



COMUNE DI SUNO

Piazza XIV Dicembre, 5 - 28019 Suno (NO)

Progetto di fattibilità tecnico-economica

Lavori di allargamento tratto di via Madonna della Neve e via Cascina Lunga



2 – Relazione geologica

Il tecnico incaricato



Fontaneto d'Agogna, agosto 2025

Studio tecnico
Ing. Fabio Teruggi

28010 - Fontaneto d'Agogna – Via Del Forno n° 2
tel. 3332564406 – email: fla277@hotmail.it

REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI NOVARA



COMUNE DI SUNO

Progetto:

**LAVORI DI ALLARGAMENTO TRATTO
STRADALE DI VIA MADONNA DELLA
NEVE E VIA CASCINA LUNGA**

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

Fase di progettazione: PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA

Formato: A4

File: suno_madonnadellaneve_geo.pdf

Scala:

Data: Dicembre 2023

Revisione: 00

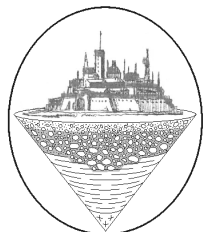
Il tecnico:

Dott. Geol. Mattia Bertani



Casale Tabuloni n°32
28021 Borgomanero (No)
tel. 0322 843722
fax. 0322 060155
www.studiobertani.it

STUDIO DI



**G
E
O
L
O
G
I
A**

Indice

Premessa	2
1. UBICAZIONE AREA DI INTERVENTO	3
1.1. Ubicazione geografica	3
1.2. Ubicazione carta di sintesi dello studio geologico di PRGC	3
1.3. Ubicazione e compatibilità intervento con il PGRA	3
2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI	4
3. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE	5
3.1. Evoluzione geomorfologica in atto e vulnerabilità geomorfologica	5
4. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	6
5. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE ED IDROLOGICHE	7
5.1. Idrografia	7
5.1.1. Cavo Borromeo	7
5.2. Caratteristiche idrologiche	8
5.2.1. Determinazione curva di possibilità pluviometrica	8
6. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE E LITOSTRATIGRAFICHE	10
6.1. Caratteristiche idrogeologiche del territorio	10
6.2. Caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo	10
6.3. Caratteristiche del deflusso idrico sotterraneo	11
6.3.1. Vulnerabilità della falda superficiale	12
6.4. Determinazione del grado di permeabilità dei terreni che formano il primo sottosuolo	12
7. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E DI ADDENSAMENTO DEI TERRENI	14
7.1. Indagini pregresse	14
7.2. Indagini ad hoc	15
7.3. Modello geologico-tecnico del primo sottosuolo	16
7.3.1. Depositi fluvioglaciali del Riss	16
7.3.2. Depositi fluvioglaciali del Würm	17
8. CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO	18
8.1. Ubicazione sismica	18
8.2. Pericolosità sismica di base	18
8.3. Cenni sui possibili effetti di risposta sismica locale del sito	20
9. DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DEL SISTEMA DI DISPERSIONE DELLE ACQUE METEORICHE	21
9.1. Descrizione del sistema di drenaggio e smaltimento	21
9.2. Precipitazione di progetto	21
9.3. Processo d'infiltrazione del sistema	22
9.4. Dimensionamento del sistema	23
9.5. Calcoli di dimensionamento e verifica	24
9.5.1. Via Cascina Lunga	25
9.5.2. Incrocio	28
9.5.3. Fossi lato strada Via Madonna della Neve	31
10. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE SUGLI INTERVENTI IN PROGETTO, PRESCRIZIONI ED INCERTEZZE DEL MODELLO	34
Conclusioni	35

TAVOLE:

- Tavola 1: Corografia – scala 1:10.000;
- Tavola 2: Inquadramento geomorfologico e geologico – scala 1:10.000;
- Tavola 3: Idrografia ed inquadramento idrogeologico – scala 1:10.000.

ALLEGATI:

- Allegato 1: Estratto Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica di PRGC;
- Allegato 2: Schede sondaggi e prove di permeabilità.

Premessa

Il presente studio ha la finalità di analizzare la fattibilità geologica dell'intervento di allargamento di un tratto della sede stradale di Via Madonna della Neve e di Via Cascina Lunga, a Suno (No).

È stato affidato allo scrivente dal Comune di Suno con Determinazione n. 218 del 23.12.2021.

Per la sua redazione si sono seguite in via prioritaria le indicazioni contenute nei seguenti riferimenti normativi:

- Norme geologiche di Piano Regolatore Comunale (PRGC);
- D.M. 17.01.2018 *“Norme Tecniche per le Costruzioni”* (NTC) e sua Circolare esplicativa n. 7 C.S.LL.PP. del 21.01.2019;
- D.M. 11.03.1988 *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”* e sua Circolare esplicativa n. 30487 del 24.09.1988.

La relazione analizza le caratteristiche di una zona significativamente estesa in relazione al tipo di opere e al contesto geologico in cui queste si collocano (intorno geologico significativo), e in particolare descrive:

- o l'ubicazione geografica del sito e la sua collocazione nelle cartografie comunali di PRGC e del PGRA;
- o le principali morfologie presenti nel territorio, i dissesti in atto o potenziali, la loro tendenza evolutiva e il grado di pericolosità geomorfologica del sito;
- o il quadro geologico e strutturale del territorio con la distribuzione spaziale dei litotipi affioranti, la loro origine e le loro principali caratteristiche, e l'eventuale presenza di superfici di discontinuità;
- o le caratteristiche di circolazione idrica superficiale e sotterranea, l'assetto litostratigrafico locale e la determinazione del grado di permeabilità dei terreni;
- o le caratteristiche litologiche e di addensamento dei terreni, con la ricostruzione del modello geologico-tecnico del primo sottosuolo;
- o la caratterizzazione della pericolosità sismica di base del sito;
- o il dimensionamento di massima del sistema di dispersione delle acque meteoriche insistenti sulle aree d'intervento;
- o considerazioni geologiche relative agli specifici interventi in progetto, con evidenziate le eventuali incertezze del modello elaborato;
- o la compatibilità dei nuovi interventi con l'assetto geologico locale.

A corredo dello studio sono presenti opportuni elaborati grafici ed allegati, volti a meglio illustrare le considerazioni espresse nella presente relazione tecnica e le attività di indagine svolte.

1. UBICAZIONE AREA DI INTERVENTO

1.1. Ubicazione geografica

Il tratto stradale oggetto d'intervento, come si osserva dall'estratto corografico di Tavola 1, è situato nel settore nord-occidentale del territorio comunale di Suno (No), tra la S.P. 18 e la S.P. 229. Nel dettaglio interesserà parte di Via Madonna della Neve e parte di Via Cascina Lunga.

Le coordinate geografiche medie del sito sono le seguenti:

- WGS84: lat. 45,626311° long. 8,517601°;
- ED50: lat. 45,627248° long. 8,518678°.

Per la redazione delle tavole di inquadramento geomorfologico, geologico e idrogeologico è stata utilizzata la BDTRE della Regione Piemonte alla scala 1:10.000.

1.2. Ubicazione carta di sintesi dello studio geologico di PRGC

Come si può osservare dalla vigente *“Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica”* di PRGC, della quale è stato allegato un estratto in Allegato 1, il tratto stradale d'intervento appartiene quasi interamente alla *“Classe IIa”*, che identifica *“porzioni di territorio dove esiste una sola condizione di pericolosità geomorfologica o idrogeologica o idrologica, moderata e superabile con l'adozione ed il rispetto di accorgimenti a livello del singolo lotto o della singola area omogenea”*.

Si segnala tuttavia che:

- il tratto ascrivibile alla fascia di rispetto del Cavo Borromeo appartiene alla *“Classe IIIa”*, che definisce *“porzioni di territorio non edificate ove esistono condizioni generalizzate di pericolosità geomorfologica, idrogeologica e/o idrologica, che le rendono inidonee all'utilizzo edilizio in base alle tecniche costruttive attuali ed alle leggi e normative esistenti. Per le opere infrastrutturali di interesse pubblico non altrimenti localizzabili, vale quanto previsto dall'art. 31 della L.R. 56/77”*;
- l'area situata al termine di Cascina Lunga, in corrispondenza dell'ampliamento stradale, è invece ascritta alla *“Classe IIb”*, che identifica *“porzioni di territorio dove esistono condizioni di pericolosità geomorfologica e/o idrologica superabili con l'adozione ed il rispetto di accorgimenti a livello del singolo lotto o della singola area omogenea”*.

Per queste particolari aree si rende necessario un approfondimento d'indagine di carattere geologico mirato all'individuazione delle problematiche specifiche dell'area e alla risoluzione degli interventi tecnici necessari ad annullare la situazione di pericolosità e a superare le limitazioni di carattere urbanistico.

1.3. Ubicazione e compatibilità intervento con il PGRA

Nel presente paragrafo viene analizzata la compatibilità dell'intervento in progetto con il Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (PGRA) relativo al distretto idrografico del Fiume Po di cui all'art. 7 del D.Lgs. 49/2010, in attuazione della Direttiva 2007/60/CE e approvato con D.G.R. 14.12.2015 n.8-2588 e s.m.i..

Il PGRA ha la finalità di ridurre le conseguenze negative derivanti dalle alluvioni per la salute umana, il territorio, il paesaggio, i beni culturali, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche.

Nel dettaglio sono state esaminate le carte di pericolosità e di rischio, che rappresentano la parte fondante del Piano, e sono state formulate considerazioni in merito agli scenari restituiti da questi elaborati grafici, confrontandoli con il quadro di dissesto contenuto nello studio geologico di PRGC.

Dall'analisi degli elaborati grafici si evince come per l'area di intervento non siano indicati scenari di pericolosità o di rischio.

Si segnala tuttavia, come si evince dall'estratto della *“Carta della pericolosità da alluvione”* relativa ai corsi d'acqua del reticolo principale, del reticolo idrografico secondario e dei conoidi (rif. Tavola

094SE alla scala 1:25.000), riportato in fig. 1.1, che il tracciato d'intervento risulta limitrofo ad un'area caratterizzata da una *"probabilità di alluvione scarsa"*, relativa cioè ad un Tempo di Ritorno di 500 anni (L-Rara), riconducibile a potenziali difficoltà di deflusso che possono interessare il corso del Cavo Borromeo. A questo settore lo studio geologico di PRGC attribuisce una pericolosità medio/moderata (Em), relativa ad *"aree esondabili con altezze d'acqua ridotte ($h < 40$ cm) e caratteristiche di modesta energia (condizione quasi statica), indicativamente con velocità inferiore ai 0,4 m/s"*.

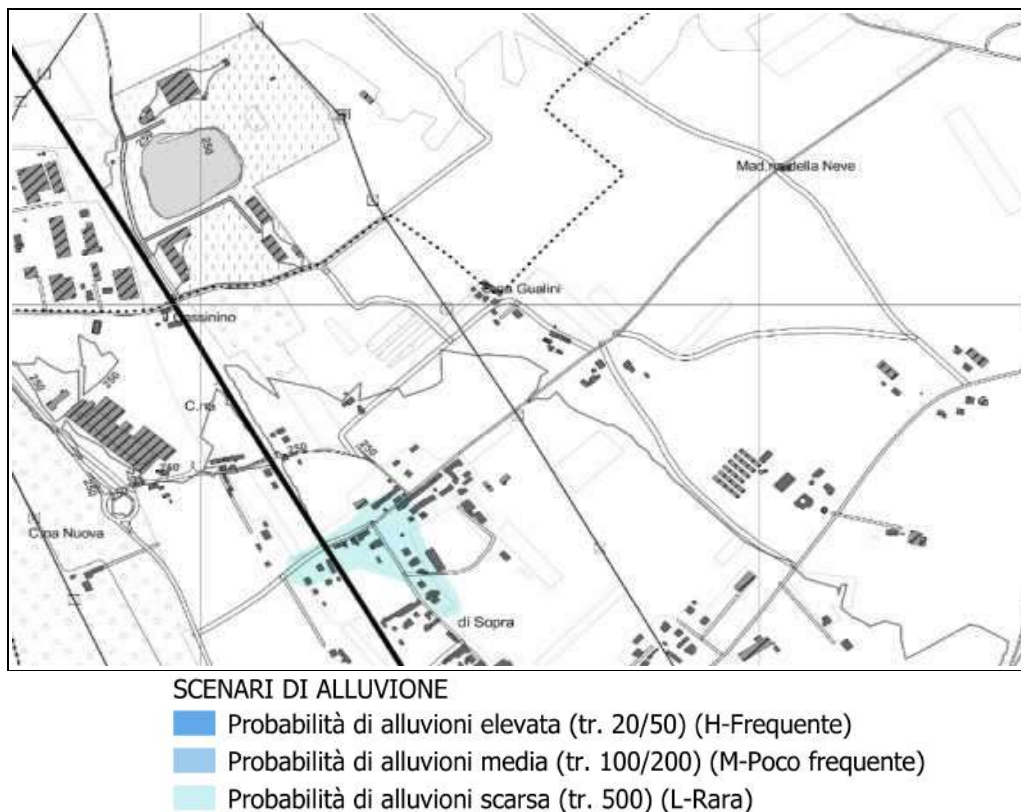


Fig. 1.1 – Estratto Tavola 094 SE del PGRA – Carta della pericolosità da alluvione.

2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Dalla visione degli elaborati di progetto, redatti dall'ing. Fabio Teruggi di Fontaneto d'Agogna, si evince come i nuovi interventi consistano nell'allargamento, in corrispondenza dei tratti individuati, della sede stradale esistente, compatibilmente con l'attuale presenza di edifici e manufatti. Lungo Via Cascina Lunga, dove possibile, la sede stradale verrà portata ad una larghezza di 7 metri, così come l'intersezione su Via Madonna della Neve e i primi 60 m della stessa. Nel tratto successivo verso Est, lungo Via Madonna della Neve, è previsto il rifacimento dei fossi stradali per una lunghezza di circa 600 metri, fino grosso modo al superamento del cambio di pendenza della strada.

Per la laminazione e lo smaltimento per infiltrazione nel terreno delle acque meteoriche insistenti sui tratti stradali oggetto di intervento, è inoltre prevista la messa in opera di due bacini disperdenti, ubicati rispettivamente in Via Cascina Lunga e in corrispondenza dell'incrocio con Via Madonna della Neve.

3. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

L'area di studio è situata nella porzione orientale della piana fluvioglaciale del Torrente Agogna, compresa tra l'incisione dell'alveo del Fiume Sesia, distante circa 9 km ad Ovest, e l'incisione del Lago Maggiore e del suo emissario, il Fiume Ticino, circa 12 km più ad Est.

La conformazione topografica è strettamente connessa alla sua genesi glaciale e post-glaciale: la morfologia del territorio è infatti il risultato della successione dei fenomeni di deposito ed erosione che si sono verificati durante il Quaternario, seguita al sollevamento post-pliocenico. Le morfologie più evidenti sono di tipo fluvioglaciale e sono rappresentate principalmente da vasti sistemi terrazzati, presenti in modo particolare nelle porzioni più marginali della valle, che digradano in modo non sempre ben definito verso il corso del Torrente Agogna e dei tributari minori. La lenta attività degli agenti erosivi ha portato col tempo ad un livellamento di questi terrazzi, molti dei quali oggi non sono quasi distinguibili nel paesaggio attuale.

Dall'esame della carta geomorfologica (tav. 2) è possibile osservare come il territorio sia suddivisibile in due settori, posti a quote altimetriche differenti e separati da un terrazzo fluvioglaciale con andamento prevalente NW-SE e immersione verso Ovest, che genera un dislivello di circa cinque metri, transitando grosso modo a metà del tratto d'intervento.

Il settore occidentale (circa 250-253 m s.l.m.) è rappresentato dalla piana alluvionale del Torrente Agogna, formato da depositi fluvioglaciali recenti e caratterizzato da una morfologia sub-pianeggiante, dove è possibile a grande scala osservare una certa pendenza verso Sud. Il settore orientale, invece, è situato ad una maggiore quota altimetrica (circa 257-260 m s.l.m.), ed è formato da depositi fluviglaciali più antichi, e presenta una pendenza grosso modo NE-SW.

3.1. Evoluzione geomorfologica in atto e vulnerabilità geomorfologica

La tendenza evolutiva del territorio è a grande scala strettamente connessa con l'azione degli agenti erosivi (principalmente ruscellamento delle acque superficiali ed azione eolica), che interagiscono andando a modificare lentamente il profilo morfologico dei terreni attuali.

Il principale elemento di pericolosità del sito è dato dagli effetti del ruscellamento superficiale delle acque meteoriche provenienti dal terrazzo fluvioglaciale orientale, in quanto la conformazione topografica dei terreni è tale da veicolare il deflusso lungo Via Madonna della Neve delle acque provenienti da estesi settori situati a monte del terrazzo, dove l'infiltrazione nel sottosuolo è ostacolata dalla presenza di un suolo poco permeabile. Questi cospicui afflussi possono aggravare le difficoltà di deflusso segnalate dal PGRA e dallo studio geologico di PRGC per il Cavo Borromeo, che rappresenta il naturale ricettore.

4. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

Per redigere l'inquadramento geologico generale dell'area di studio è stata visionata una numerosa documentazione, tra cui il Foglio 31 "Varese" (1932) e il Foglio 44 "Novara" (1967) della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, oltre che lo studio geologico di PRGC (Geotecnologie, 2006).

Le formazioni geologiche affioranti nell'area di interesse sono essenzialmente di origine alluvionale quaternaria, una situazione comune a buona parte della pianura situata a Nord di Novara che si estende verso settentrione, fino alle prime cerchie moreniche che bordano a Sud i grandi laghi subalpini. Tali formazioni geologiche sono costituite pressoché interamente da depositi continentali quaternari di natura fluvioglaciale o fluviale.

Come si evince dall'esame della cartografia di Tavola 2, le formazioni geologiche affioranti nell'area sono, a partire dall'unità più antica, le seguenti:

- depositi fluvioglaciali del Riss;
- depositi alluvionali del Würm.

Depositi fluvioglaciali del Riss

Sono costituiti prevalentemente da ghiaie mediamente alterate, con subordinate sabbie e limi. Hanno un paleosuolo argilloso di colore giallo ocre con potenza di circa 2÷3 metri, talvolta ricoperto da depositi löessici. La loro origine viene fatta risalire al periodo cataglaciale rissiano (Pleistocene Medio-Superiore). Affiorano nella porzione nord-orientale del tracciato d'intervento, altimetricamente leggermente più rilevata, dove è previsto il solo rifacimento dei fossi lato strada.

Depositi fluvioglaciali del Würm

Sono costituiti da alluvioni di natura fluvioglaciale formate da un complesso omogeneo di ghiaie debolmente alterate e sabbie, la cui composizione petrografica è formata da graniti, scisti, porfidi e gneiss, originari della zona Cusio-Ossola. Hanno un paleosuolo di colore giallo-rossiccio di spessore generalmente inferiore al metro, talora ricoperto da depositi löessici. La loro origine viene fatta risalire al periodo cataglaciale würmiano (Pleistocene Superiore). Affiorano in corrispondenza dei settori dove è previsto l'ampliamento della sede stradale e la realizzazione dei bacini disperdenti.

5. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE ED IDROLOGICHE

5.1. Idrografia

L'elemento idrografico principale presente nel settore di studio è costituito dal Torrente Agogna, un corso d'acqua che nasce alle pendici del Mottarone (*"Alpe della Volpe"*, 1491 m s.l.m.) e scorre con andamento Nord-Sud, passando in poco più di 140 km dai 964 m s.l.m. della sorgente, ai circa 77 m s.l.m. del suo sbocco nel Po presso Pavia. Nel tratto all'altezza dell'area in esame defluisce ad una distanza di circa 850 m dall'area d'intervento, con andamento sinuoso in un alveo ben definito a sezione trapezia, per lo più privo da protezioni di sponda, proprio nel punto dove riceve in sponda sinistra le acque del Torrente Lirone.

In passato, in occasione di eventi alluvionali rilevanti (in modo particolare la piena del 1968), ha dato origine a fenomeni di esondazione che hanno interessato principalmente la zona ubicata in sponda destra, con battenti idrici di circa 20-40 cm. L'area di intervento, tuttavia, è esterna alle sue fasce fluviali, così come definite dallo studio idraulico del Piano per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.).

Da segnalare anche la presenza di numerosi cavi e rogge, di origine antropica con finalità irrigua, che solcano diffusamente il territorio. In particolare, il tracciato di interesse interesserà il corso del Cavo Borromeo, attraversato dalla sede stradale di Via Cascina Lunga.

