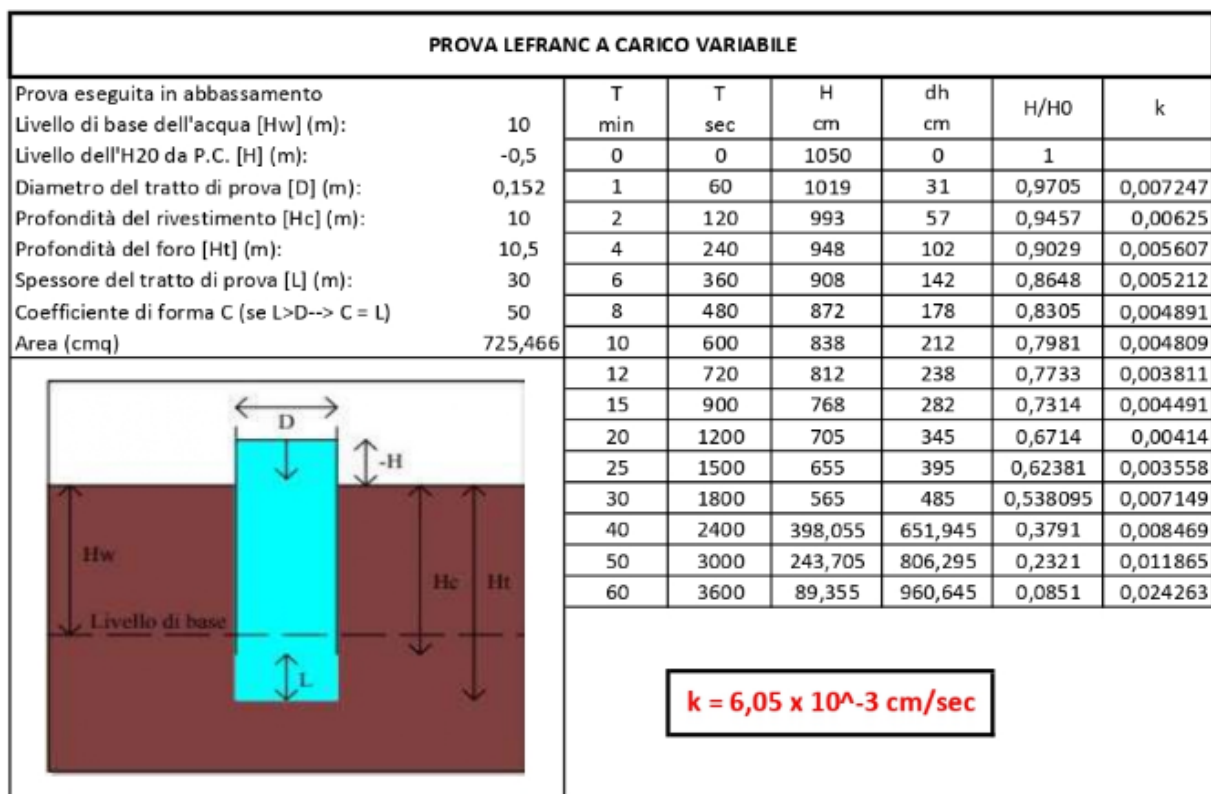


Figura 18 - Elaborazione prova Lefranc.



7 CONCLUSIONI ED INDICAZIONI PROGETTUALI

La presente relazione riguarda gli interventi da realizzarsi nel Comune di Appiano Gentile (CO) sull'area del Laghetto del Rusun.

La necessità progettuale consiste da un lato nell'incremento della impermeabilità dello stagno, dall'altro nella realizzazione di un sistema che in grado di consentire lo svuotamento dell'area umida al termine del ciclo riproduttivo del pelobate fosco.

Nella configurazione di progetto il laghetto deve poter accumulare acqua nel periodo invernale e trattenerla fino a metà estate, quando è invece fondamentale che lo stagno si asciughi completamente e rimanga tale fino a quando le precipitazioni autunnali invasano nuovamente lo stagno, che rimarrà quindi invasato fino all'estate successiva.

Dal punto di vista geologico – idrogeologico, al fine di progettare al meglio gli interventi in oggetto, è stata eseguita una campagna di indagini che è consistita nell'esecuzione preliminare di 2 prove in pozzetto superficiale e, successivamente, per approfondire le conoscenze, è stato eseguito un sondaggio a carotaggio continuo che si è spinto sino a 10 m di profondità da p.c. e all'interno del quale è stata eseguita una prova di permeabilità tipo "Lefranc" a carico variabile.

Le indagini sono state di fondamentale importanza poiché grazie ad esse è possibile esprimere le seguenti constatazioni:

- i primi metri di sottosuolo sono costituiti da terreno per lo più coesivo, avente scarse capacità di drenaggio;
- segue, a partire da circa 6,3 m da p.c. un terreno più grossolano, immerso in matrice subordinatamente coesiva; all'interno di tale strato più grossolano è stata appunto eseguita la prova tipo "Lefranc" a carico variabile, che ha portata alla determinazione del coefficiente di permeabilità K, risultato di un ordine di grandezza superiore rispetto a quello a quello investigato superficialmente con le prove in pozzetto.

Tale permeabilità, pari a 6×10^{-5} m/s, è tipica di miscele di sabbie e ghiaie pulite con subordinata componente limoso argillosa; a tale miscela può essere assegnato un grado di drenaggio al limite tra il "buono" ed il "povero".

Nonostante il non ottimale grado di drenaggio – che peraltro si ricorda che può cambiare a causa di variazioni locali nelle granulometrie prevalenti dello strato indagato - si ritiene che, considerato il fatto che il laghetto non necessita di svuotarsi in tempi brevi, la permeabilità afferente allo strato ghiaioso in matrice sabbioso – limosa con subordinata componente argillosa, sia compatibile con le esigenze del progetto.

A partire da 6,30 metri rispetto al piano campagna, potrà quindi essere impostata la parte filtrante del pozzo perdente che avrà la funzione di infiltrare le acque direttamente nello strato permeabile.



Il buon funzionamento di un pozzo perdente passa attraverso alcuni accorgimenti costruttivi che, tanto in fase di progettazione esecutiva, quanto in fase di realizzazione, devono essere presi in considerazione:

- ✓ 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 80-100 cm 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;
- ✓ si può posizionare uno strato di "tessuto non tessuto" tra il dreno circostante e il pozzo per prevenire eventuali occlusioni e quindi modificare la capacità filtrante.
- ✓ prima del posizionamento è bene verificare che la falda deve essere posta ad almeno 2 m dal fondo del pozzo perdente;
- ✓ una volta realizzato ed in funzione, si consiglia un controllo periodico del manufatto (generalmente ogni sei mesi) per rimuovere eventuali accumuli di sedimenti o fanghi dal fondo.

Varano Borghi, Marzo 2022

Geol. Elena Nostrani

