COMUNE DI NOVARA

Nuovi interventi in Ambito T12

Seconda Connessione - Nuova Fermata di Agognate

STRALCIO B_Nuova fermata di Agognate

PROGETTO DEFINITIVO

R

Relazione Geologica,geotecnica e sismica

RAUM engineering

RAUM ENGINEERING SRL
via XX settembre 38, 28100 Novara - ITALY
+39.0321.390335
PIVA/CF 02523870034
www.raum-engineering.com

Prima stesura:
Aprile 2021

Revisione 1:

Revisione 2:

Stesura finale:

Consegna:

b

Engineering 2K S.p.A.

NUOVI INTERVENTI IN AMBITO T12
SECONDA CONNESSIONE,
NUOVA FERMATA DI AGOGNATE

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Aprile 2021

idrogeo Dott. Geol. Marco Carmine

Corte degli Arrotini, 1 - NOVARA Tel. 0321/499773 Fax 0321/520037

Committente:

Engineering 2K S.p.A.

Commessa:

NUOVI INTERVENTI IN AMBITO T12
SECONDA CONNESSIONE,
NUOVA FERMATA DI AGOGNATE

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

N° Elaborato:	Emissione:	Revisione:	
G21/006/01	Data:	n.°	Data:
	13/04/2021		

idrogeo Dott. Geol. Marco Carmine

Corte degli Arrotini, 1 - NOVARA Tel. 0321/499773 Fax 0321/520037

Nome file: G21/006/01 Relazione geologica, sismica e caratterizzazione geotecnica