5.1.1. Cavo Borromeo

Il Cavo Borromeo è un canale artificiale che deriva le sue acque da un fontanile ubicato a Sud-Est dell'abitato di Fontaneto d'Agogna, e confluisce nel Fosso Meja. Il suo corso, pur essendo regimato, presenta alcuni punti di criticità idraulica, che possono generare locali fenomeni di esondazione, come in località Cascina Lunga, dove il suo tracciato compie una curva ad angolo retto verso Est e poi verso Sud, che non è sempre in grado di garantire il regolare deflusso delle acque, con conseguenti allagamenti con battenti idrici di altezza ridotta (inferiore ai 20 cm) e caratteristiche di modesta energia (condizione quasi statica).



Fig. 5.1 – Cavo Borromeo a monte dell'attraversamento lungo il tracciato.

In corrispondenza del tracciato di interesse (fig. 5.1) scorre in un alveo con larghezza di un paio di metri, confinato da sponde in terra vegetate con altezza di circa 1,5 m. L'attraversamento lungo il tracciato di interesse è costituito da un manufatto a sezione rettangolare con larghezza di circa 2,4 m e altezza di circa un metro, con spallette di c.a.. In corrispondenza del lato di valle è presente, parallela all'attraversamento, anche una tubazione in PVC.

5.2. Caratteristiche idrologiche

5.2.1. Determinazione curva di possibilità pluviometrica

La curva di possibilità pluviometrica, la cui determinazione è indispensabile per le valutazioni idrologiche relative al calcolo delle precipitazioni meteoriche, è stata calcolata mediante la seguente formula:

$$h_{(d)} = a Kt d^n$$

dove:

- h è l'altezza di pioggia;
- d è la durata dell'evento di pioggia;
- a ed n sono coefficienti idrologici calcolati sull'elaborazione statistica dei dati di misura delle precipitazioni intense;
- Kt è il fattore di crescita, dipendente dallo specifico tempo di ritorno considerato.

I parametri a , n e Kt vengono forniti da ARPA Piemonte (Atlante delle piogge intense in Piemonte) per ogni località, sulla base dell'elaborazione statistica delle precipitazioni estreme con durate 1-24 ore, con risoluzione al suolo per maglia quadrata con lato di 250 m. Per il sito di interesse si hanno i coefficienti e le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica riportati nella figura di pagina seguente, relativi alla distribuzione di Gumbel.

L'equazione precedentemente descritta a rigore è valida per durate pari o superiori all'ora, per le quali sono a disposizione serie storiche sufficientemente estese dei massimi annuali di pioggia. Per durate inferiori all'ora, invece, ARPA Piemonte (*"Le precipitazioni intense in Piemonte"*, 2013) consiglia l'impiego della seguente formula, per la quale viene suggerito un valore di B pari a $136,5 \text{ h}^{-1}$:

$$h_{(d)} = i_{(d)} \quad d = a Kt \left(\frac{1 + Bd}{1 + B} \right)^{\left(\frac{(n-1)(1+B)}{B} \right)} d^n$$

Comune di Suno
 Lavori di allargamento tratto stradale di Via Madonna della Neve e Via Cascina Lunga, a Suno (No)
 Relazione geologica

Atlante piogge intense in Piemonte (GUMBEL)



Comune di **Suno** (lat: 5052709.95493 , lon: 462405.454713)

Parametri della curva di probabilità pluviometrica. **a: 34.23 n: 0.32**

[CSV](#)
[Excel](#)

Fattore di crescita KT

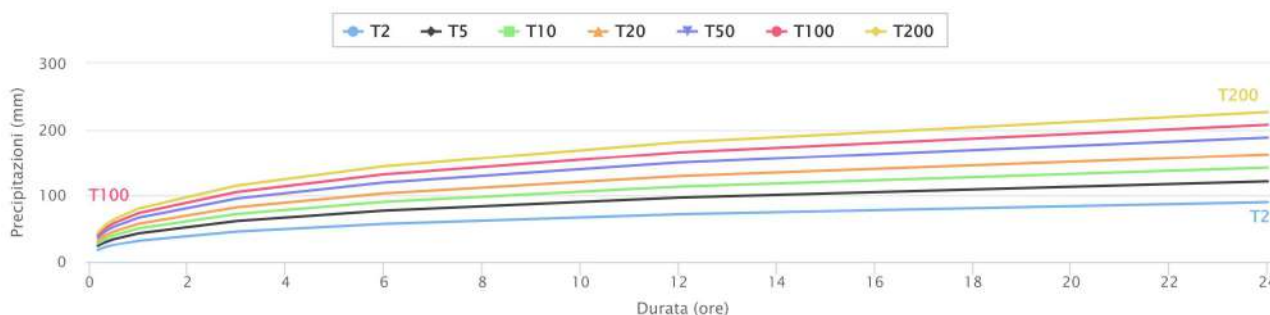
K2	K5	K10	K20	K50	K100	K200
0	1.3	1.5	1.7	2	2.2	2.4

Piogge di assegnato tempo di ritorno per durate da 10 minuti a 24 ore (mm)

[CSV](#)
[Excel](#)

Durata	Tempo di ritorno in anni						
	2	5	10	20	50	100	200
10 minuti	17.7	23.8	27.9	31.8	36.8	40.6	44.4
20 minuti	22.4	30.2	35.3	40.3	46.7	51.4	56.2
30 minuti	25.6	34.5	40.4	46.1	53.4	58.9	64.3
1 ora	32.2	43.3	50.7	57.8	66.9	73.8	80.7
3 ore	45.9	61.9	72.4	82.5	95.6	105.5	115.2
6 ore	57.5	77.5	90.7	103.4	119.8	132.1	144.3
12 ore	72.1	97.1	113.6	129.5	150	165.4	180.8
24 ore	90.3	121.6	142.3	162.2	187.9	207.2	226.4

Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica



6. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE E LITOSTRATIGRAFICHE

6.1. Caratteristiche idrogeologiche del territorio

La circolazione idrica sotterranea è profondamente condizionata dalle caratteristiche litologiche e tessiturali dei depositi presenti.

Come identificato dalla letteratura idrogeologica (*"Idrogeologia della Pianura Piemontese"*, Regione Piemonte 2005), i depositi affioranti nell'area di studio appartengono alla *Serie dei Depositi Continentali* (Olocene – Pleistocene inf.), e in particolare ai seguenti Complessi Idrogeologici, cioè zone idrogeologicamente omogenee, la cui distribuzione areale è stata riportata in Tavola 4:

- Complesso dei Depositi fluvioglaciali del Riss;
- Complesso dei Depositi fluviali-fluvioglaciali del Würm.

Complesso dei Depositi fluvioglaciali del Riss

È rappresentato da materiali ghiaioso-sabbiosi immersi in abbondante matrice limoso-argillosa che ne riduce sensibilmente le loro caratteristiche di permeabilità ($k = 10^{-5} \div 10^{-7}$ m/s). La presenza di un paleosuolo di colore rosso-arancio e giallo-ocra di spessore in genere non superiore ai tre metri ostacola l'infiltrazione in profondità delle acque meteoriche, favorendo viceversa il ruscellamento superficiale. Costituisce il settore nord-orientale del tracciato d'intervento, altimetricamente più rilevato, dove è previsto il solo rifacimento dei fossi lato strada. In questo complesso si imposta una falda generalmente a superficie libera, localmente protetta.

Complesso dei Depositi fluviali-fluvioglaciali del Würm-Riss

È rappresentato da materiali principalmente grossolani (sabbia e ghiaia), privi di significative frazioni a granulometria fine, a permeabilità elevata ($k = 10^{-3} \div 10^{-5}$ m/s). Questo complesso costituisce la piana del Torrente Agogna, dove si imposta il settore sud-occidentale del tracciato d'intervento, e rappresenta il livello fondamentale della pianura, dove si imposta l'acquifero principale. Si estende in profondità per almeno 20-30 metri, e contiene al suo interno una falda di tipo libero con sporadiche falde sospese dovute alla presenza di lenti a granulometria fine, di ridotto spessore.

In profondità i Complessi della Serie dei Depositi Continentali poggiano ovunque sul *Complesso dei Depositi Villafranchiani* (Serie dei Depositi di Transizione, Pliocene medio – Pleistocene inferiore), costituito da depositi di ambiente da fluvio-lacustre a lacustre-palustre a deltizio, rappresentati da un'alternanza di materiali argilloso-sabbiosi dominanti, con subordinati livelli ghiaioso-sabbiosi. Questo complesso ospita un sistema multifalda che si sviluppa per spessori anche notevoli nel sottosuolo.

A letto la successione idrogeologica prosegue con la *Serie dei Depositi Marini Pliocenici*, anche se il contatto spesso non è facilmente individuabile. È rappresentata prevalentemente da depositi argilloso-sabbiosi, fossiliferi, perlopiù privi di circolazione idrica, anche se localmente si possono impostare falde confinate, talvolta sfruttate da pozzi acquedottistici. Seguono depositi pre-pliocenici a componente prevalente argillosa, del tutto impermeabili.

6.2. Caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo

La ricostruzione dell'assetto litostratigrafico del sottosuolo è stata ottenuta dall'analisi del profilo stratigrafico del pozzo idropotabile di *"Baraggia di Sopra"* ubicato circa 500 metri a Sud dell'area di intervento e profondo 134 m, e del piezometro realizzato circa 150 m a Nord della Chiesa della Madonna della Neve con profondità di 85 m (Pz1 di Tav. 3).

A partire dal p.c. fino a circa una cinquantina di metri di profondità si impostano depositi incoerenti grossolani, costituiti da ghiaie e ciottoli a supporto clastico o di matrice sabbiosa ben addensata. Rappresentano il Complesso idrogeologico a permeabilità elevata, dove si imposta un acquifero libero monostrato, sostenuto alla base da un livello argilloso continuo con potenza di qualche metro.

Più in profondità si imposta il *Complesso dei Depositi Villafranchiani*, dove si hanno alternanze di materiali limoso-argillosi, preponderanti, con livelli sabbioso-ghiaiosi di spessore più limitato. In questo

complesso si imposta un acquifero multifalda, dove la circolazione è limitata ai setti più permeabili, in diverso rapporto tra di loro.

6.3. Caratteristiche del deflusso idrico sotterraneo

Dall'esame dello studio idrogeologico della Regione Piemonte e delle cartografie geologiche di PRGC, si può osservare come la direzione del flusso idrico sotterraneo della falda superficiale nell'area di interesse sia localmente Nord-Sud (si veda tav. 3), con gradienti idraulici dello 0,5 %. Spostandosi verso Ovest le isofreatiche diventano leggermente concave, a testimonianza dell'effetto drenante del vicino Torrente Agogna.

In prossimità dell'area di studio si hanno valori medi di soggiacenza di circa 5 metri, con riferimento al settore occidentale ribassato. Da misurazioni effettuate in pozzi privati situati nelle vicinanze, e ripetute nel corso del tempo, si evince che le oscillazioni della falda, stagionali ed annuali, sono di ordine di grandezza metrico, e pertanto il suo livello può alzarsi maggiormente a seguito di periodi piovosi prolungati, o abbassarsi a seguito di periodi particolarmente siccitosi.

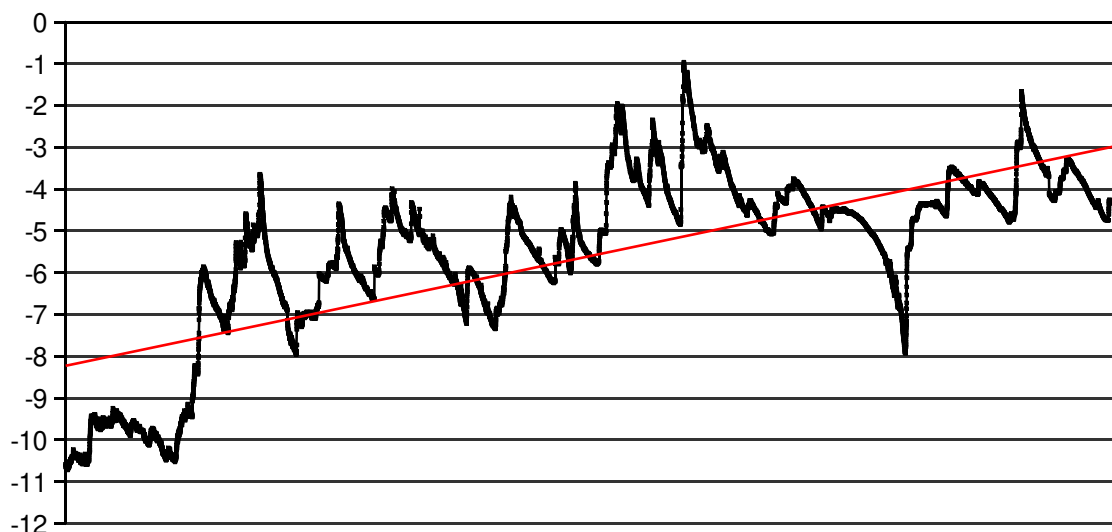
A questo proposito, l'entità delle oscillazioni del livello freatico è stata studiata nel dettaglio con l'analisi delle misurazioni disponibili in un piezometro ubicato circa 700 m ad Est del tracciato stradale d'intervento, presso il Cimitero Comunale. Il piezometro, ubicato ad una quota di 251 m s.l.m., per il periodo 01.09.2006-31.12.2021 ha fatto registrare i seguenti valori, come si evince dal grafico sottostante:

- valore medio: soggiacenza di 5,52 m dal p.c. (245,48 m s.l.m.);
- valore massimo: soggiacenza di 0,96 m dal p.c. (250,04 m s.l.m., dato registrato il 18.11.2014 a seguito del significativo evento alluvionale che si è registrato tra i giorni 9 e 12), a +4,56 m dal valore medio;
- valore minimo: soggiacenza di 10,72 m dal p.c. (240,28 m s.l.m., dato registrato il 09.09.2006), a -5,20 m dal valore medio.

L'oscillazione massima misurata nel periodo monitorato è quindi di 9,76 m.

La tendenza generale che si è verificata dal 2006 ad oggi, al netto della ciclicità delle oscillazioni legate all'andamento annuale delle precipitazioni relative sia all'entità delle precipitazioni che alla saturazione dei terreni dovuta alle pratiche agricole, è quella di un graduale innalzamento del livello di falda.

Trend di soggiacenza della falda (in metri dal p.c.) dal 01.09.2006 al 31.12.2021



6.3.1. Vulnerabilità della falda superficiale

Per la definizione del grado di vulnerabilità dell'acquifero superficiale, cioè la *"susceptibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido o idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo"* (Civita 1987), è stato applicato il metodo di valutazione di tipo parametrico G.O.D. (Foster et al. 2002).

Il metodo G.O.D. valuta la vulnerabilità intrinseca di un acquifero come il prodotto dei seguenti fattori:

- Groundwater confinement (G): grado di confinamento dell'acquifero;
- Overlaying strata (O): caratteristiche litologiche e grado di coesione delle rocce della zona non satura (per gli acquiferi non confinati) e dei livelli confinanti a tetto (per gli acquiferi confinati);
- Depth to groundwater table (D): soggiacenza della falda a superficie libera nel caso di acquifero non confinato o tetto dell'acquifero per gli acquiferi confinati.

L'assegnazione dei corrispettivi punteggi a questi tre parametri in relazione alle locali condizioni idrogeologiche, riportata nella tabella seguente (tab. 6.1), ha portato ad attribuire all'acquifero un Indice G.O.D. pari a 0,72, che identifica un alto grado di vulnerabilità.

parametro	valore	punteggio
G	acquifero non confinato	1,00
O	ghiaie e ghiaie sabbiose	0,80
D	soggiacenza di 5 metri	0,90
Indice G.O.D. = G x O x D		0,72

Tab. 6.1 – Calcolo del grado di vulnerabilità della falda superficiale;
applicazione metodo G.O.D. (Foster et al. 2002).

6.4. Determinazione del grado di permeabilità dei terreni che formano il primo sottosuolo

La permeabilità di un terreno (k) è rappresentata dalla sua capacità a lasciarsi attraversare dall'acqua, e ha le dimensioni di una velocità (m/s).

Al fine di dimensionare correttamente il sistema di dispersione delle acque meteoriche insistenti sul tracciato stradale in ampliamento, per la determinazione di questo parametro relativamente ai terreni che formano il primo sottosuolo sono state eseguite, all'interno dei sondaggi descritti al cap. 7, alcune prove di permeabilità in foro di tipo Le Franc a carico variabile, seguendo le indicazioni contenute in Associazione Geotecnica Italiana (1977).

La prova consiste nell'isolare l'intervallo stratigrafico di interesse, in corrispondenza del quale viene sfilato il rivestimento del sondaggio, nel preparare la tasca filtrante di prova con opportuno ghiaietto ad elevata permeabilità per evitare il franamento del tratto di foro non rivestito, e nell'immettere dell'acqua fino a raggiungere il bordo del rivestimento. Misurando le variazioni del livello idrico rispetto al tempo, è possibile determinare la permeabilità dalla seguente relazione:

$$k = \frac{A}{Cl(t_2 - t_1)} \ln \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

dove A è l'area di base del foro di sondaggio, h_1 ed h_2 sono l'altezza dei livelli dell'acqua nel foro rispetto al livello indisturbato dalla falda (in presenza di falda) o al fondo del foro (nel non saturo) nei tempi t_1 ed t_2 e Cl è un coefficiente di forma dipendente dalla lunghezza del tratto investigato e dalle condizioni al contorno.

Nell'interpretazione dei risultati delle curve ottenute si è seguita l'indicazione di Beers (1979), che consiglia di considerare come maggiormente attendibili i valori compresi tra ¼ e ¾ dell'abbassamento

totale misurato.

Per quanto concerne la prova S3-K2, eseguita alla profondità di 4,0 m dal piano campagna, poiché la prova a carico variabile si è esaurita in pochissimo tempo, si è provveduto al termine delle misurazioni, a eseguire una prova a carico costante andando a misurare la portata Q che doveva essere immessa nel foro di sondaggio di raggio r per tenerne costante il livello; in questo caso la permeabilità viene determinata con la seguente relazione, dove C è un coefficiente di forma pari a 2,85 e h è il livello dell'acqua nel foro rispetto alla base del foro nel caso di prove sopra falda:

$$k = \frac{Q}{2Chr}$$

Le grandezze restituite da queste prove vanno considerate come valori medi, che possono quindi essere soggetti a variazioni, anche significative, in funzione della variazione della granulometria dei depositi e della loro eterogeneità.

Nel dettaglio sono state eseguite n°2 prove per ciascuno dei tre fori di sondaggio realizzati, con ubicazione riportata in Tavola 3. I valori misurati sono visibili nelle schede riportate in Allegato 2.

I valori di permeabilità calcolati sono riportati nella tabella seguente (tab. 6.2), dove viene anche fornita una valutazione qualitativa del valore ottenuto, sulla base delle seguenti indicazioni:

$k > 10^{-4}$ m/s:	permeabilità elevata;
$10^{-4} < k < 10^{-5}$ m/s:	permeabilità abbastanza buona;
$10^{-5} < k < 10^{-6}$ m/s:	permeabilità medio-bassa;
$10^{-6} < k < 10^{-7}$ m/s:	permeabilità bassa;
$k < 10^{-7}$ m/s:	permeabilità molto bassa-nulla.

Sondaggio	Ubicazione	Intervallo di prova	Permeabilità k	Valutazione qualitativa di k
S1	Via Cascina Lunga	1,0-1,5 m dal p.c.	$8,9 \times 10^{-5}$ m/s	abbastanza buona
		3,5-4,0 m dal p.c.	$3,9 \times 10^{-5}$ m/s	abbastanza buona
S2	Via Madonna della Neve	2,0-2,5 m dal p.c.	$2,4 \times 10^{-6}$ m/s	medio-bassa
		3,5-4,0 m dal p.c.	$2,5 \times 10^{-6}$ m/s	medio-bassa
S3	Incrocio Via Madonna della Neve con Via C.na Lunga	1,0-1,5 m dal p.c.	$8,4 \times 10^{-5}$ m/s	abbastanza buona
		3,5-4,0 m dal p.c.	$6,7 \times 10^{-4}$ m/s	elevata

Tab. 6.2 – Valori di permeabilità calcolati in sito.

I valori ottenuti, relativi ai terreni dove avverrà la dispersione delle acque meteoriche, sono compatibili con i valori indice riportati in letteratura (si veda ad es. la tabella seguente tratta da Castany, 1982). I depositi fluvioglaciali würmiani hanno un grado di permeabilità da abbastanza buono a elevato; in corrispondenza del sondaggio S2, invece, al contatto con i depositi rissiani, i valori sono medio-bassi.

$K_{(m/s)}$		<div><div></div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></</div></div></div></div>												
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

7. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E DI ADDENSAMENTO DEI TERRENI

I terreni che costituiscono l'immediato sottosuolo dell'area interessata dagli interventi, come evidenziato nel Capitolo 4, sono rappresentati da depositi fluvioglaciali, costituiti principalmente da materiali granulari non coesivi.

Con riferimento all'elaborato cartografico di Tavola 2, è possibile distinguere i seguenti depositi in affioramento:

- depositi fluvioglaciali del Riss;
- depositi alluvionali del Würm.

Depositi fluvioglaciali del Riss

Da un punto di vista litologico sono formati da un livello superficiale sabbioso-limoso-argilloso con potenza di circa 1÷3 metri, seguito più in profondità da ghiaie ciottolose e sabbie con presenza di frazione fine nella matrice e generalmente caratteristiche di addensamento abbastanza buone.

Depositi fluvioglaciali del Würm

Da un punto di vista litologico sono formati da un livello superficiale sabbioso-limoso poco potente, con spessore massimo generalmente di circa un metro, seguito più in profondità da ghiaie ciottolose e sabbie, con buone caratteristiche di addensamento.

7.1. Indagini pregresse

Per definire le caratteristiche litologiche sito specifiche di questi depositi si è fatto riferimento in prima analisi alla visione delle stratigrafie di indagini pregresse, con riferimento a n°3 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti nel 1999 in località "Il Cassino", circa 400 m più a Nord del tracciato di intervento in un settore dove affiorano i depositi fluvioglaciali würmiani (si veda Tav. 3); queste stratigrafie sono riportate nel database geotecnico di ARPA con riferimento alla progettazione di un laghetto di pesca sportiva, i cui risultati sono riassunti nelle tabelle seguenti (simbologia per i fusi granulometrici: C=ciottoli, G=ghiaia, S=sabbia, L+A=limo e argilla passante al setaccio n°200).

Perforazione codice 109392		
Profondità dal p.c. [m]	Descrizione litologica	Analisi granulometrica
0,0 – 0,8	Terreno sabbioso debolmente limoso con resti vegetali e pietre	
0,8 – 1,5	Ghiaia medio grossolana con matrice sabbiosa limosa con ciottoli	a -1 m: C=2,76%,G=59,50% S=28,40%,L+A=9,34% Classif. USCS: GW/GP/GM/GC
1,5 – 2,5	Ghiaia medio grossolana con matrice sabbiosa con ciottoli	
2,5 – 3,0	Ghiaietto	
3,0 – 5,0	Ghiaia medio grossolana con ciottoli in matrice sabbiosa media	

Perforazione codice 109393		
Profondità dal p.c. [m]	Descrizione litologica	Analisi granulometrica
0,0 – 1,0	Terreno sabbioso debolmente limoso con resti vegetali e pietre	
1,0 – 1,6	Ghiaia medio grossolana con matrice sabbiosa debolmente limosa con rari ciottoli	a -1,5 m: C=1,68%,G=65,65% S=30,91%,L+A=1,76% Classif. USCS: GW
1,6 – 2,5	Ghiaia con ciottoli	
2,5 – 4,5	Ghiaia medio grossolana con ciottoli in matrice sabbiosa media	

Perforazione codice 109394		
Profondità dal p.c. [m]	Descrizione litologica	Analisi granulometrica
0,0 – 1,0	Terreno sabbioso debolmente limoso con resti vegetali e pietre medio piccole	
1,0 – 1,8	Ghiaietto fine con poca matrice sabbiosa con clasti	
1,8 – 2,0	Ghiaia con lenti di sabbia	
2,0 – 2,2	Ghiaietto fine	
2,2 – 5,0	Ghiaia medio grossolana con ciottoli in matrice sabbiosa media	a -4 m: C=2,86%,G=71,90% S=24,33%,L+A=0,91% Classif. USCS: GW

7.2. Indagini ad hoc

A conferma delle osservazioni riportate nelle stratigrafie pregresse, al fine di disporre di indagini sito specifiche, sono stati eseguiti n°3 sondaggi a carotaggio continuo, con ubicazione riportata in Tavola 3, spinti fino alla profondità di 4 m dal p.c., entro i quali sono stati anche realizzate le prove di permeabilità in foro descritte al par. 6.4.

Le stratigrafie semplificate rilevate sono riportate nelle tabelle seguenti, utilizzando la terminologia descrittiva ASTM (*American Standard for Testing and Materials*) e la classificazione U.S.C.S. (Unified Soil Classification System); per la descrizione dettagliata dei terreni attraversati e la relativa documentazione fotografica si rimanda alle schede contenute nell'Allegato 2.

S1			
Profondità dal p.c. [m]	Descrizione litologica	Probabile classificazione USCS	Permeabilità [m/s]
0,0 – 0,3	Terreno vegetale e sabbia limosa	SM	
0,3 – 4,0	Ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa	GW	a -1,5m: $8,9 \times 10^{-5}$ a -4,0m: $3,9 \times 10^{-5}$

S2			
Profondità dal p.c. [m]	Descrizione litologica	Probabile classificazione USCS	Permeabilità [m/s]
0,0 – 0,3	Terreno vegetale e sabbia limosa	SM	
0,3 – 2,3	Sabbia limosa	SM	
2,3 – 3,8	Ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa limosa	GM/GC	a -2,5m: $2,4 \times 10^{-6}$
3,8 – 4,0	Ghiaie in matrice sabbiosa limosa	GM/GC	a -4,0m: $2,5 \times 10^{-6}$

S3			
Profondità dal p.c. [m]	Descrizione litologica	Probabile classificazione USCS	Permeabilità [m/s]
0,0 – 0,3	Terreno vegetale e sabbia limosa	SM	
0,3 – 4,0	Ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa	GW	a -1,5m: $8,4 \times 10^{-5}$ a -6,7m: $3,9 \times 10^{-4}$

In nessuno dei sondaggi realizzati è stata intercettata la falda acquifera.

7.3. Modello geologico-tecnico del primo sottosuolo

Correlando i risultati delle indagini analizzate ed eseguite, è stato elaborato il seguente modello geologico-tecnico del primo sottosuolo.

7.3.1. Depositi fluvioglaciali del Riss

A partire dal piano campagna:

- 0,0 – 2÷2,5 m: sabbia limosa di colore rossastro, ferrettizzata, sciolta;
- > 2,5 m: ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso limosa, mediamente addensata.

A questi terreni è possibile attribuire, sulla base dei dati di letteratura disponibili, i valori medi dei parametri geotecnici fondamentali riportati nella tabella seguente in termini di tensioni efficaci (tab. 7.1). Questi terreni potrebbero possedere anche un certo quantitativo di coesione, che tuttavia è preferibile trascurare per la sua difficoltà di determinazione in assenza di specifiche analisi di laboratorio e per il suo carattere effimero in condizioni di totale saturazione (*“coesione apparente”*).

Unità geologico-tecnica	Peso di volume		Angolo di resistenza al taglio		Coesione	Modulo elastico	Coefficiente di Poisson
	naturale	saturo	di picco	a volume costante			
	γ_0 [kN/m ³]	γ_{SAT} [kN/m ³]	φ' [°]	φ_{CV} [°]			
Copertura di alterazione	15	18	26	23	0	5	0,35
Substrato fluvioglaciale rissiano	18,5	19,5	33-35	31	0	40	0,32

Tab. 7.1 – Valori medi dei parametri geotecnici fondamentali per i depositi fluvioglaciali rissiani.

Nella tabella seguente (tab. 7.2) vengono invece forniti i valori caratteristici dei parametri geotecnici di base in caso di compensazione delle resistenze, ottenuti adottando, in assenza di valori quantitativi sito specifici, l'approccio Bayesiano proposto da Cherubini e Orr (1999), basato sulla seguente equazione:

$$X_k = X_{mean} (1 - COV/2)$$

dove X_{mean} e COV sono rispettivamente il valore medio aritmetico ed il coefficiente di variazione attesi per questa tipologia di terreni.

Unità geologico-tecnica	Peso di volume		Angolo di resistenza al taglio		Coesione	Modulo elastico	Coefficiente di Poisson
	naturale	saturo	di picco	a volume costante			
	$\gamma_{0,k}$ [kN/m ³]	$\gamma_{SAT,k}$ [kN/m ³]	φ'_k [°]	$\varphi_{CV,k}$ [°]			
Copertura di alterazione	15	18	24	21	0	3	0,35
Substrato fluvioglaciale rissiano	18,5	19,5	30	28	0	30	0,32

Tab. 7.2 – Valori caratteristici dei parametri geotecnici fondamentali per i depositi fluvioglaciali rissiani.

7.3.2. Depositi fluvioglaciali del Würm

A partire dal piano campagna:

- 0,0 – 0,5 m: terreno vegetale e sabbia limosa, sciolta;
- > 0,5 m: ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa, da mediamente addensate ad addensate.

A questi terreni è possibile attribuire, sulla base della visione dei terreni condotta durante l'esecuzione delle indagini in sito, i valori medi dei parametri geotecnici fondamentali riportati nella tabella seguente in termini di tensioni efficaci (tab. 7.3).

Unità geologico-tecnica	Peso di volume		Angolo di resistenza al taglio		Coesione	Modulo elastico	Coefficiente di Poisson
	naturale	saturo	di picco	a volume costante			
	γ_o [kN/m ³]	γ_{SAT} [kN/m ³]	φ' [°]	φ_{CV} [°]			
Copertura di alterazione	14	17	25	22	0	4	0,35
Substrato fluvioglaciale rissiano	19	20	35-38	33	0	40-80	0,30

Tab. 7.3 – Valori medi dei parametri geotecnici fondamentali per i depositi fluvioglaciali würmiani.

Nella tabella seguente (tab. 7.4) vengono invece forniti i valori caratteristici dei parametri geotecnici di base in caso di compensazione delle resistenze, ottenuti adottando sempre, in assenza di valori quantitativi sito specifici, l'approccio Bayesiano proposto da Cherubini e Orr (1999).

Unità geologico-tecnica	Peso di volume		Angolo di resistenza al taglio		Coesione	Modulo elastico	Coefficiente di Poisson
	naturale	saturo	di picco	a volume costante			
	$\gamma_{0,k}$ [kN/m ³]	$\gamma_{SAT,k}$ [kN/m ³]	φ'_{k} [°]	$\varphi_{CV,k}$ [°]			
Copertura di alterazione	14	17	23	20	0	2,5	0,35
Substrato fluvioglaciale rissiano	19	20	32	30	0	35	0,30

Tab. 7.4 – Valori caratteristici dei parametri geotecnici fondamentali per i depositi fluvioglaciali würmiani.

8. CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO

L'analisi della pericolosità sismica del sito costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche e consiste nella determinazione della pericolosità sismica di base, trattata nel presente capitolo, e della risposta sismica locale, elemento di trattazione della *Relazione geotecnica* (§ 3.2.2 NTC), ove prevista.

8.1. Ubicazione sismica

Nell'Allegato 1 *"Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone"* dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* e s.m.i., viene definita, per ogni comune del territorio italiano, la zona sismica di appartenenza, in funzione del valore di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Il Comune di Suno appartiene alla *"zona 4"*, contraddistinta da un grado di sismicità molto basso.

La Regione Piemonte ha proceduto all'adeguamento delle zone sismiche con D.G.R. n. 11-13058 del 19 gennaio 2010, sulla base dei risultati di uno studio affidato al Politecnico di Torino in collaborazione con il Centro Eucentre di Pavia, e queste sono in vigore dal 01.01.2012 per effetto della D.G.R. n. 4-3084 del 12 dicembre 2011. Il Comune di Suno resta classificato in *"zona 4"*.

Vengono di seguito riportate alcune considerazioni sulla pericolosità del sito desunte dalla consultazione della documentazione esistente in materia.

Zonazione sismogenetica ZS9

L'area di studio non risulta appartenere a nessuna delle zone sismogenetiche individuate nell'ambito della zonazione ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS per la redazione della mappa di pericolosità sismica O.P.C.M. 20.03.2003 n. 3274, INGV 2004).

Catalogo DISS 3

Nell'area di studio non si rileva la presenza di sorgenti sismogenetiche isolate, così come riportate nel catalogo Database of Individual Seismogenic Sources (DISS vers. 3.2.0, INGV).

Catalogo DBMI15^(*)

Il Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15) riporta un solo evento sismico relativo al territorio comunale di Suno, con un'intensità massima pari a "NF" (non avvertito), come si evince dalla tabella seguente.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale		NMDP	Io Mw
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta		768	5 4.21

^(*)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). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroscopic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.

Disaggregazione della pericolosità sismica

L'analisi di disaggregazione della pericolosità sismica dedotta dal catalogo INGV (*Progetto S1*) evidenzia una bassa pericolosità sismica, data da eventi di forte intensità (valori di magnitudo medi attesi compresi tra 4 e 6,5) posti a distanze considerevoli (valori medi attesi superiori ai 60 km).

8.2. Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di base di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato, denominato *"periodo di riferimento"* (V_R); la relativa probabilità è detta *"probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento"* (P_{VR}).

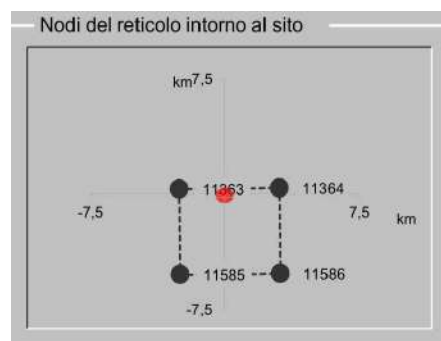
Ai sensi delle NTC, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale (di categoria T1), in condizioni di campo libero.

In funzione delle coordinate geografiche del sito (rif. par. 1.1), servendosi dei dati elaborati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e tabulati nell'Allegato B alle NTC, è possibile ricavare i seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I valori sono stati ottenuti mediante interpolazione per media ponderata, utilizzando il software "Spettri NTC ver. 1.0.3" fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. I valori così determinati vengono riportati nella tabella seguente (tab. 8.1) in funzione del "periodo di ritorno del sisma" (T_R).

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0,014	2,567	0,160
50	0,018	2,532	0,169
72	0,021	2,530	0,191
101	0,024	2,582	0,213
140	0,027	2,592	0,225
201	0,030	2,601	0,239
475	0,038	2,616	0,279
975	0,045	2,651	0,302
2475	0,055	2,767	0,323



Tab. 8.1 – Pericolosità sismica di base del sito per i diversi T_R .

I valori relativi ai periodi di ritorno del sisma T_R associati ai diversi stati limite relativi ad un suolo di riferimento rigido orizzontale, per una strategia progettuale di norma e per un'opera con V_n 50 anni e C_u II, sono riportati in tab. 8.2, mentre i relativi spettri di risposta sono riportati in fig. 8.1.

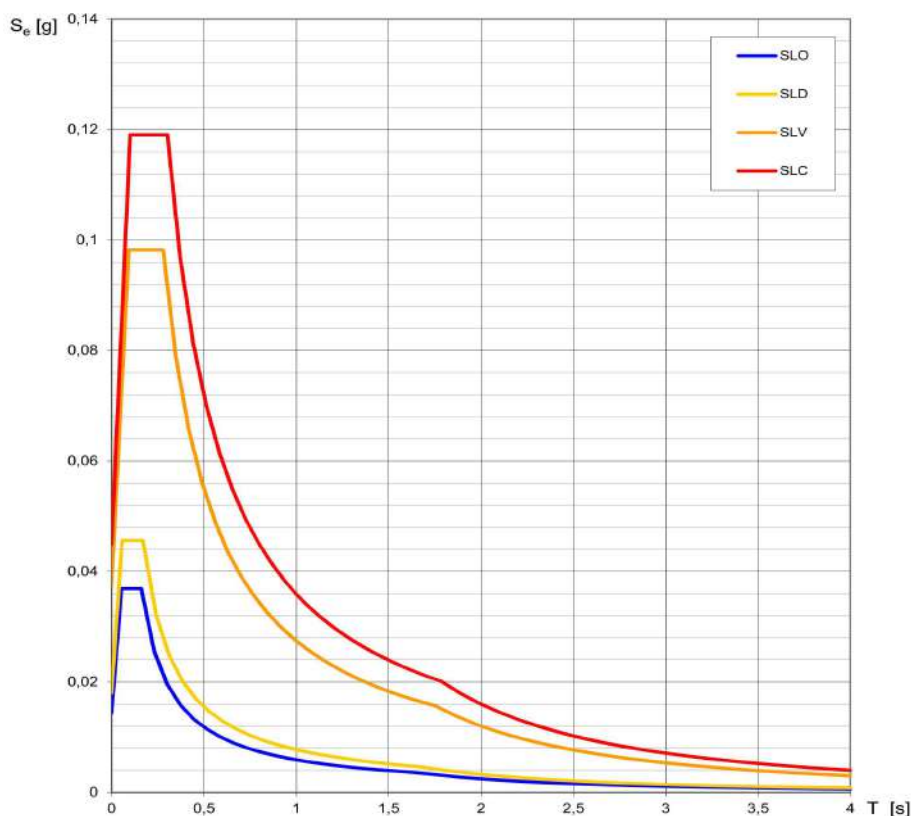


Fig. 8.1 – Spettri di risposta elastici su suolo di riferimento rigido orizzontale.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,014	2,567	0,160
SLD	50	0,018	2,532	0,170
SLV	475	0,038	2,616	0,279
SLC	975	0,045	2,651	0,302

Tab. 8.2 – Pericolosità sismica di base del sito relativa ai diversi stati limite.

8.3. Cenni sui possibili effetti di risposta sismica locale del sito

La risposta sismica locale effettuata secondo l'approccio semplificato descritto al §3.2.2 delle NTC prevede la determinazione dell'amplificazione stratigrafica e morfologica del sito rispetto alla condizione del sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A e T1) precedentemente analizzato.

In assenza di misurazione sito specifiche, non richieste dalla progettazione, è possibile effettuare le seguenti considerazioni.

Per quanto concerne gli effetti di amplificazione topografica, da osservazioni geomorfologiche e topografiche condotte sulla BDTRE alla scala 1:10.000 il sito appartiene alla categoria topografica T1, che individua "superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

Per quanto concerne gli effetti di amplificazione stratigrafica, sulla base della conoscenza litostratigrafica dei terreni e dei risultati di indagini geofisiche eseguite dallo scrivente in terreni geologicamente confrontabili, è possibile attribuire cautelativamente la categoria di sottosuolo C, che individua "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".

Attribuendo al sito le categorie sopra indicate è possibile calcolare il valore dell'accelerazione massima attesa in superficie a_{max} mediante la seguente relazione:

$$a_{max} = S_s \times S_T \times a_g$$

In particolare, per lo SLV, si ha:

$$a_{max} = 1,50 \times 1,00 \times a_g = 0,057 \text{ g}$$

Questo valore risulta inferiore a 0,1 g, e pertanto sarebbe possibile escludere a priori la necessità di eseguire la verifica alla liquefazione (§7.11.3.4.2 NTC).

9. DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DEL SISTEMA DI DISPERSIONE DELLE ACQUE METEORICHE

In questo capitolo, sulla base del modello geologico-tecnico elaborato, che andrà verificato in fase esecutiva, è stato effettuato un pre-dimensionamento del sistema di regimazione e smaltimento delle acque meteoriche insistenti sul tracciato, in corrispondenza delle superfici d'intervento.

9.1. Descrizione del sistema di drenaggio e smaltimento

La regimazione delle acque riguarda i seguenti n°3 settori:

- tratto di Via Cascina Lunga compreso tra l'attraversamento lungo il Cavo Borromeo a Ovest, e l'attraversamento della ferrovia Borgomanero-Novara a Est, dove le acque verranno raccolte sotto la sede stradale e smaltite in un bacino d'infiltrazione. Nel dettaglio è stata considerata una superficie scolante di 1.000 mq.
- incrocio tra Via Cascina Lunga (circa 130 m) e Via Madonna della Neve (circa 80 m), dove le acque verranno raccolte sotto la sede stradale e smaltite in un bacino d'infiltrazione. Nel dettaglio è stata considerata una superficie scolante di 2.000 mq.
- fossi lato strada Via Madonna della Neve, a Est del settore precedente, per una lunghezza di circa 600 m verso la Chiesetta omonima, dove le acque verranno raccolte e smaltite per infiltrazione nel terreno in trincee disperdenti realizzate in corrispondenza degli attuali fossi. Nel dettaglio è stata considerata una superficie scolante totale di 3.480 mq.