INDICE

1. PREMESSA 5

2. VINCOLI GEOLOGICI DI PRG E PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA.....6

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO 10

4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI LOCALI 15

5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 18

5.1 FREATIMETRIA LOCALE..... 21

5.2 STRATIGRAFIA LOCALE E MODELLO GEOLOGICO..... 28

6. INQUADRAMENTO SISMICO 34

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE 36

7.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE 37

7.2 MODALITÀ DI INTERPRETAZIONE DEI DATI 37

7.2.1 NORMALIZZAZIONE RISPETTO ALLA PRESSIONE DEL TERRENO. 37

7.2.2 NORMALIZZAZIONE RISPETTO AL DISPOSITIVO DI BATTITURA 38

7.2.3 NORMALIZZAZIONE RISPETTO ALLA LUNGHEZZA DI PENETRAZIONE 38

7.2.4 NORMALIZZAZIONE RISPETTO ALLA LUNGHEZZA DELLE ASTE 38

7.3 PARAMETRI RICAVATI 39

7.3.1 PESO DI VOLUME..... 39

7.3.2 DENSITÀ RELATIVA (DR)..... 39

7.3.3 ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE (Φ') 39

7.3.4 MODULO DI DEFORMAZIONE (O DI YOUNG)..... 39

7.3.5 MODULO EDOMETRICO M0..... 40

7.3.6 MODULO DI TAGLIO DINAMICO G0..... 40

7.3.7 COEFFICIENTE DI POISSON 40

7.3.8 COEFFICIENTI DI WINKLER 40

7.4 ELABORAZIONE DATI 41

8. PARAMETRI DEI TERRENI E MODELLO GEOTECNICO 46

9. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO 48

9.1 RISULTATI DELLE ANALISI MASW E REMI 48

10. VITA NOMINALE DI PROGETTO, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO 54

11. STIMA DEI PARAMETRI SISMICI 55

12. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE 56

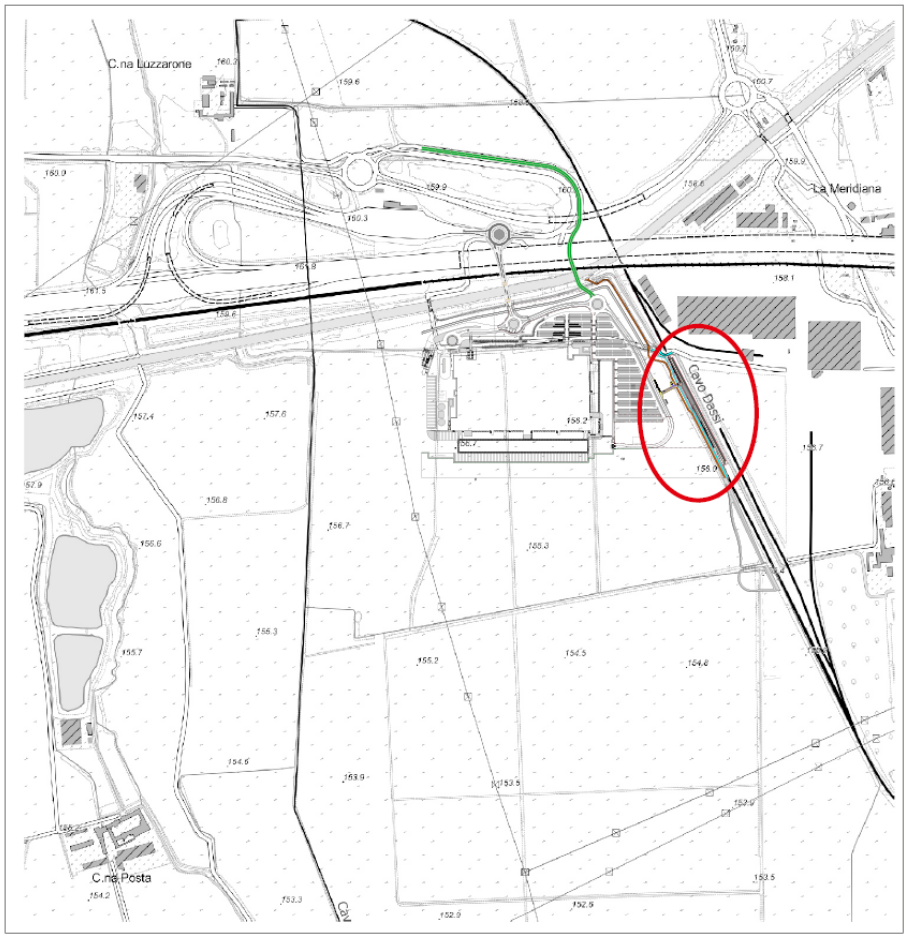
13. CONCLUSIONI 57

1. PREMESSA

La presente relazione geologica, sismica e di caratterizzazione geotecnica è stata redatta a supporto del progetto definitivo per la nuova fermata ferroviaria di Agognate, lungo la linea FS Novara-Biella, e comprende la *Caratterizzazione e Modellazione Geologica* e le *Indagini, Caratterizzazione e modellazione geotecnica* del sito ai sensi dei cap. 3.2.2 e 6.2.1 e 6.2.2 del D.M. 17.01.2018, "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" oltre che la *Relazione geologica* ai sensi delle N.T.A. del PRGC di Novara, con particolare riferimento all'art. 35 e all'art. 37.

L'area di intervento è ubicata in prossimità del Borgo di Agognate, nella porzione nord-occidentale del territorio comunale e confina con l'autostrada A4 a nord e con la linea ferroviaria Biella-Novara ad est, come da corografia seguente.