Nei restanti tratti d'intervento del tracciato, dove la sede stradale è un poco più rialzata rispetto ai terreni limitrofi, le acque verranno lasciate libere di defluire in modo diffuso, senza prevedere specifici interventi di regimazione.

Le specifiche dei bacini e delle trincee d'infiltrazione sono rappresentate in dettaglio nelle tavole progettuali, ai quali si rimanda.

I bacini d'infiltrazione saranno realizzati mediante uno scavo di forma stabilita riempito da materiale drenante ad elevata permeabilità, ad esempio da ghiaie 50-80 mm, con porosità minima del 30 %, dove verranno posizionati pozzi d'infiltrazione con diametro interno di 2,3 m (diametro esterno di 2,5 m) e altezza utile di 2,5 m, come da schema di progetto, in modo tale che tra il fondo dello scavo e la base dei pozzi vi sia ancora uno strato drenante con 0,5 m di spessore. I pozzi saranno formati da anelli fenestrati in calcestruzzo vibrocompresso sovrapposti con sistema "a bicchiere", e lo strato di drenaggio verrà separato dal terreno circostante e dalle superfici dei pozzi da un tessuto non tessuto con funzione drenante e di filtraggio.

Il bacino ubicato in corrispondenza di Via Cascina Lunga avrà una superficie in pianta di 3,5 m x 8 m e un'altezza utile di 3,0 m. Il bacino in corrispondenza dell'incrocio avrà una superficie in pianta di 3,5 m x 10 m e un'altezza utile di 3,0 m.

Le trincee d'infiltrazione lungo i fossi lato strada di Via Madonna della Neve avranno larghezza di 40 cm e altezza di un metro.

9.2. Precipitazione di progetto

Nei calcoli è stato assunto un evento meteorico con tempo di ritorno di 20 anni.

Il calcolo della precipitazione di progetto è stato eseguito attraverso la definizione della curva di possibilità pluviometrica (LSPP) descritta al par. 5.2.1, che nel caso specifico diventa:

$$h_{(d)} = 34,23 \times 1,7 \times d^{0,32}$$

Per precipitazioni con durata inferiore all'ora vale invece la seguente relazione:

$$h_{(d)} = 34,23 \times 1,7 \left(\frac{1 + Bd}{1 + B} \right)^{\frac{(0,32 - 1)(1 + B)}{B}} d^{0,32}$$

9.3. Processo d'infiltrazione del sistema

Nel dimensionamento del sistema è necessario analizzare i processi di interscambio che intervengono durante i fenomeni piovosi tra la superficie del suolo ed il sistema idrico sotterraneo.

Con il termine infiltrazione si definisce quel fenomeno fisico-chimico che consiste nell'ingresso di acqua nel terreno a partire dalla superficie, rappresentato dalla quantità di acqua che nell'unità di tempo attraversa l'unità di superficie di infiltrazione ed espresso praticamente con le dimensioni di una velocità (coefficiente di permeabilità, indicato con K).

La capacità d'infiltrazione del sistema è pari al prodotto del coefficiente di permeabilità K con l'area efficace di drenaggio del sistema.

Da un punto di vista idraulico un pozzo d'infiltrazione è un bacino cilindrico realizzato allo scopo di smaltire le portate di piena entro limiti prefissati, dipendenti dalla permeabilità del terreno. Per conseguire lo smaltimento e la laminazione delle portate affluenti, 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 graduale smaltimento nel tempo, processo descritto matematicamente dalla seguente equazione di continuità:

$$Q_p(t) - Q_f(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

dove:

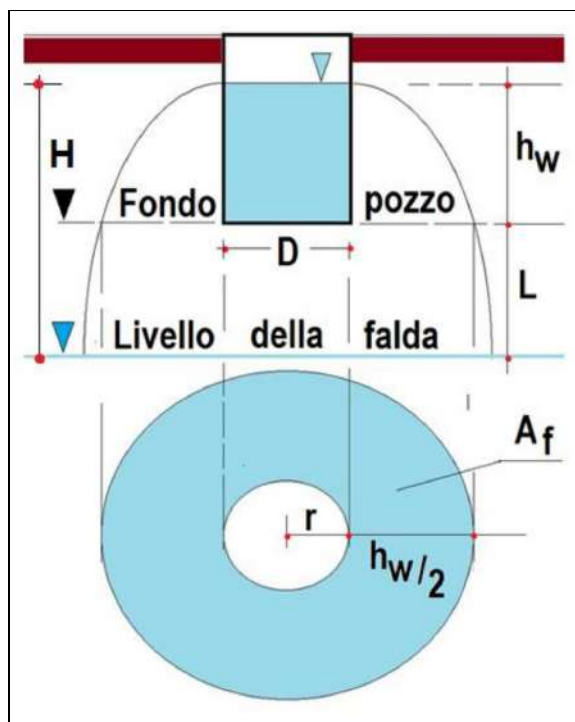
$Q_p(t)$ è la portata di afflusso meteorico al tempo t ;

$Q_f(t)$ è la portata di infiltrazione al tempo t ;

$dW(t)$ è il volume invasato nel pozzo al tempo t ;

dt è il passo di calcolo temporale.

Quando la falda è profonda rispetto alle dimensioni dello strato drenante, allora il moto si sviluppa prevalentemente in direzione verticale, come schematizzato nella figura seguente (Muraca et Al., 2006).



In queste condizioni, assumendo per semplicità un suolo omogeneo, una soluzione classica per i pozzi di infiltrazione a simmetria assiale è quella rappresentata dall'equazione seguente (F. Sieker, 1984) che deriva dalla legge di Darcy (1856):

$$Q_f = K J (A_f + A_b)$$

dove:

Q_f è la portata complessivamente infiltrata;

K è la permeabilità media del terreno insaturo che, nel caso specifico, può essere assunta pari al valore di progetto precedentemente definito;

J è la cadente piezometrica, che può essere assunta pari all'unità quando il tirante idrico della superficie filtrante è trascurabile rispetto all'altezza dello strato filtrante e la superficie piezometrica è situata sotto il fondo dello strato disperdente;

A_f è la superficie drenante orizzontale efficace del pozzo di diametro D , calcolabile come una corona circolare di larghezza $hw/2$, dove hw è il livello idrico nel pozzo:

$$A_f = \frac{\pi}{4} [(D + hw)^2 - D^2]$$

A_b è la superficie drenante alla base del pozzo, data dalla nota equazione:

$$A_b = \frac{\pi}{4} D^2$$

Nel caso specifico, essendo i pozzi d'infiltrazione collocati in veri e propri bacini disperdenti, la superficie disperdente è stata assunta pari al fondo del bacino e alla proiezione intorno al perimetro dello stesso per una lunghezza pari a metà del battente idrico nel bacino stesso. La stessa assunzione è stata fatta per le trincee d'infiltrazione.

9.4. Dimensionamento del sistema

Il calcolo di dimensionamento del sistema di dispersione è stato effettuato con il “metodo delle sole piogge”, che porta a risultati conservativi basandosi sulle seguenti assunzioni.

L'onda entrante dovuta alla precipitazione piovosa $Q_e(t)$ 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, per la superficie scolante impermeabile dell'intervento afferente all'invaso; 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:

$$Q_e = S \times \varphi \times a \times D^{n-1}$$

ed il volume di pioggia complessivamente entrante è pari a:

$$W_e = S \times \varphi \times a \times D^n$$

in cui:

- S è la superficie scolante del bacino complessivamente afferente all'invaso;
- φ è il coefficiente di deflusso medio ponderale del bacino medesimo (quindi $S \times \varphi$ è la superficie scolante impermeabile dell'intervento);
- a ed n sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica, dipendenti dal tempo di ritorno.

L'onda uscente $Q_u(t)$ è anch'essa un'onda rettangolare caratterizzata da una portata costante $Q_{u,lim}$ (laminazione ottimale) e commisurata al limite di massima portata specifica ammissibile scaricabile al ricettore (u_{lim}). La portata costante uscente è quindi pari a:

$$Q_{u,lim} = S \times u_{lim}$$

ed il volume complessivamente uscito nel corso della durata D dell'evento è pari a:

$$W_u = S \times u_{lim} \times D$$

Nel caso in cui sia presente una portata d'infiltrazione nel sottosuolo Q_f derivante dalla somma dei singoli dispositivi di infiltrazione progettati, anch'essa considerata costante per tutta la durata dell'evento, la portata uscente diventa:

$$Qu,lim = S \times u_{LIM} + Q_f$$

e di conseguenza il volume complessivamente uscito nel corso della durata D dell'evento diventa pari a:

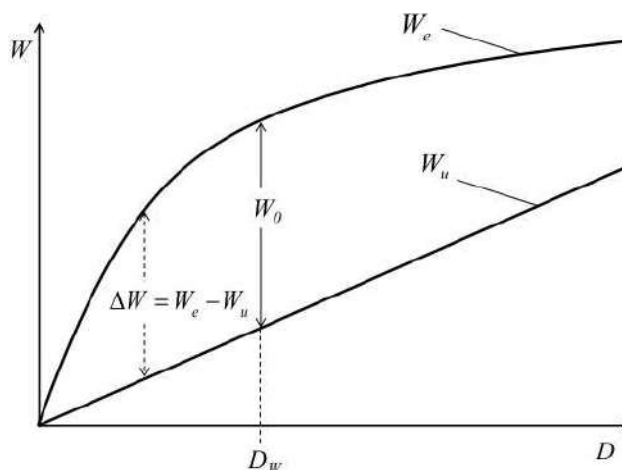
$$Wu = S \times u_{LIM} \times D + Q_f \times D$$

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. Il volume di dimensionamento dell'invaso è pari al volume critico di laminazione, cioè quello calcolato per l'evento di durata critica che rende massimo il volume di laminazione.

Quindi, il volume massimo ΔW che deve essere trattenuto nell'invaso di laminazione al termine dell'evento di durata generica D (invaso di laminazione) è pari a:

$$\Delta W = We - Wu = S \times \varphi \times a \times D^n - (S \times u_{LIM} \times D + Q_f \times D)$$

La figura seguente mostra graficamente la curva $We(D)$, concava verso l'asse delle ascisse, in aderenza alla curva di possibilità pluviometrica, e la retta $Wu(D)$ e indica come la distanza verticale ΔW tra tali due curve ammetta una condizione di massimo che individua così l'evento di durata DW critica per la laminazione.



Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, ossia derivando rispetto alla durata D la differenza $\Delta W = We - Wu$, si ricava la durata critica Dw per l'invaso di laminazione e di conseguenza il volume di laminazione Wo :

$$Dw = \left(\frac{Qu,lim}{2,78 S \varphi a n} \right)^{1/(n-1)}$$

$$Wo = 10 \times S \times \varphi \times a \times Dw^n - 3,6 \times Qu,lim \times Dw$$

dove S è espresso in ha, a in mm/oraⁿ, Qu,lim in l/s e Dw in ore.

Nel caso specifico, in assenza di un ricettore allo scarico, nel calcolo del volume uscente si è fatto riferimento unicamente alla portata d'infiltrazione nel sottosuolo.

Nel caso di precipitazioni con durata inferiore all'ora i valori vengono determinati istante per istante, andando a ricercare le condizioni più gravose.

Da ultimo è stato verificato che il sistema di laminazione abbia un tempo di svuotamento inferiore alle 48 ore, al fine di ripristinare la capacità d'invaso quanto prima possibile.

9.5. Calcoli di dimensionamento e verifica

Di seguito vengono riportati, per i tratti considerati, i calcoli preliminari di dimensionamento e verifica del sistema di dispersione progettato. Si sottolinea il fatto che i risultati ottenuti dipendono per larga parte dal valore di permeabilità assunto, e pertanto in fase esecutiva andrà verificata l'effettiva permeabilità dei terreni per l'intera superficie preposta all'infiltrazione.

Comune di Suno

Lavori di allargamento tratto stradale di Via Madonna della Neve e Via Cascina Lunga, a Suno (No)
Relazione geologica

9.5.1. Via Cascina Lunga

Ubicazione: tratto di Via Cascina Lunga compreso tra l'attraversamento del Cavo Borromeo e l'attraversamento della ferrovia Borgomanero-Novara (lunghezza di circa 110 m).

Superficie: 1.000 mq, con coefficiente di deflusso di 0,90 (valido per superfici asfaltate).

Descrizione sistema: bacino d'infiltrazione 3,5 m x 8,0 m x altezza utile di 3,0 m, con n°2 pozzi d'infiltrazione ($\varnothing_{\text{int}} = 2,3$ m e $H_{\text{utile}} = 2,5$ m).

Valore di permeabilità adottato: $6,4 \times 10^{-5}$ m/s (media geometrica tra i valori misurati nel sondaggio S1).

Calcolo del processo d'infiltrazione del sistema**BACINO CON POZZI D'INFILTRAZIONE**

Numero bacini	1
---------------	---

Caratteristiche bacino

Larghezza bacino alla base	3,50 m
Altezza utile bacino	3,00 m
Lunghezza bacino	8,00 m
Porosità dreno	30,0%

Caratteristiche pozzi d'infiltrazione all'interno del bacino

Numero pozzi	2
Diametro interno pozzo	2,30 m
Altezza utile pozzo	2,50 m
Diametro esterno pozzo	2,50 m
Altezza totale pozzo nel bacino	2,50 m

raggio	1,15 m
--------	--------

raggio	1,25 m
--------	--------

Caratteristiche terreno naturale

Permeabilità terreno naturale	$6,40 \times 10^{-5}$ m/s
-------------------------------	---------------------------

pari a	230,40 mm/h
--------	-------------

Calcolo volume di laminazione

Volume utile pozzo	10,38 mc
Volume totale pozzo	12,27 mc
Volume totale bacino	84,00 mc
Volume totale dreno bacino	59,47 mc
Volume utile dreno pozzo	17,84 mc

pozzi	20,76 mc
-------	----------

pozzi	24,53 mc
-------	----------

considerare ☐ SI

Volume di laminazione totale singolo bacino	38,60 mc
Volume di laminazione totale sistema	38,60 mc

Calcolo portata di infiltrazione

Area efficace di drenaggio bacino alla base	28,00 mq
Area efficace di drenaggio bacino alle pareti	34,50 mq
Area efficace di drenaggio totale bacino	62,50 mq
Area efficace di drenaggio totale del sistema	62,50 mq
Portata d'infiltrazione sistema	14,40 mc/h, pari a

considerare ☐ SI

	4,00 l/s
--	-----------------

Calcolo del volumi di laminazione (metodo delle sole piogge) per Tr 20 anni**CALCOLO DEI VOLUMI DI LAMINAZIONE – METODO DELLE SOLE PIOGGE
PER TEMPI DI RITORNO DI 20 ANNI**

Coefficienti curva di possibilità pluviometrica (da Atlante piogge intense in Piemonte, ARPA Piemonte; distribuzione di Gumbel)	a	34,23	mm/ora ⁿ
	Kt	1,7	
	a x Kt	58,19	mm/ora ⁿ
	n	0,32	
Superficie scolante del bacino afferente all'invaso	S	1.000,00	mq
Coefficiente di deflusso medio calcolato	φ	0,90	
Superficie scolante impermeabile	Simp	900,00	mq
Superficie scolante impermeabile	Simp	0,0900	ha

DEFINIZIONE DELLA CAPACITÀ D'INFILTRAZIONE DEL TERRENO

Permeabilità di progetto	6,40E-005	m/s	pari a	230,4	mm/h
--------------------------	-----------	-----	--------	-------	------

DEFINIZIONE DELLE PORTATE IN USCITA DAL SISTEMA**Portata di scarico nel ricettore**

Portata di scarico nel ricettore	0,00	l/s
Portata di scarico nel ricettore per ettaro di superficie impermeabile	0,00	l/s/haimp

Capacità d'infiltrazione del sistema

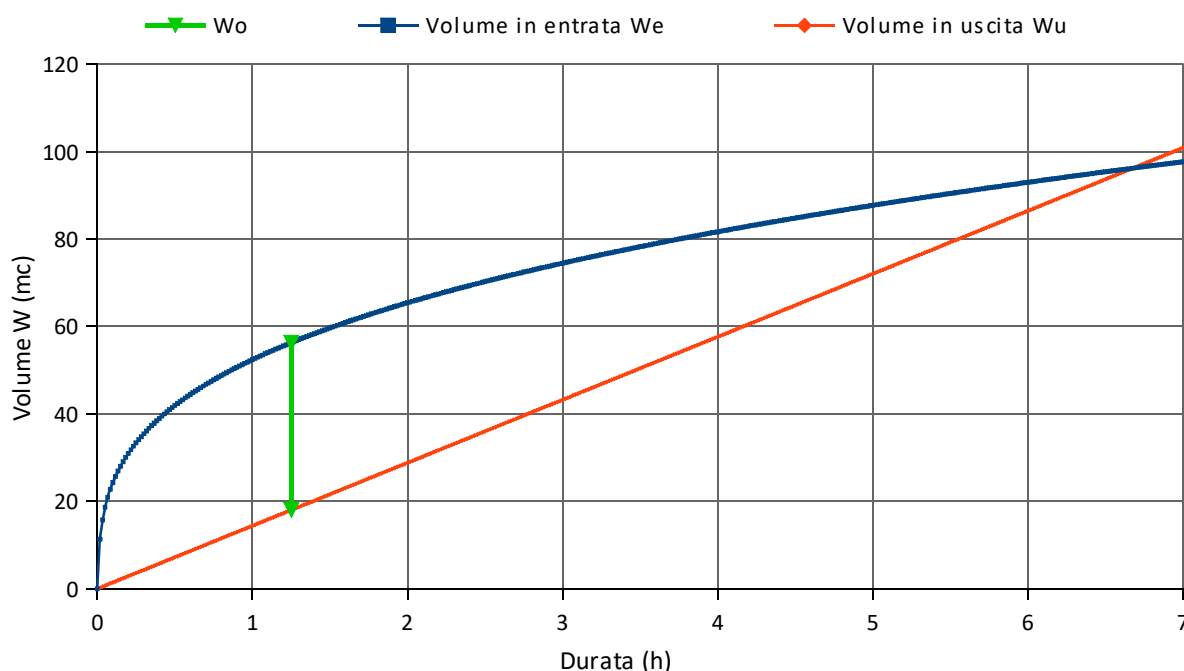
Superficie filtrante	62,50	mq		
Portata di infiltrazione	14,40	mc/h	pari a	4,00 l/s
Portata di infiltrazione per ettaro di superficie impermeabile				44,44 l/s/ha imp

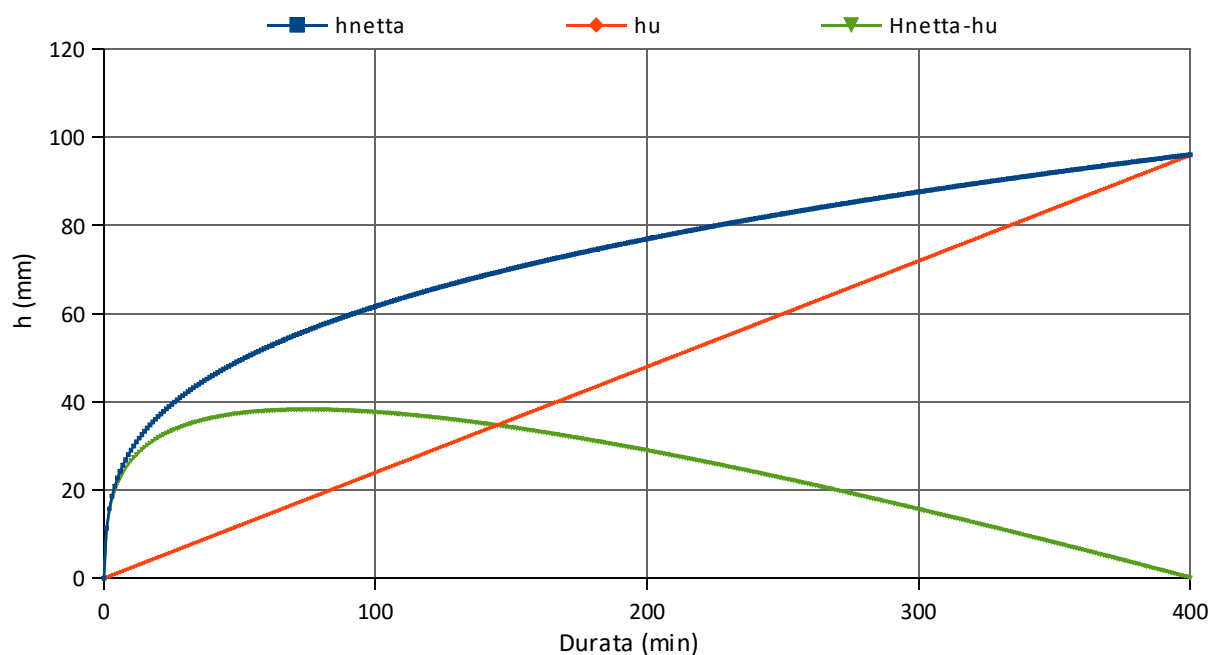
Portata totale in uscita dal sistema

Portata totale in uscita dal sistema	4,00	l/s
Portata totale in uscita dal sistema per ettaro di superficie impermeabile	44,44	l/s/haimp

CALCOLO VOLUME DI LAMINAZIONE TR20

Calcolo durata critica	Dw	1,25	ore
Calcolo altezza di pioggia	h	62,52	mm
Calcolo Volume di laminazione	Wo	38,25	mc





Come si evince dai calcoli, la durata critica per il sistema considerato è di 75 minuti, con una precipitazione di 62,52 mm.

Verifica del sistema

Dal calcolo effettuato per garantire il funzionamento del sistema durante un evento meteorico con tempo di ritorno di 20 anni occorre un volume di laminazione di **38,25 m³**.

Il volume di laminazione disponibile nel sistema d'infiltrazione è pari a **38,60 m³**, e pertanto il sistema risulta verificato:

Volume di laminazione totale del sistema di drenaggio 38,60 m ³	>	Volume di laminazione calcolato per Tr20 anni 38,25 m ³
--	---	--

Infine, il tempo di svuotamento del sistema è stato calcolato inferiore alle 3 h, così da ripristinare la capacità d'invaso quanto prima possibile.

Comune di Suno

Lavori di allargamento tratto stradale di Via Madonna della Neve e Via Cascina Lunga, a Suno (No)
Relazione geologica

9.5.2. Incrocio

Ubicazione: incrocio tra Via Cascina Lunga (circa 130 m) e Via Madonna della Neve (circa 80 m).

Superfici: 2.000 mq, con coefficiente di deflusso di 0,90 (valido per superfici asfaltate).

Descrizione sistema: bacino d'infiltrazione 3,5 m x 10 m x altezza utile di 3,0 m, con n°3 pozzi d'infiltrazione ($\varnothing_{\text{int}} = 2,3$ m e $H_{\text{utile}} = 2,5$ m).

Valore di permeabilità adottato: $3,8 \times 10^{-4}$ m/s (media geometrica tra i valori misurati nel sondaggio S3).

Calcolo del processo d'infiltrazione del sistema**BACINO CON POZZI D'INFILTRAZIONE**

Numero bacini	1
---------------	---

Caratteristiche bacino

Larghezza bacino alla base	3,50 m
Altezza utile bacino	3,00 m
Lunghezza bacino	10,00 m
Porosità dreno	30,0%

Caratteristiche pozzi d'infiltrazione all'interno del bacino

Numero pozzi	3
Diametro interno pozzo	2,30 m
Altezza utile pozzo	2,50 m
Diametro esterno pozzo	2,50 m
Altezza totale pozzo nel bacino	2,50 m

raggio	1,15 m
--------	--------

raggio	1,25 m
--------	--------

Caratteristiche terreno naturale

Permeabilità terreno naturale	3,80E-004 m/s
-------------------------------	---------------

pari a	1368,00 mm/h
--------	--------------

Calcolo volume di laminazione

Volume utile pozzo	10,38 mc
Volume totale pozzo	12,27 mc
Volume totale bacino	105,00 mc
Volume totale dreno bacino	68,20 mc
Volume utile dreno pozzo	20,46 mc
Volume di laminazione totale singolo bacino	51,61 mc
Volume di laminazione totale sistema	51,61 mc

pozzi	31,14 mc
pozzi	36,80 mc

considerare ☐ SI**Calcolo portata di infiltrazione**

Area efficace di drenaggio bacino alla base	35,00 mq
Area efficace di drenaggio bacino alle pareti	40,50 mq
Area efficace di drenaggio totale bacino	75,50 mq
Area efficace di drenaggio totale del sistema	75,50 mq
Portata d'infiltrazione sistema	103,28 mc/h, pari a

considerare ☐ SI**28,69 l/s**

Calcolo del volumi di laminazione (metodo delle sole piogge) per Tr 20 anni**CALCOLO DEI VOLUMI DI LAMINAZIONE – METODO DELLE SOLE PIOGGE
PER TEMPI DI RITORNO DI 20 ANNI**

Coefficienti curva di possibilità pluviometrica (da Atlante piogge intense in Piemonte, ARPA Piemonte; distribuzione di Gumbel)	a	34,23	mm/ora ⁿ
	Kt	1,7	
	a x Kt	58,19	mm/ora ⁿ
	n	0,32	
Superficie scolante del bacino afferente all'invaso	S	2.000,00	mq
Coefficiente di deflusso medio calcolato	φ	0,90	
Superficie scolante impermeabile	Simp	1.800,00	mq
Superficie scolante impermeabile	Simp	0,1800	ha

DEFINIZIONE DELLA CAPACITÀ D'INFILTRAZIONE DEL TERRENO

Permeabilità di progetto	3,80E-004	m/s	pari a	1368,0	mm/h
--------------------------	-----------	-----	--------	--------	------

DEFINIZIONE DELLE PORTATE IN USCITA DAL SISTEMA**Portata di scarico nel ricettore**

Portata di scarico nel ricettore	0,00	l/s
Portata di scarico nel ricettore per ettaro di superficie impermeabile	0,00	l/s/haimp

Capacità d'infiltrazione del sistema

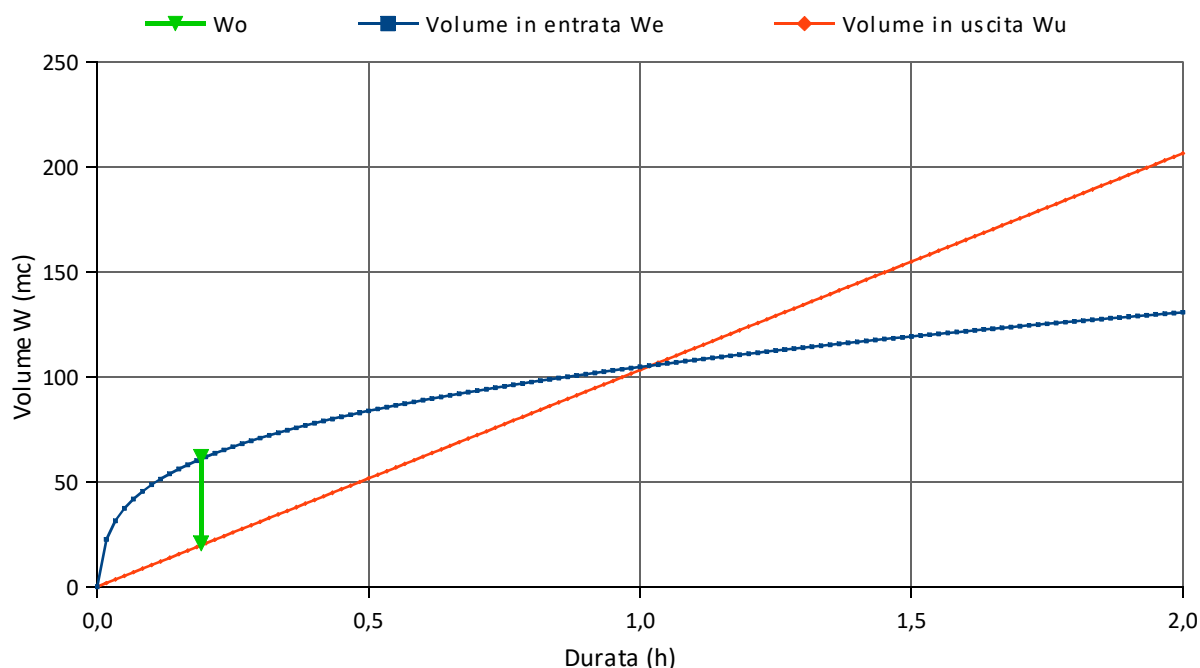
Superficie filtrante	75,50	mq
Portata di infiltrazione	103,28	mc/h
Portata di infiltrazione per ettaro di superficie impermeabile	159,39	l/s/haimp

Portata totale in uscita dal sistema

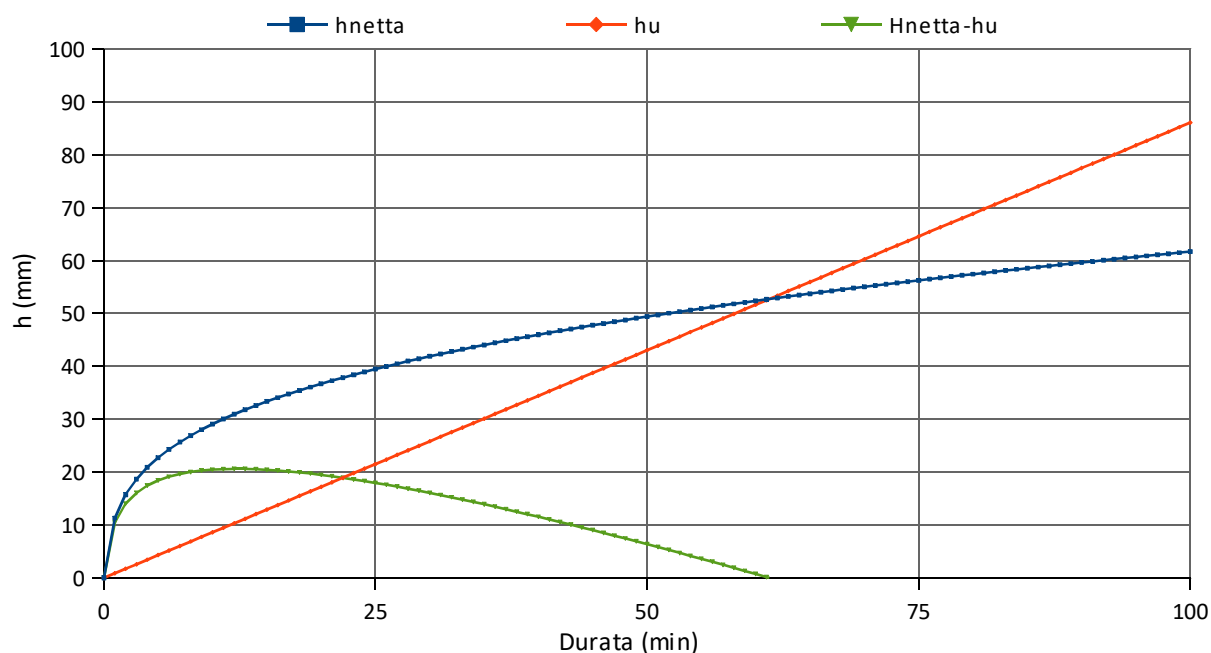
Portata totale in uscita dal sistema	28,69	l/s
Portata totale in uscita dal sistema per ettaro di superficie impermeabile	159,39	l/s/haimp

CALCOLO VOLUME DI LAMINAZIONE TR20

Calcolo durata critica	Dw	0,19	ore
Calcolo altezza di pioggia	h	34,37	mm
Calcolo Volume di laminazione	Wo	41,20	mc



Comune di Suno
 Lavori di allargamento tratto stradale di Via Madonna della Neve e Via Cascina Lunga, a Suno (No)
 Relazione geologica



Come si evince dai calcoli, la durata critica per il sistema considerato è di circa 12', con una precipitazione di 34,37 mm.

Verifica del sistema

Dal calcolo effettuato per garantire il funzionamento del sistema durante un evento meteorico con tempo di ritorno di 20 anni occorre un volume di laminazione di **41,20 m³**.

Il volume di laminazione disponibile nel sistema d'infiltrazione è pari a **51,60 m³**, e pertanto il sistema risulta verificato:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Volume di laminazione totale del} & & \text{Volume di laminazione} \\
 \text{ sistema di drenaggio} & > & \text{calcolato per Tr50 anni} \\
 51,61 \text{ m}^3 & & 41,20 \text{ m}^3
 \end{array}$$

Infine, il tempo di svuotamento del sistema è inferiore all'ora, così da ripristinare la capacità d'invaso quanto prima possibile.

9.5.3. Fossi lato strada Via Madonna della Neve

Ubicazione: tratto di Via Madonna della Neve a monte dell'abitato per una lunghezza di circa 600 m verso la chiesetta omonima.

Superfici: 3.480 mq, con coefficiente di deflusso medio di 0,82, dato dalla media ponderale tra le superfici in asfalto (3.000 mq) con coeff. 0,90, e superfici permeabili dei fossi (480 mq) con coeff. 0,30. Cautelativamente, date le ridotte caratteristiche di permeabilità dei terreni misurate in corrispondenza del punto di sondaggio S2, è stato considerato disperdente solamente la porzione di tracciato più vicina all'incrocio, nel settore pseudo-pianeggiante, per una lunghezza di 190 m.

Descrizione sistema: n°2 trincee (larghezza 0,4 m e altezza 1,0 m) con lunghezza di 600 m, considerate disperdenti per 190 m.

Valore di permeabilità adottato: $8,65 \times 10^{-5}$ m/s (media geometrica tra i valori misurati a -1,5 m dal p.c. nei sondaggi S1 e S3).

Calcolo del processo d'infiltrazione del sistema**TRINCEE DISPERDENTI FOSSI LATO STRADA**

Numero trincee	2
----------------	---

Caratteristiche trincea

Larghezza trincea alla base	0,40	m
Altezza trincea	1,00	m
Lunghezza trincea	600,00	m
Porosità dreni	30,0%	

Caratteristiche trincea disperdente

Larghezza trincea alla base	0,40	m
Altezza trincea	1,00	m
Lunghezza trincea	190,00	m

Caratteristiche terreno naturale

Permeabilità terreno naturale	8,65E-005	m/s	pari a	311,40	mm/h
-------------------------------	-----------	-----	--------	--------	------

Calcolo volume di laminazione (tutta la trincea)

Volume drenaggio singola trincea	240,00	mc
Volume utile drenaggio singola trincea	72,00	mc
Volume di laminazione sistema	144,00	mc

Calcolo portata di infiltrazione (solo trincea disperdente)

Area efficace di drenaggio trincea alla base	76,00	mq
Area efficace di drenaggio trincea alle pareti	190,00	mq
Area efficace di drenaggio totale trincea	266,00	mq
Area efficace di drenaggio totale del sistema	532,00	mq
Portata d'infiltrazione sistema	165,66	mc/h, pari a
		46,02 l/s

Calcolo del volumi di laminazione (metodo delle sole piogge) per Tr 20 anni

**CALCOLO DEI VOLUMI DI LAMINAZIONE – METODO DELLE SOLE PIOGGE
PER TEMPI DI RITORNO DI 20 ANNI**

Coefficienti curva di possibilità pluviometrica (da Atlante piogge intense in Piemonte, ARPA Piemonte; distribuzione di Gumbel)	a	34,23	mm/ora ⁿ
	Kt	1,7	
	a x Kt	58,19	mm/ora ⁿ
	n	0,32	
Superficie scolante del bacino afferente all'invaso	S	3.480,00	mq
Coefficiente di deflusso medio calcolato	φ	0,82	
Superficie scolante impermeabile	Simp	2.853,60	mq
Superficie scolante impermeabile	Simp	0,2854	ha

DEFINIZIONE DELLA CAPACITÀ D'INFILTRAZIONE DEL TERRENO

Permeabilità di progetto	8,65E-005	m/s	pari a	311,4	mm/h
--------------------------	-----------	-----	--------	-------	------

DEFINIZIONE DELLE PORTATE IN USCITA DAL SISTEMA

Portata di scarico nel ricettore

Portata di scarico nel ricettore	0,00	l/s
Portata di scarico nel ricettore per ettaro di superficie impermeabile	0,00	l/s/haimp

Capacità d'infiltrazione del sistema

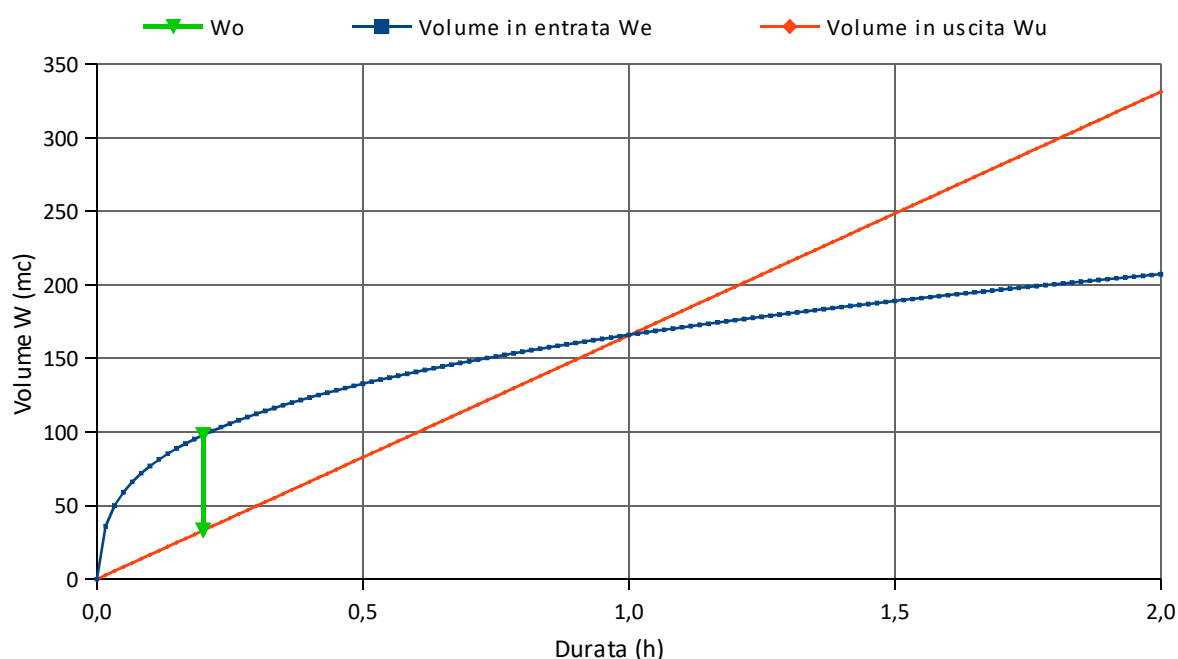
Superficie filtrante	532,00	mq
Portata di infiltrazione	165,66	mc/h
Portata di infiltrazione per ettaro di superficie impermeabile	161,26	l/s/haimp

Portata totale in uscita dal sistema

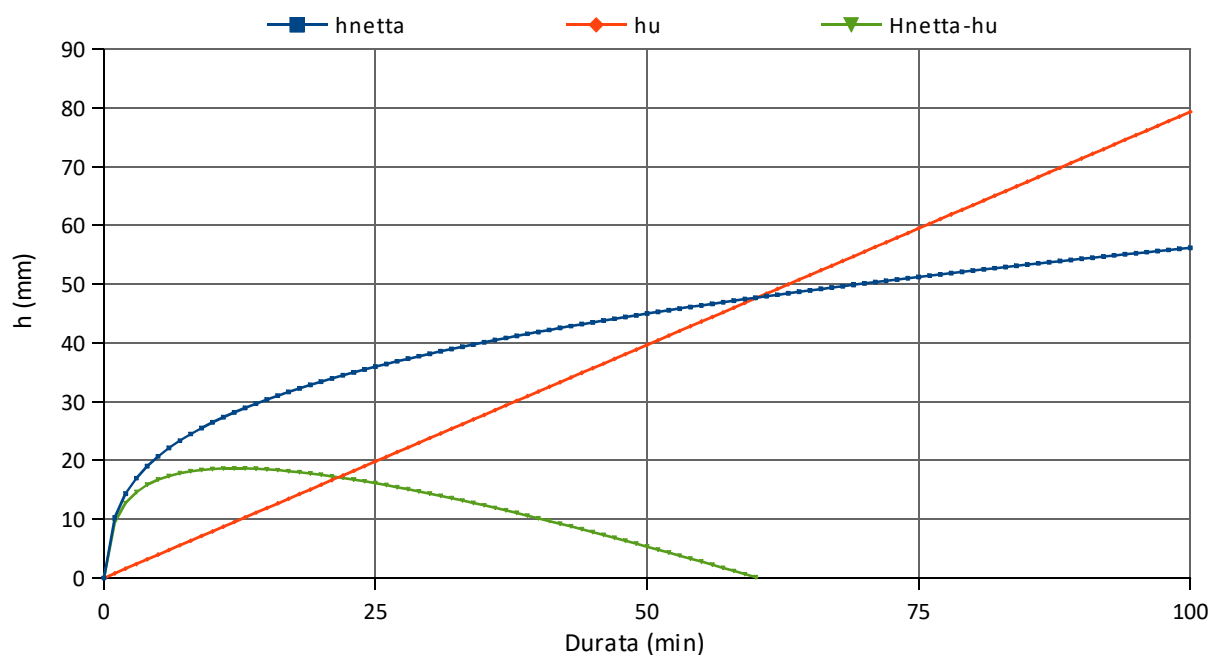
Portata totale in uscita dal sistema	46,02	l/s
Portata totale in uscita dal sistema per ettaro di superficie impermeabile	161,26	l/s/haimp

CALCOLO VOLUME DI LAMINAZIONE TR20

Calcolo durata critica	Dw	0,20	ore
Calcolo altezza di pioggia	h	34,37	mm
Calcolo Volume di laminazione	Wo	64,94	mc



Comune di Suno
 Lavori di allargamento tratto stradale di Via Madonna della Neve e Via Cascina Lunga, a Suno (No)
 Relazione geologica



Come si evince dai calcoli, la durata critica per il sistema considerato è di 12', con una precipitazione di 34,37 mm.