COROGRAFIA - scala 1:10.000



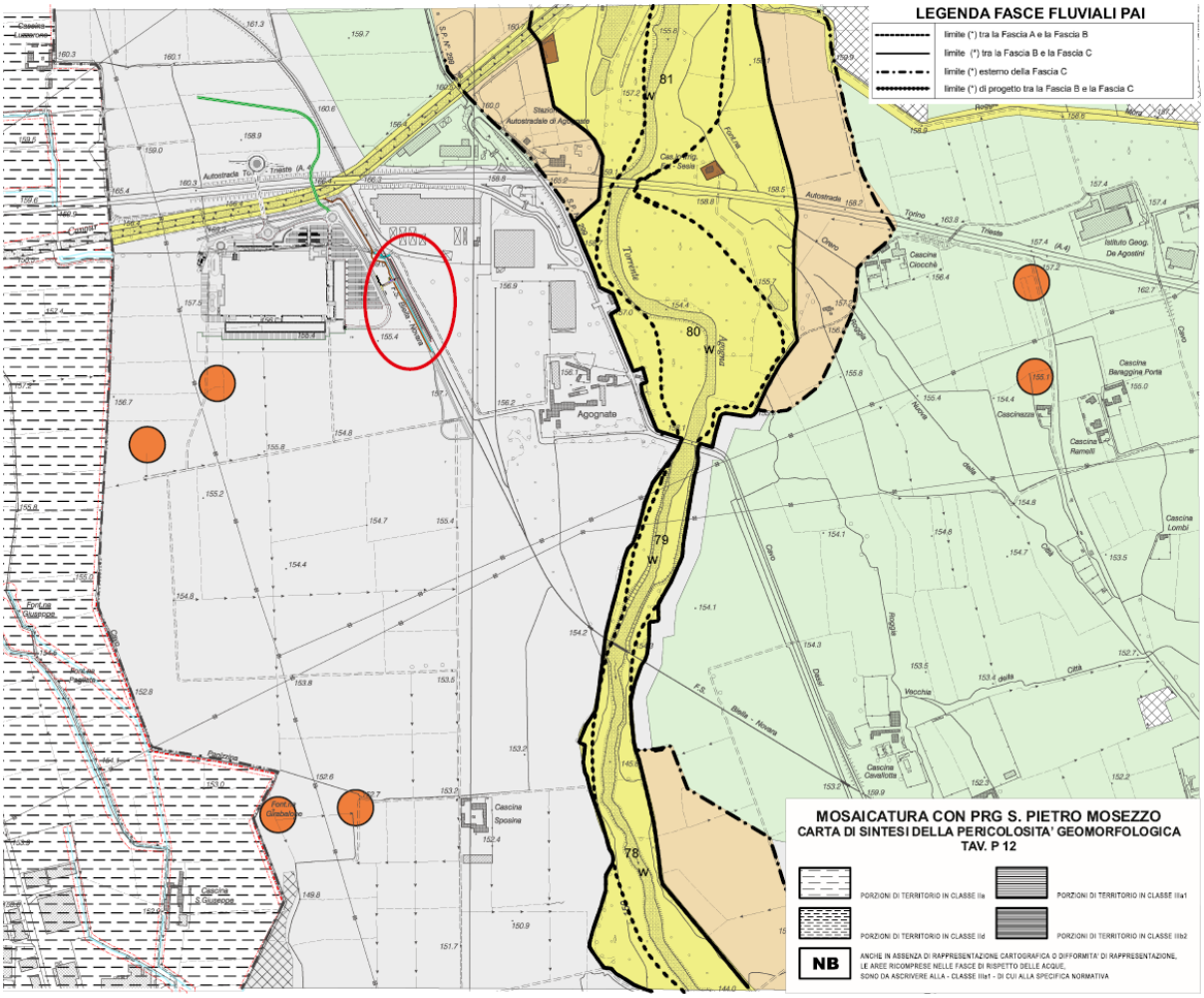
Stralcio BDTRE raster Regione Piemonte foglio 116110 - scala 1:10.000

N

2. VINCOLI GEOLOGICI DI PRG E PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA

Dal punto di vista della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica del vigente PRGC, l'area oggetto di intervento si colloca in classe **IIC** "*aree caratterizzate da innalzamenti del livello di falda freatica fino a profondità inferiori a 3 m dal piano campagna*", con pericolosità moderata, superabile attraverso l'adozione di accorgimenti tecnici a livello di singolo lotto esecutivo e con limitazioni nella realizzazione di locali interrati.