Verifica del sistema

Dal calcolo effettuato per garantire il funzionamento del sistema durante un evento meteorico con tempo di ritorno di 20 anni occorre un volume di laminazione di **64,94 m³**.

Il volume di laminazione disponibile nel sistema d'infiltrazione è pari a 144 m³, e pertanto il sistema risulta verificato:

Volume di laminazione totale del sistema di drenaggio 144 m ³	>	Volume di laminazione calcolato per Tr50 anni 64,94 m ³
--	---	--

Infine, il tempo di svuotamento del sistema è inferiore all'ora, così da ripristinare la capacità d'invaso quanto prima possibile.

10. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE SUGLI INTERVENTI IN PROGETTO, PRESCRIZIONI ED INCERTEZZE DEL MODELLO

Le osservazioni condotte sull'assetto geologico del sito di nuovo intervento non hanno evidenziato problematiche particolari che non possano essere risolte mediante locali interventi da eseguirsi nello specifico intervento.

Il moderato grado di pericolosità dell'area, rilevato anche dalla carta di sintesi di PRGC con l'attribuzione della "Classe II", è riconducibile a possibili difficoltà di drenaggio delle acque meteoriche provenienti da monte. Infatti la conformazione morfologica del sito è tale da favorire i deflussi delle acque meteoriche insistenti sui terreni orientali maggiormente rilevati, dove i processi di infiltrazione sono ostacolati dalla presenza di un suolo poco permeabile, verso i terreni occidentali situati a quote minori, con deflusso preferenziale veicolato dalla sede stradale di Via Madonna della Neve. Questi cospicui afflussi possono aggravare le difficoltà di deflusso già segnalate dal PGRA e dallo studio geologico di PRGC per il Cavo Borromeo, che rappresenta il naturale ricettore, con conseguenti possibili episodi di allagamento, principalmente in corrispondenza del tratto di Via Madonna della Neve ubicato a Ovest dell'incrocio con Via Cascina Lunga.

Posto che gli interventi in progetto non hanno la finalità di risolvere queste problematiche, che richiederebbero la progettazione di vere e proprie opere di sistemazione del territorio per la regimazione dei deflussi provenienti da monte, il progetto di allargamento stradale prevede la realizzazione di opere dedicate allo smaltimento per infiltrazione delle acque meteoriche insistenti sulle superfici stradali oggetto di intervento, considerando anche il tratto lungo Via Madonna della Neve dove è prevista la sola sistemazione dei fossi lato strada, e pertanto contribuiranno a un miglioramento generale della regimazione dei deflussi.

In fase esecutiva andrà prestata particolare attenzione alle quote di sistemazione delle superfici, in modo tale da non andare a peggiorare le condizioni idrologiche attuali dei terreni limtrofi e, dove possibile, di favorire i deflussi a lato della carreggiata, ostacolandone l'incanalamento lungo la sede stradale, così da evitare anche la formazione di deflussi concentrati.

Gli interventi che verranno realizzati nel settore ascritto alla "Classe III", relativo alla fascia di rispetto del Cavo Borromeo, non saranno tali da modificare le condizioni di deflusso di questo corso d'acqua. In particolare, l'attraversamento dovrà prevedere una sezione di deflusso non inferiore a quella attuale.

Il modello geologico elaborato ha un buon grado di attendibilità, anche perché supportato da indagini in sito eseguite ad hoc. Il maggiore elemento di incertezza è dato dal fatto che non si conosce con esattezza il reale limite tra i depositi a buona permeabilità occidentali e quelli a bassa permeabilità affioranti più a Est, e pertanto nei calcoli è stata considerata una condizione cautelativa. Un secondo elemento di incertezza è dato, per l'assenza di punti di misura accessibili con periodicità, dalla non perfetta conoscenza del livello di falda e delle sue oscillazioni nel tempo. Anche se le indagini eseguite in sito non hanno rilevato la presenza di acqua fino alla massima profondità d'indagine, pari a 4 m, dalle informazioni a disposizione il sottosuolo è caratterizzato da una falda periodicamente a bassa soggiacenza, con valori superiori di pochi metri.

Dato il carattere granulare e non coesivo dei terreni, nel caso in cui siano previsti scavi con altezze superiori a 1,5 m con permanenza all'interno di operai si dovrà provvedere al sostenimento delle pareti, come previsto dalla normativa vigente (D.Lgs. 81/08).

Dopo aver analizzato nel dettaglio gli elementi geologici che determinano il grado di pericolosità del sito attribuito dalla cartografia di PRGC, si può affermare che gli interventi in progetto siano compatibili con l'assetto geologico locale e tali da non comportare un aumento della pericolosità geomorfologica, geologica e idrogeologica per un intorno significativo del sito di studio. Inoltre il rischio geologico connesso con le opere da realizzare, definito come probabilità che un determinato evento naturale si verifichi incidendo sull'ambiente fisico in modo tale da recare danno all'uomo e alle sue attività, è modesto.

Conclusioni

Lo studio condotto sull'area dove verrà realizzato il nuovo intervento edilizio ha evidenziato i seguenti aspetti:

- l'area è ubicata nel settore nord-occidentale del territorio comunale di Suno e appartiene in gran parte alla "Classe II" di PRGC, che individua un moderato grado di pericolosità, qui dato da possibili difficoltà di drenaggio delle acque meteoriche provenienti da monte e dalla presenza nel primo sottosuolo di una falda periodicamente a ridotta soggiacenza;
- in corrispondenza del tratto occidentale del tracciato, situato altimetricamente a quote topografiche inferiori, affiorano depositi fluvioglaciali würmiani formati principalmente da ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa con buon grado di permeabilità, mentre lungo il tratto orientale più rilevato affiorano depositi fluvioglaciali rissiani caratterizzati da un paleosuolo sabbioso-argilloso con spessore di circa 2÷3 metri e dalla presenza di una frazione fine limosa che riduce considerevolmente il loro grado di permeabilità;
- la litologia e il grado di permeabilità dei terreni lungo il tracciato è stato indagato mediante la realizzazione di n°3 sondaggi a carotaggio continuo della profondità di 4 m dal p.c., e di un totale di n°6 prove di permeabilità in foro di sondaggio, i cui risultati sono riportati al par. 6.4 e in All. 2;
- il limite tra questi depositi è situato grosso modo in corrispondenza del terrazzo morfologico che con direzione NW-SE attraversa il tracciato all'altezza di "Cascina Gualini", anche se la sua esatta collocazione resta un elemento di incertezza del modello che potrà essere verificato solamente in fase esecutiva con la visione diretta dei terreni;
- ai terreni che formano il primo sottosuolo sono stati attribuiti i parametri geologico-tecnici riportati al cap. 7, basati sulla visione dei terreni durante l'esecuzione dei sondaggi correlata con i risultati di indagini pregresse eseguite dallo scrivente nelle vicinanze e in contesti geologicamente confrontabili;
- la conformazione morfologica del sito è tale da favorire i deflussi delle acque meteoriche dal settore orientale maggiormente rilevato, a quello occidentale, lungo la sede stradale di Via Madonna della Neve, andando ad aggravare le difficoltà di deflusso già segnalate per il Cavo Borromeo, che rappresenta il naturale ricettore, con conseguenti possibili episodi di allagamento;
- posto che il progetto non ha la finalità di risolvere questa problematica, che richiederebbe la progettazione di vere e proprie opere di sistemazione del territorio a monte dei nuovi interventi per la regimazione dei deflussi, il progetto di allargamento stradale prevede la realizzazione di opere dedicate allo smaltimento per infiltrazione delle acque meteoriche insistenti sulle superfici stradali oggetto di intervento, considerando anche il tratto lungo Via Madonna della Neve dove è prevista la sola sistemazione dei fossi lato strada, e pertanto contribuiranno a un miglioramento generale della regimazione dei deflussi;
- in fase esecutiva andrà prestata particolare attenzione alle quote di sistemazione delle superfici, in modo tale da non andare a peggiorare le condizioni idrologiche attuali dei terreni limtrofi ed evitare la formazione di deflussi concentrati;
- la sede stradale oggetto di intervento attraversa il Cavo Borromeo, cavo irriguo regimato che può dare origine periodicamente, nei terreni situati poco più a valle del tracciato, a eventi di esondazione anche se con battenti idrici di altezza ridotta (inferiore ai 20 cm) e caratteristiche di modesta energia (condizione quasi statica);
- il nuovo attraversamento in progetto dovrà prevedere sezioni di deflusso con superfici non inferiori a quelle attuali;
- nel settore occidentale ribassato del tratto d'intervento è presente una falda periodicamente a bassa soggiacenza, con valori di circa 5 metri, anche se il suo esatto valore, unitamente all'entità delle sue oscillazioni nel tempo, restano un elemento di incertezza del modello;
- il sito possiede una pericolosità sismica molto bassa, tipica di una "zona 4" sismica;
- dato il carattere granulare e non coesivo dei terreni, in caso in cui siano previsti scavi con altezze

Comune di Suno

Lavori di allargamento tratto stradale di Via Madonna della Neve e Via Cascina Lunga, a Suno (No)
Relazione geologica

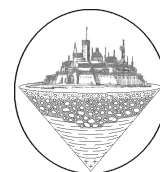
superiori a 1,5 m con permanenza all'interno di operai, si dovrà provvedere al sostenimento delle pareti, come previsto dalla normativa vigente (D.Lgs. 81/08).

In conclusione, dopo aver analizzato nel dettaglio gli elementi geologici dell'area di studio, si può affermare che l'insieme delle osservazioni condotte evidenzia un quadro sostanzialmente idoneo per l'esecuzione degli interventi in progetto, non rilevandosi particolari limitazioni di carattere geologico che non possano essere compensate con provvedimenti particolari a livello del singolo intervento, nel rispetto delle considerazioni riportate al Capitolo 10, al quale si rimanda; l'intervento è quindi compatibile con la geologia locale.

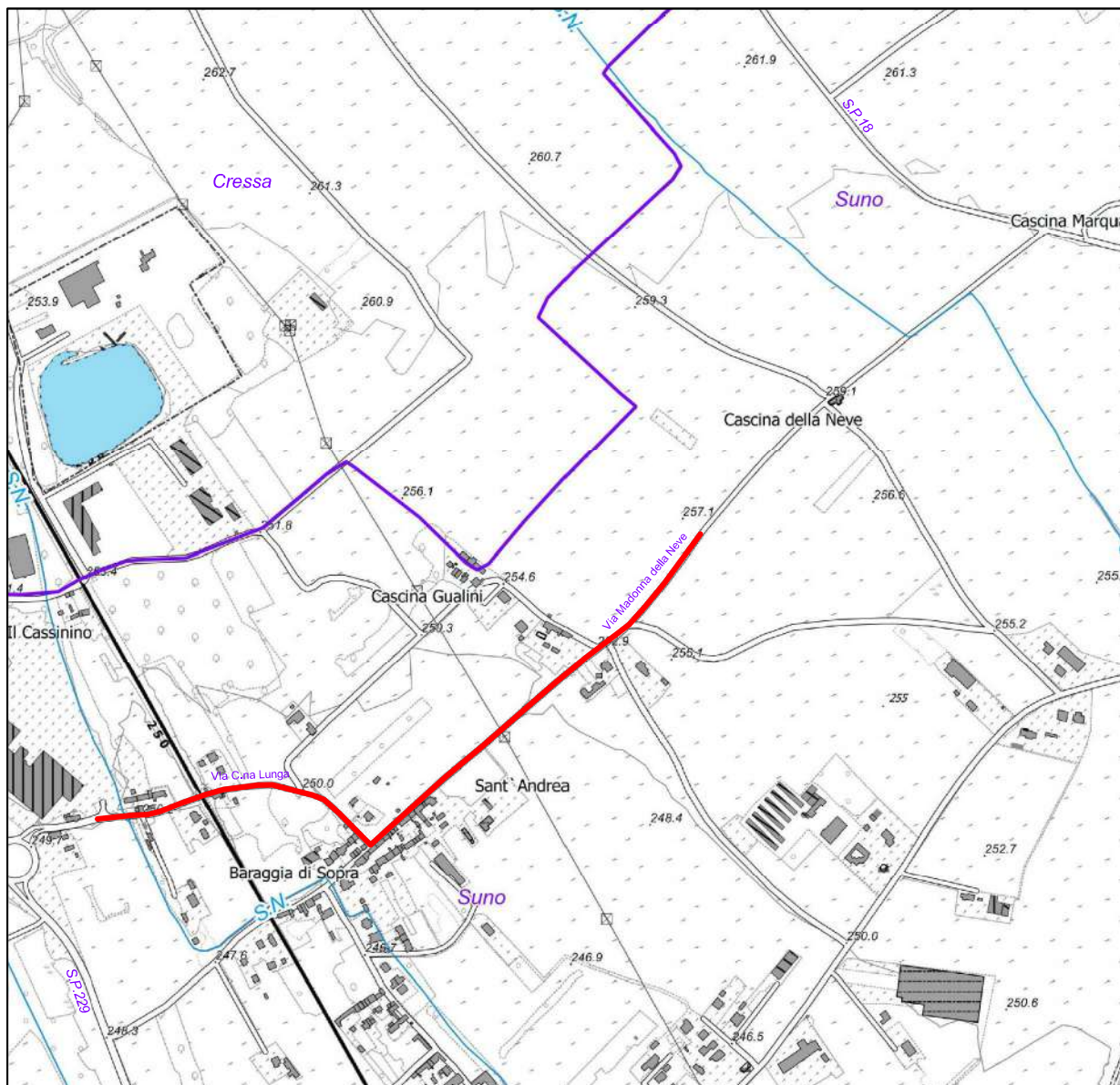
Il presente studio a carattere generale dovrà essere verificato in fase esecutiva. Pertanto se durante l'esecuzione dell'opera si dovessero rinvenire condizioni geologiche difformi da quanto previsto in questa relazione sarà opportuno rivedere le conclusioni e contattare il consulente geologo. Inoltre qualsiasi significativa variante che si voglia adottare all'attuale progetto cui si è fatto riferimento dovrà essere analizzata anche sotto il profilo geologico.

TAVOLE E ALLEGATI

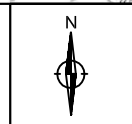
Rif. 1026-21



Dott. Geol. Mattia BERTANI
Casale Tabuloni, 32
28021 Borgomanero (No)
tel. 0322 843722 – fax. 0322 060155
www.studiobertani.it

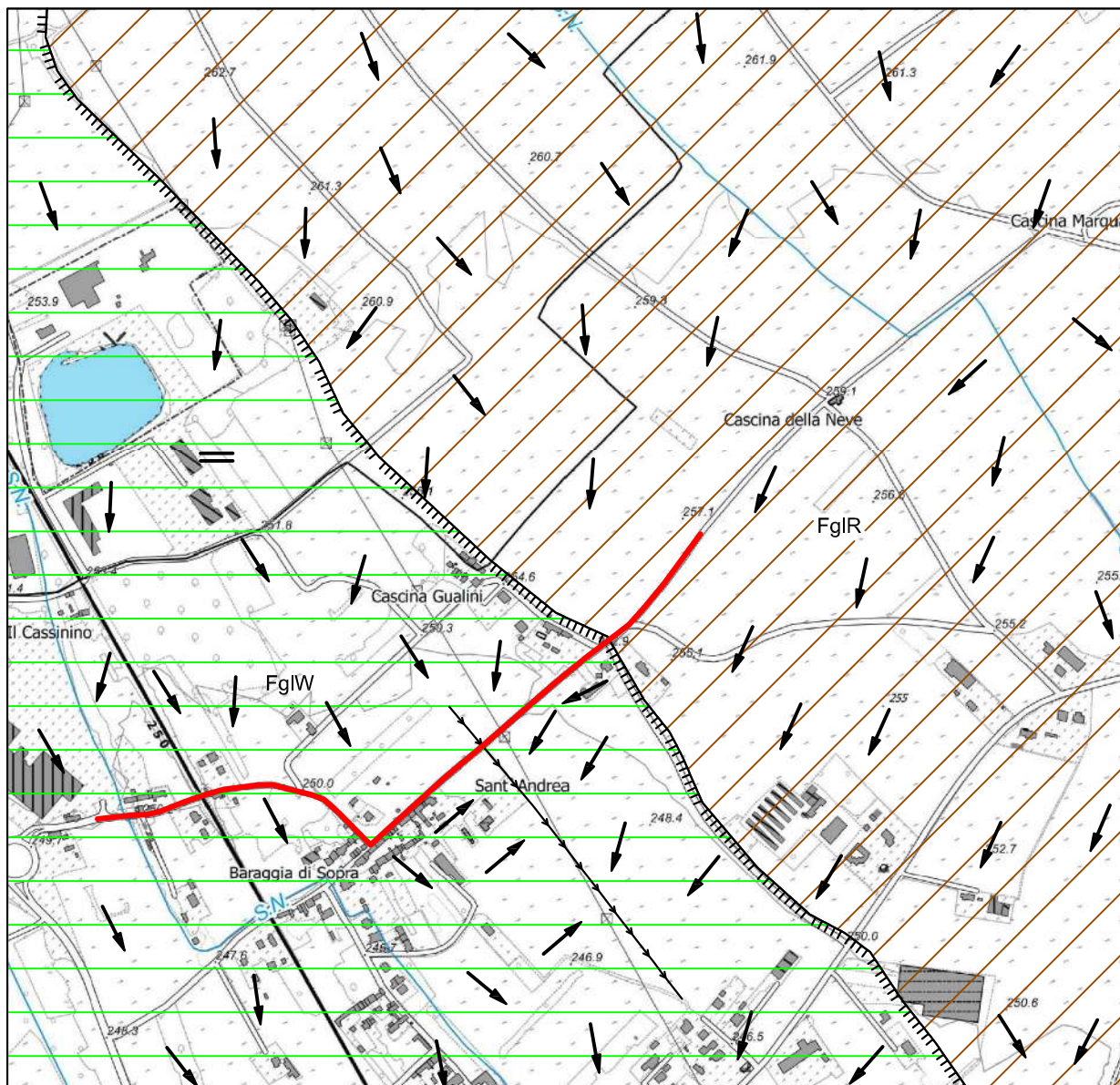


Stralcio BDTRE Regione Piemonte

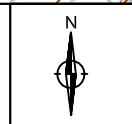


— Tracciato stradale di intervento

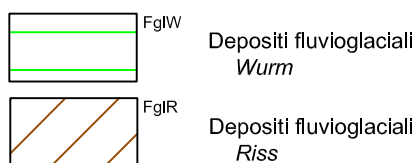
 <p>Dott. Geol. Mattia BERTANI Ordine dei Geologi del Piemonte n.588 Casale Tabuloni, 32 - 28021 Borgomanero (No) tel. 0322 843722 - fax. 0322 060155 - cell. 349 1884498 www.studiobertani.it - e-mail: mattia.bertani@atdot.it</p>			
<p>Località: Madonna della Neve - C.na Lunga Comune di Suno (No)</p>			
<p>Titolo: Corografia</p>			<p>N. Tavola:</p> <p>1</p>
Commissa:	File:		
rif: 1026-21	suno_madonnadellaneve_geo_tav1.pdf		
Rev:	Data emissione:	Foglio:	Scala:
01	Ottobre 2023	A4	1:10.000



Stralcio BDTRE Regione Piemonte



— Tracciato stradale di intervento



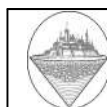
↘ Pendenza superficie topografica

= Piana

▄ Terrazzo

— Solco di ruscellamento concentrato

— Elemento idrografico superficiale



Dott. Geol. Mattia BERTANI
Ordine dei Geologi del Piemonte n.588
Casale Tabuloni, 32 - 28021 Borgomanero (No)
tel. 0322 843722 - fax. 0322 060155 - cell. 349 1884498
www.studiobertani.it - e-mail: mattia.bertani@atdot.it

Località: **Madonna della Neve - C.na Lunga**
Comune di Suno (No)

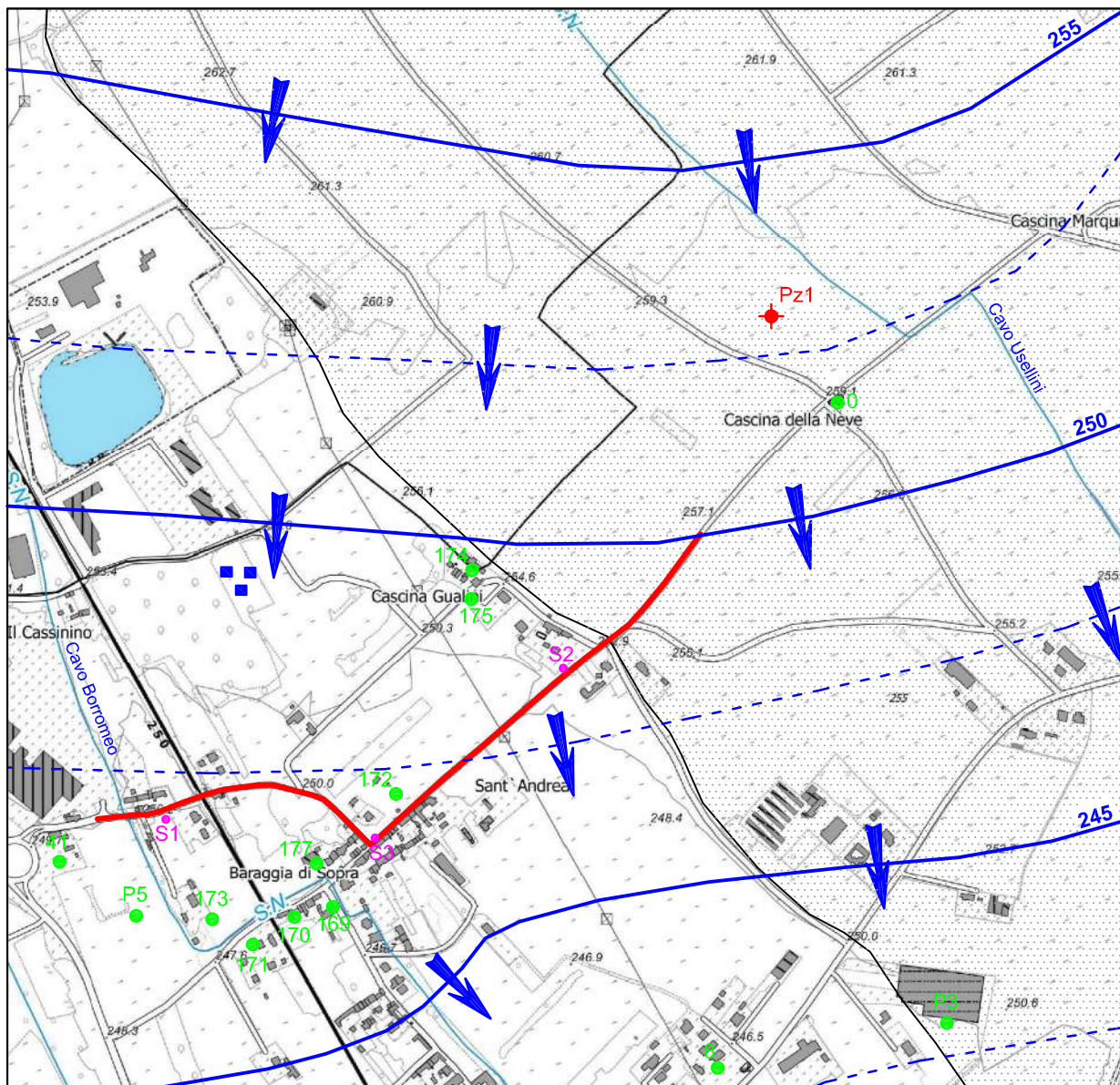
Titolo: **Inquadramento
geomorfologico e geologico**

N. Tavola:

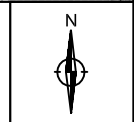
2

Commissa: rif: 1026-21 File: suno_madonnadellaneve_geo_tav2.pdf

Rev: 01 Data emissione: Ottobre 2023 Foglio: A4 Scala: 1:10.000



Stralcio BDTRE Regione Piemonte



— Tracciato stradale di intervento

♦ Pz1 Piezometro di controllo falda

● 1 Pozzo privato con codice di riferimento studio idrogeologico di PRG

■ Scavi pregressi con granulometrie

● S Sondaggi con prove di permeabilità in foro

COMPLESSI IDROGEOLOGICI

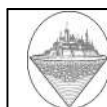
□ Complesso dei Depositi fluviali e fluvioglaciali del Wurm, a permeabilità elevata

▨ Complesso dei Depositi fluvioglaciali del Riss, a permeabilità media

Falda superficiale

250 Isofreatica con quota in m s.l.m. (rif. studio PRG Comune di Suno, Geotecnologie luglio 2010)

↙ Direzione di flusso



Dott. Geol. Mattia BERTANI
Ordine dei Geologi del Piemonte n.588
Casale Tabuloni, 32 - 28021 Borgomanero (No)
tel. 0322 843722 - fax. 0322 060155 - cell. 349 1884498
www.studiobertani.it - e-mail: mattia.bertani@atdot.it

Località: **Madonna della Neve - C.na Lunga**
Comune di Suno (No)

Titolo: **Idrografia ed inquadramento idrogeologico**

N. Tavola:

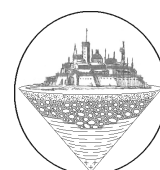
3

Commissa: rif: 1026-21 File: suno_madonnadellaneve_geo_tav3.pdf

Rev: 01 Data emissione: Ottobre 2023 Foglio: A4 Scala: 1:10.000

ALLEGATO	2
Schede sondaggi e prove di permeabilità	

Rif. 1026-21



Dott. Geol. Mattia BERTANI
Casale Tabuloni, 32
28021 Borgomanero (No)
tel. 0322 843722 – fax. 0322 060155
www.studiobertani.it

SONDAGGIO S1

Committente Comune di Suno (No)	Cantiere Allargamento tratto stradale Via Madonna della Neve e Via Cascina Lunga		
Indagine Geologica	Coordinate X Y	Quota Ass. P.C.	Inizio/Fine Esecuzione 24/10/2022
Sondaggio Sondaggio a carotaggio continuo diam. 101 - R 127 mm	Impresa A4E S.r.l.	Profondità raggiunta 4 m	Pagina 1/1

Scala (m dal pc)	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T. (n° Colpi)	Pocket Test kPa	Vane Test kPa	Campioni	Cass. Catalog.	Piezometr o	Falda
		TERRENO VEGETALE e SABBIA LIMOSA di colore bruno	-0.30							
-1		GHIAIE E CIOTTOLI in matrice sabbiosa di colore marrone chiaro- grigiastro clasti subarrotondati, non alterati								
-2		- 1,5 m: PROVA DI PERMEABILITA' S1-K1 k = 8,9x10^-5 m/s								
-3										
-4		- 4,0 m: PROVA DI PERMEABILITA' S1-K2 k = 3,9x10^-5 m/s	-4.00							

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

Note:
Falda non rilevata

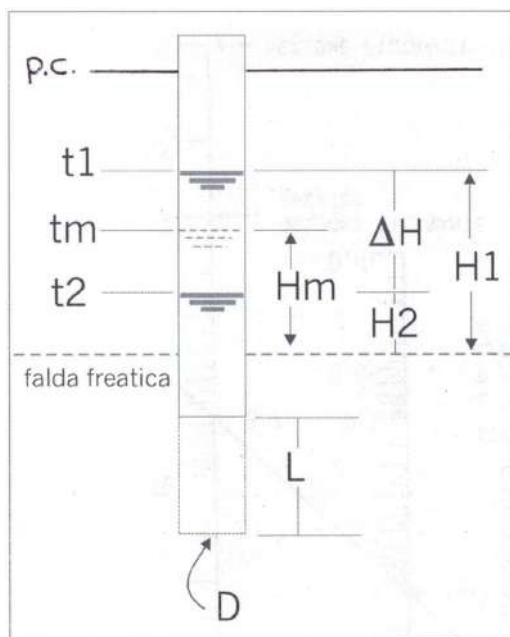


Nome prova

S1-K1

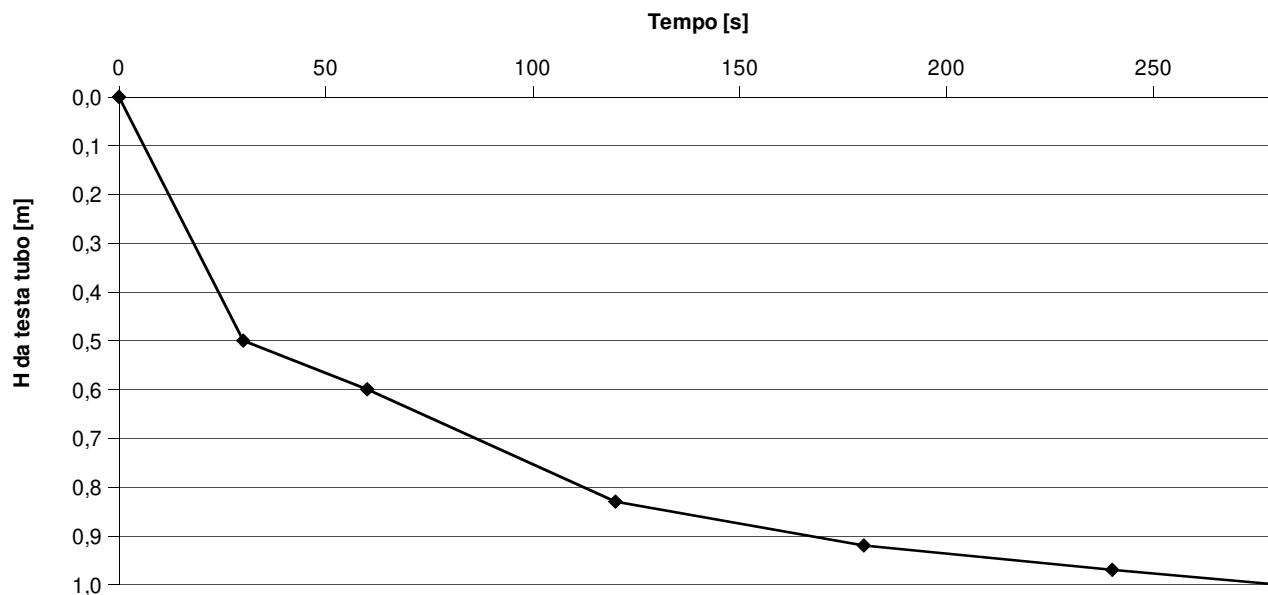
Prova:	K1
Data:	24/10/22
Profondità:	1,5 m

Profondità del foro [m dal p.c.]:	1,5
Altezza testa tubo (t.t.) dal p.c. [m]:	0,5
Spessore tratto di prova L [m]:	0,5
Diametro del foro [m]:	0,127
Diametro interno del rivestimento [m]:	0,107
Area di base della tasca filtrante A [mq]:	0,0090
Coefficiente di forma CI [m]:	0,5
Livello statico della falda [m dalla t.t.]	
Livello di riferimento [m dalla t.t.]	2,0

[illegible]

$$K = A / (C l \times (t_2 - t_1)) \times \ln (h_1 / h_2)$$

K = 8,92E-005 m/s



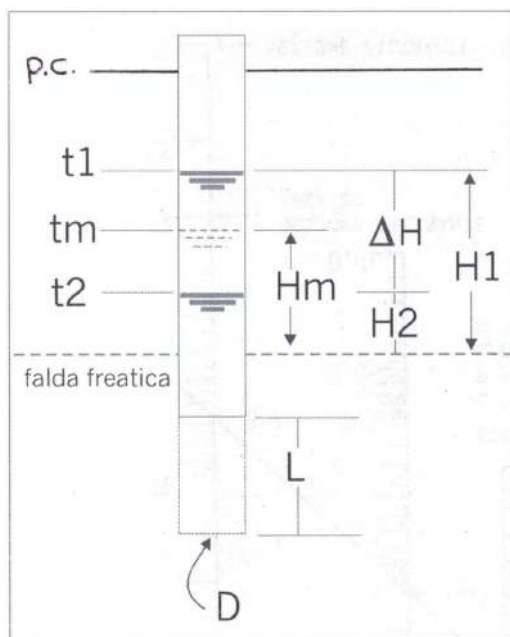


Nome prova

S1-K2

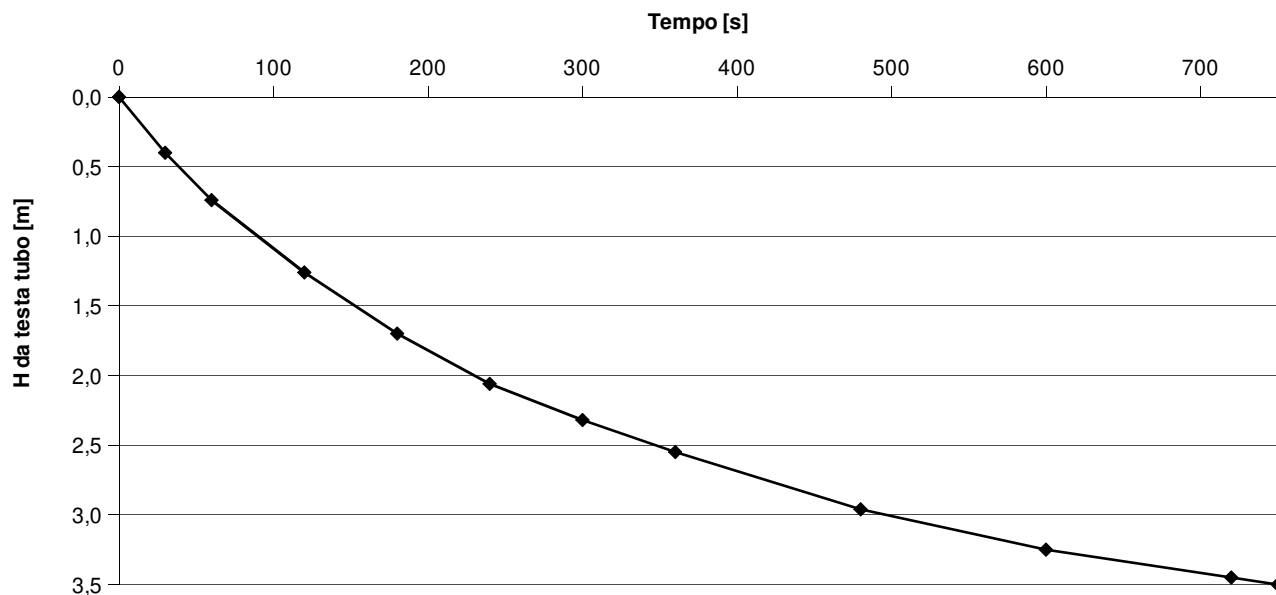
Prova:	K2
Data:	24/10/22
Profondità:	4,0 m

Profondità del foro [m dal p.c.]:	4,0
Altezza testa tubo (t.t.) dal p.c. [m]:	0,5
Spessore tratto di prova L [m]:	0,5
Diametro del foro [m]:	0,127
Diametro interno del rivestimento [m]:	0,107
Area di base della tasca filtrante A [mq]:	0,0090
Coefficiente di forma CI [m]:	0,5
Livello statico della falda [m dalla t.t.]	
Livello di riferimento [m dalla t.t.]	4,5

[illegible]

$$K = A / (C l \times (t_2 - t_1)) \times \ln (h_1 / h_2)$$

PERMEABILITÀ MEDIA CALCOLATA
K = 3,93E-005 m/s



Committente: Comune di Suno (No)	Sondaggio: Diametri C101 – R127 mm
Indagine: Sondaggio a carotaggio continuo	Data: 24/10/22
	Pagina: 1/1
Cantiere: Allargamento tratto stradale Via Madonna della Neve e Via Cascina Lunga	



Ubicazione



Cassetta catalogatrice 0 – 4 m

SONDAGGIO S2

Committente Comune di Suno (No)	Cantiere Allargamento tratto stradale Via Madonna della Neve e Via Cascina Lunga		
Indagine Geologica	Coordinate X Y	Quota Ass. P.C.	Inizio/Fine Esecuzione 24/10/2022
Sondaggio Sondaggio a carotaggio continuo diam. 101 - R 127 mm	Impresa A4E S.r.l.	Profondità raggiunta 4 m	Pagina 1/1

Scala (m dal pc)	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T. (n° Colpi)	Pocket Test kPa	Vane Test kPa	Campioni	Cass. Catalog.	Piezometr o	Falda
		TERRENO VEGETALE e SABBIA LIMOSA di colore bruno	-0.30							
-1		SABBIA LIMOSA di colore rossastro ferrettizzata								
-2			-2.30							
-3		GHIAIE E CIOTTOLI in matrice sabbiosa limosa di colore marrone chiaro-grigiastro clasti subarrotondati, debolmente alterati - 2,5 m: PROVA DI PERMEABILITA' S2-K1 k = 2,4x10^-6 m/s								
			-3.80							
-4		GHIAIE in matrice sabbiosa limosa di colore bruno compatta	-4.00							
		- 4,0 m: PROVA DI PERMEABILITA' S2-K2 k = 2,5x10^-6 m/s								

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

Note:
Falda non rilevata



Dott. Mattia BERTANI
Studio di Geologia

Casale Tabuloni, 32 - 28021 Borgomanero (No)
tel./fax. 0322 843722 - cell. 349 1884498
www.studiobertani.it

**PROVA DI PERMEABILITÀ IN FORO:
TIPO LEFRANC
A CARICO VARIABILE**

Nome prova

S2-K1

Committente:	Comune di Suno (No)
Cantiere:	Via Madonna della Neve
Sondaggio:	S2

Prova:	K1
Data:	24/10/22
Profondità:	2,5 m

Prova eseguita in abbassamento

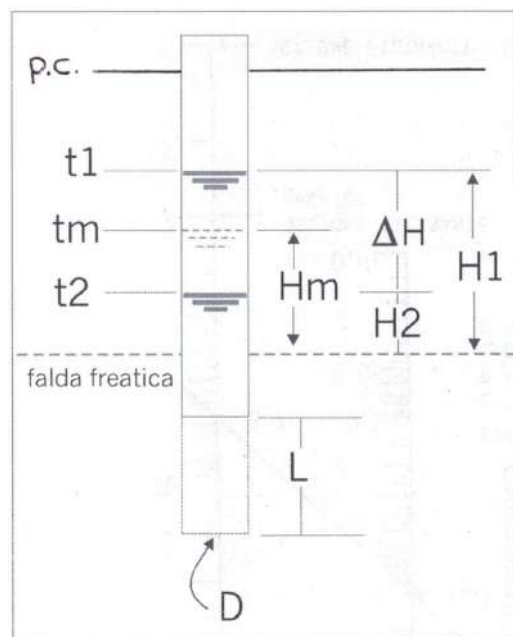
Profondità del foro [m dal p.c.]:	2,5
Altezza testa tubo (t.t.) dal p.c. [m]:	0,5
Spessore tratto di prova L [m]:	0,5
Diametro del foro [m]:	0,127
Diametro interno del rivestimento [m]:	0,107
Area di base della tasca filtrante A [mq]:	0,0090
Coefficiente di forma Cl [m]:	0,5
Livello statico della falda [m dalla t.t.]	
Livello di riferimento [m dalla t.t.]	3,0

DATI DI CAMPAGNA

T [min]	H [m] da testa tubo
0	0,00
0,5	0,02
1	0,05
2	0,08
3	0,11
4	0,14
5	0,16
6	0,19
8	0,26
10	0,30
12	0,32
15	0,40
20	0,48
25	0,56
30	0,66

ELABORAZIONE RISULTATI

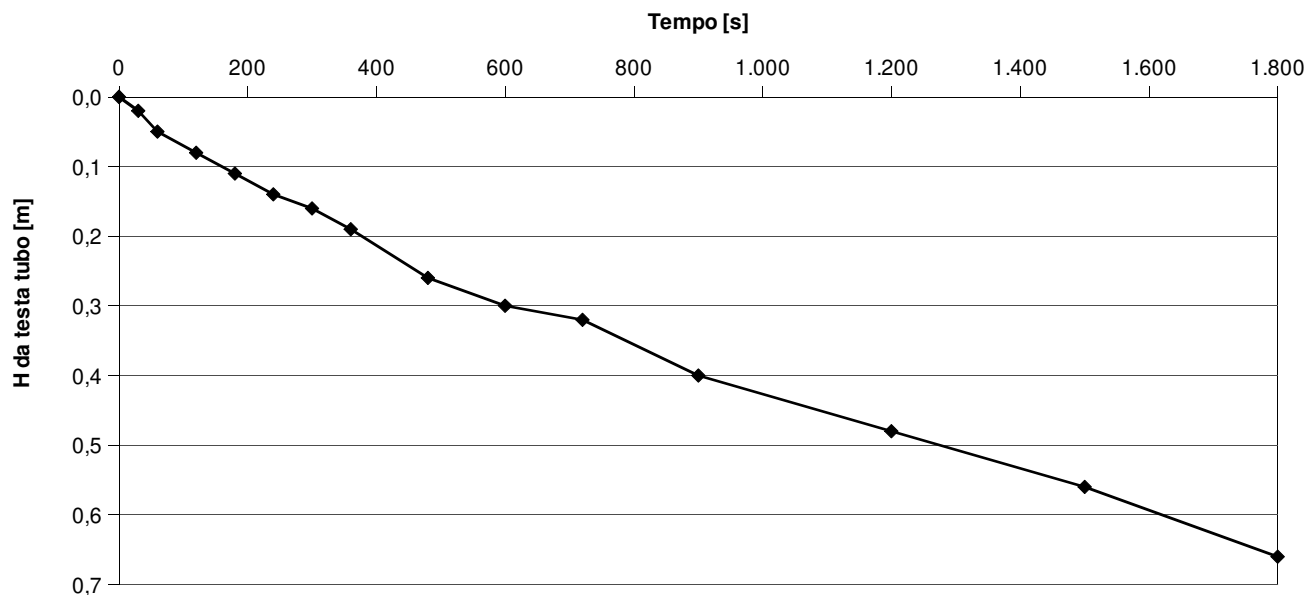
T [s]	H [m] da livello rif.	h1/h2 [m]	dT [s]	k [m/s]
0	3,00	0,00	0,00	
30	2,98	1,01	30,00	4,01E-006
60	2,95	1,01	30,00	6,06E-006
120	2,92	1,01	60,00	3,06E-006
180	2,89	1,01	60,00	3,09E-006
240	2,86	1,01	60,00	3,13E-006
300	2,84	1,01	60,00	2,10E-006
360	2,81	1,01	60,00	3,18E-006
480	2,74	1,03	120,00	3,78E-006
600	2,70	1,01	120,00	2,20E-006
720	2,68	1,01	120,00	1,11E-006
900	2,60	1,03	180,00	3,03E-006
1.200	2,52	1,03	300,00	1,87E-006
1.500	2,44	1,03	300,00	1,93E-006
1.800	2,34	1,04	300,00	2,51E-006



$$K = A / (Cl \times (t_2 - t_1)) \times \ln(h_1/h_2)$$

PERMEABILITÀ MEDIA CALCOLATA

K = 2,47E-006 m/s





Dott. Mattia BERTANI
Studio di Geologia

Casale Tabuloni, 32 - 28021 Borgomanero (No)
tel./fax. 0322 843722 - cell. 349 1884498
www.studiobertani.it

**PROVA DI PERMEABILITÀ IN FORO:
TIPO LEFRANC
A CARICO VARIABILE**

Nome prova

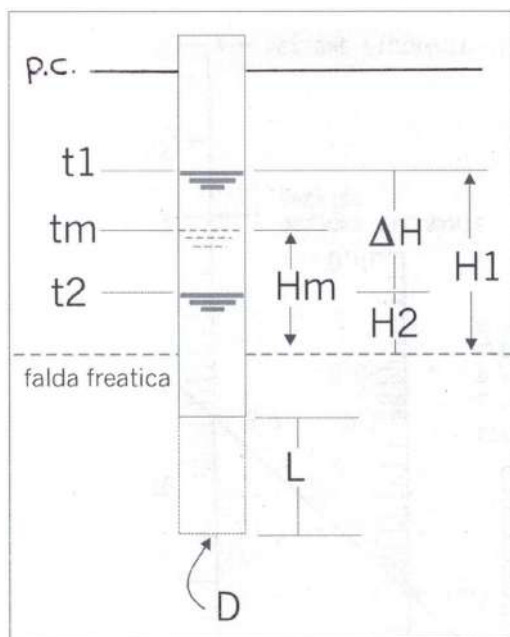
S2-K2

Committente:	Comune di Suno (No)
Cantiere:	Via Madonna della Neve
Sondaggio:	S2

Prova:	K2
Data:	24/10/22
Profondità:	4,0 m

Prova eseguita in abbassamento

Profondità del foro [m dal p.c.]:	4,0
Altezza testa tubo (t.t.) dal p.c. [m]:	0,5
Spessore tratto di prova L [m]:	0,5
Diametro del foro [m]:	0,127
Diametro interno del rivestimento [m]:	0,107
Area di base della tasca filtrante A [mq]:	0,0090
Coefficiente di forma Ci [m]:	0,5
Livello statico della falda [m dalla t.t.]	
Livello di riferimento [m dalla t.t.]	4,5



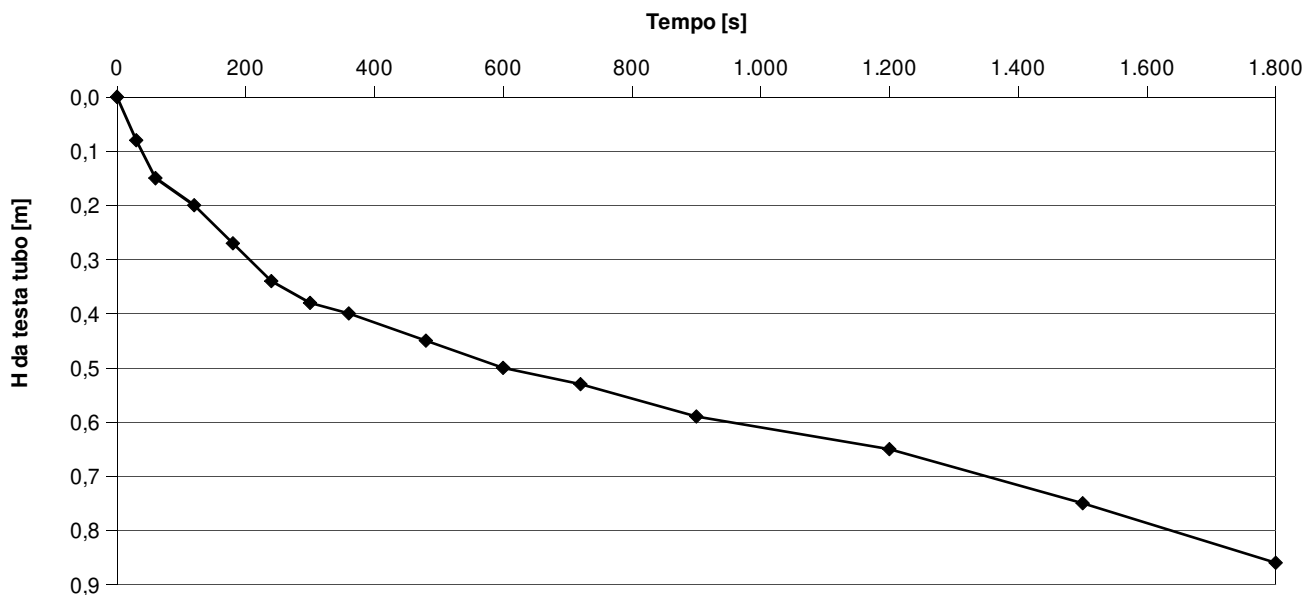
$$K = A / (C_i \times (t_2 - t_1)) \times \ln(h_1/h_2)$$

PERMEABILITÀ MEDIA CALCOLATA

K = 2,50E-006 m/s

DATI DI CAMPAGNA	
T [min]	H [m] da testa tubo
0	0,00
0,5	0,08
1	0,15
2	0,20
3	0,27
4	0,34
5	0,38
6	0,40
8	0,45
10	0,50
12	0,53
15	0,59
20	0,65
25	0,75
30	0,86

ELABORAZIONE RISULTATI				
T [s]	H [m] da livello rif.	h1/h2	dT [s]	k [m/s]
0	4,50	0,00	0,00	
30	4,42	1,02	30,00	1,07E-005
60	4,35	1,02	30,00	9,56E-006
120	4,30	1,01	60,00	3,46E-006
180	4,23	1,02	60,00	4,92E-006
240	4,16	1,02	60,00	5,00E-006
300	4,12	1,01	60,00	2,89E-006
360	4,10	1,00	60,00	1,46E-006
480	4,05	1,01	120,00	1,84E-006
600	4,00	1,01	120,00	1,86E-006
720	3,97	1,01	120,00	1,13E-006
900	3,91	1,02	180,00	1,52E-006
1.200	3,85	1,02	300,00	9,27E-007
1.500	3,75	1,03	300,00	1,58E-006
1.800	3,64	1,03	300,00	1,78E-006



Committente: Comune di Suno (No)	Sondaggio: Diametri C101 – R127 mm
Indagine: Sondaggio a carotaggio continuo	Data: 24/10/22
	Pagina: 1/1
Cantiere: Allargamento tratto stradale Via Madonna della Neve e Via Cascina Lunga	



Ubicazione



Cassetta catalogatrice 0 – 4 m

SONDAGGIO S3

Committente Comune di Suno (No)	Cantiere Allargamento tratto stradale Via Madonna della Neve e Via Cascina Lunga		
Indagine Geologica	Coordinate X Y	Quota Ass. P.C.	Inizio/Fine Esecuzione 25/10/2022
Sondaggio Sondaggio a carotaggio continuo diam. 101 - R 127 mm	Impresa A4E S.r.l.	Profondità raggiunta 4 m	Pagina 1/1

Scala (m dal pc)	Litologia	Descrizione	Quota	S.P.T. (n° Colpi)	Pocket Test kPa	Vane Test kPa	Campioni	Cass. Catalog.	Piezomet o	Falda
		GHIAIA E SABBIA CON CIOTTOLI di colore grigio scuro (rilevato stradale)	-0.30							
-1		GHIAIE E CIOTTOLI in matrice sabbiosa di colore marrone chiaro-grigiastro clasti subarrotondati, non alterati								
-2		- 1,5 m: PROVA DI PERMEABILITA' S3-K1 k = 8,4x10^-5 m/s								
-3										
-4		- 4,0 m: PROVA DI PERMEABILITA' S3-K2 k = 6,7x10^-4 m/s	-4.00							

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa

Note:
Falda non rilevata

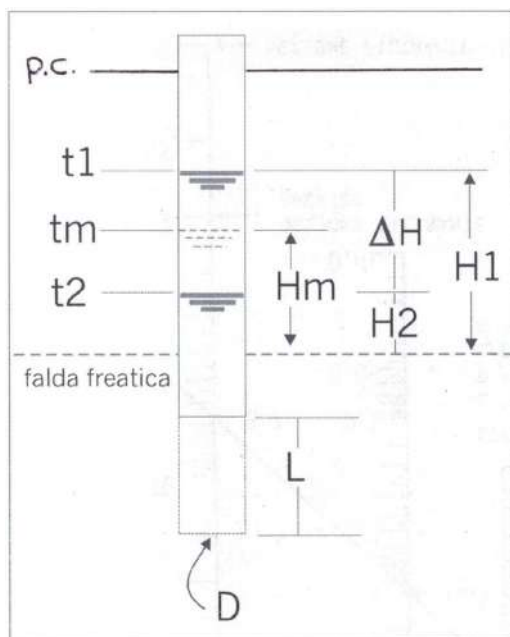


Nome prova

S3-K1

Prova:	K1
Data:	25/10/22
Profondità:	1,5 m

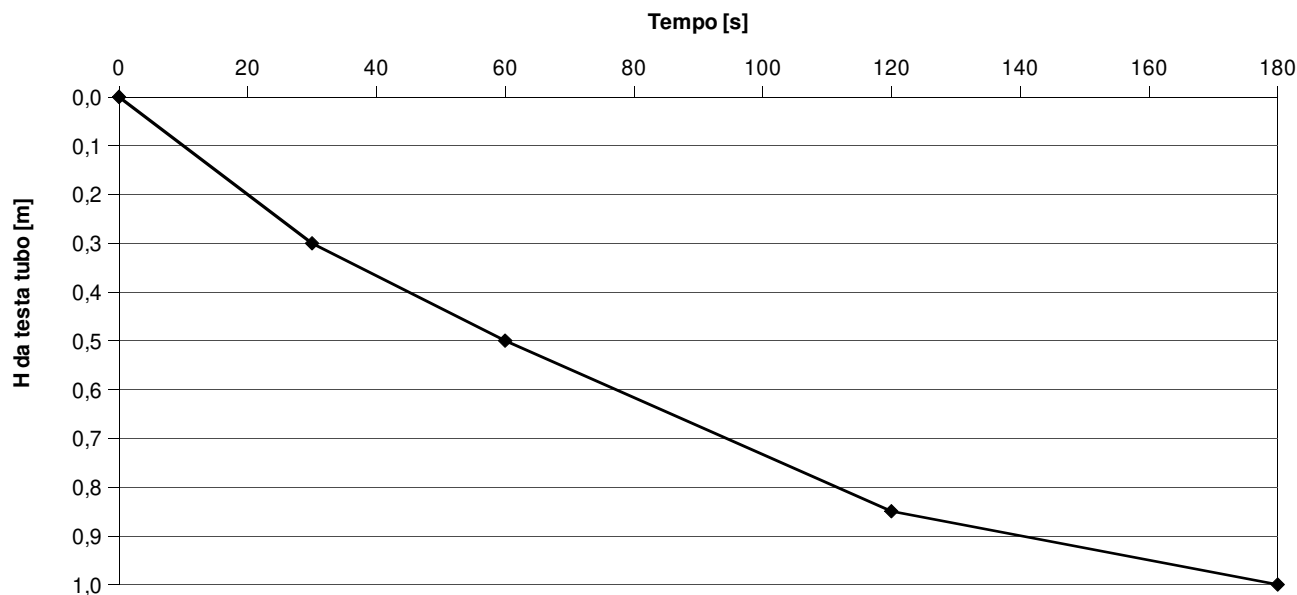
Profondità del foro [m dal p.c.]:	1,5
Altezza testa tubo (t.t.) dal p.c. [m]:	0,5
Spessore tratto di prova L [m]:	0,5
Diametro del foro [m]:	0,127
Diametro interno del rivestimento [m]:	0,107
Area di base della tasca filtrante A [mq]:	0,0090
Coefficiente di forma CI [m]:	0,5
Livello statico della falda [m dalla t.t.]	
Livello di riferimento [m dalla t.t.]	2,0

[illegible][illegible]

$$K = A / (C l \times (t_2 - t_1)) \times \ln (h_1 / h_2)$$

PERMEABILITÀ MEDIA CALCOLATA

K = 8,40E-005 m/s



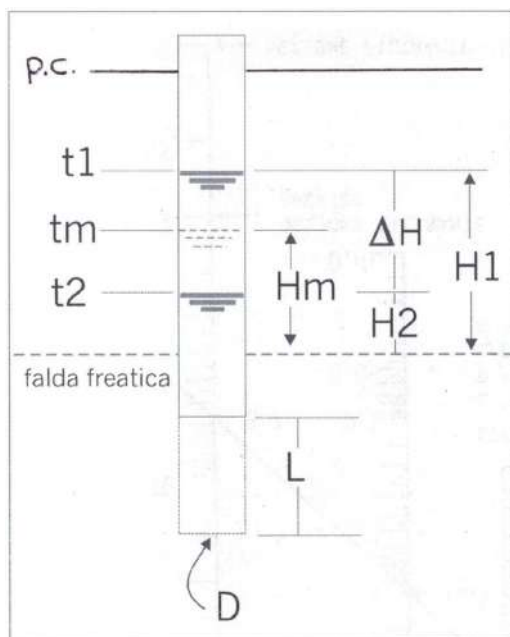


Nome prova

S3-K2

Prova:	K2
Data:	25/10/22
Profondità:	4,0 m

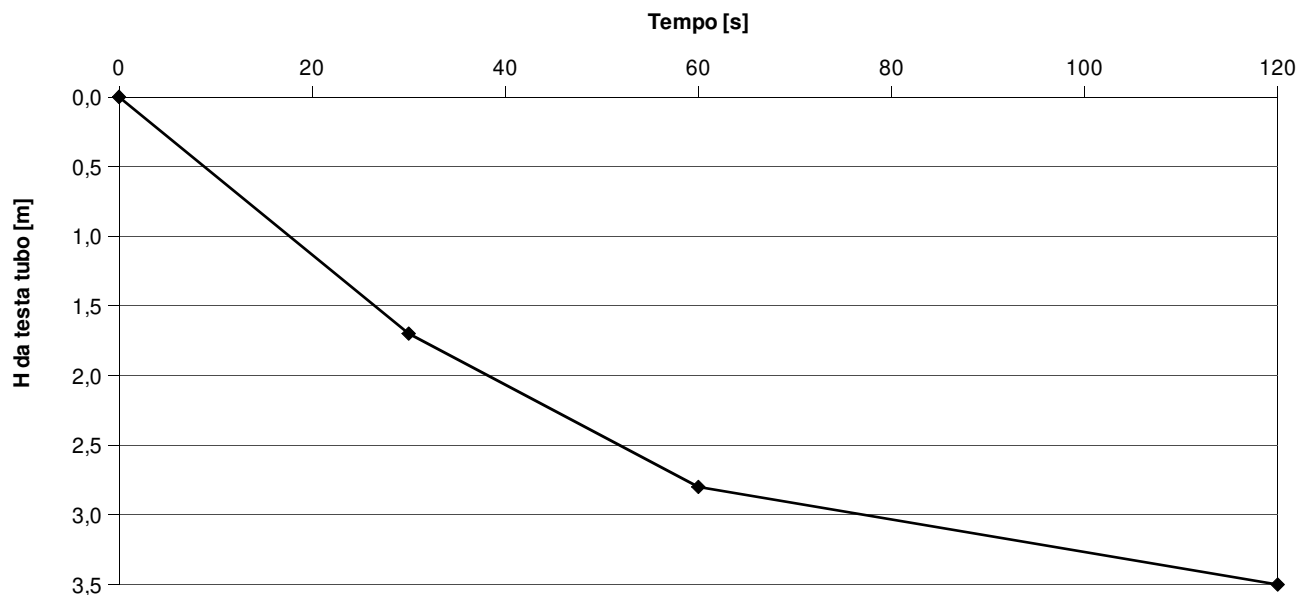
Profondità del foro [m dal p.c.]:	4,0
Altezza testa tubo (t.t.) dal p.c. [m]:	0,5
Spessore tratto di prova L [m]:	0,5
Diametro del foro [m]:	0,127
Diametro interno del rivestimento [m]:	0,107
Area di base della tasca filtrante A [mq]:	0,0090
Coefficiente di forma CI [m]:	0,5
Livello statico della falda [m dalla t.t.]	
Livello di riferimento [m dalla t.t.]	4,5

[illegible][illegible]

$$K = A / (C l \times (t_2 - t_1)) \times \ln (h_1 / h_2)$$

K = 2,92E-004 m/s

Raggiunte le condizioni di regime con $Q = 0,92 \text{ l/s}$
Da cui si calcola una permeabilità di $6,7 \times 10^{-4} \text{ m/s}$



Committente: Comune di Suno (No)	Sondaggio: Diametri C101 – R127 mm
Indagine: Sondaggio a carotaggio continuo	Data: 25/10/22
	Pagina: 1/1
Cantiere: Allargamento tratto stradale Via Madonna della Neve e Via Cascina Lunga	



Ubicazione



Cassetta catalogatrice 0 – 4 m