Fasce di rispetto ricadenti in classe IIIA1 sono presenti lungo il reticolo artificiale (irriguo) presente nell'area, a servizio delle coltivazioni agricole, con larghezza variabile in funzione della tipologia di corso d'acqua.



LEGENDA				
Classe di idoneità			**Condizioni di Pericolosità**	**Pericolosità ai sensi circ. 7/LAP**
I			Aree senza limitazioni d'uso di tipo geologico.	*Porzioni di territorio dove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono tali da non porre limitazioni alle scelte urbanistiche: gli interventi sia pubblici che privati sono di norma consentiti nel rispetto delle prescrizioni del D.M. 11 Marzo 1988*
II	a		Aree caratterizzate da allagamento per tracimazione della rete irrigua locale o per rigurgito della rete fognaria	*Porzioni di territorio dove le condizioni di modesta pericolosità geomorfologica possono essere agevolmente superate attraverso l'adozione e il rispetto di modesti accorgimenti tecnici esplicitati a livello di Norme di attuazione ispirate al D.M. 11 Marzo 1988 e realizzabili a livello di progetto esecutivo esclusivamente nell'ambito del singolo lotto. Tali interventi non dovranno in alcun modo incidere negativamente sulle aree limitrofe, né condizionare la propensione all'edificabilità.*
	b		Aree caratterizzate dalla presenza di terreni argilloso-sabbiosi ed eluvio-colluviali con caratteristiche geotecniche mediocri e/o da scarpate con altezza < 3 m o da pendii di modesta entità, sovente rimodellati dall'attività agricola; testate delle vallecole presenti nei terreni del Pleistocene medio-sup., poco incise; aree caratterizzate dai processi della classe IIa (settori retinati)	
	c		Aree caratterizzate dalla presenza di terreni sabbioso-ghiaiosi e soggiacenza della falda freatica inferiore a 3 m e aree caratterizzate dai processi della classe IIa (settori retinati)	
	d		Aree comprese nella Fascia C del P.A.I., caratterizzate sia dagli elementi penalizzanti di cui alla Classe IIc sia da allagamenti per tracimazione torrentizia con tiranti idraulici moderati, scarsa o nulla energia e aree caratterizzate dai processi della classe IIa (settori retinati)	
III	a_1		Aree comprese nelle Fasce A e B del P.A.I. e soggette alle norme di cui agli artt. 29, 30, 39, Titolo II N.d.A. del PAI; fasce di rispetto dei corsi d'acqua pubblici o con alveo demaniale (ai sensi dell'art. 96 del R.D. 523/1904)	*Porzioni di territorio inedificate che presentano carattere geomorfologici o idrogeologici che le rendano inidonee a nuovi insediamenti (aree dissestate, in frana, potenzialmente dissestabili o soggette a pericolo di valanghe, aree alluvionabili da acque di esondazione ad elevata energia). Per le opere infrastrutturali di interesse pubblico non altrimenti localizzabili (con specifico riferimento ad es. ai parchi fluviali) vale quanto già indicato all'Art. 31 della L.R. 56/77*
	a_2		Aree inedificate comprese nelle fasce di rispetto dei fontanili	
	a_3		Aree inedificate caratterizzate dalla presenza di terreni con caratteristiche geotecniche mediocri o scadenti e da scarpate acclivi con altezza > 3 m; vallecole incise nei terreni del Pleistocene medio-sup.	
	b_2		Aree edificate situate a tergo della fascia B di progetto del P.A.I., Esondabili in naturalità e soggette temporaneamente alle norme previste per la fascia B (artt. 28, 30, 39 N.d.A. del PAI) secondo i disposti di cui all'art. 11 della Delib. 18.07.2001 dell'Autorità di Bacino del fiume Po.	*Porzioni di territorio edificate nelle quali gli elementi di pericolosità geologica e di rischio sono tali da impedire in ogni caso interventi di rilassetto territoriale di carattere pubblico a tutela del patrimonio urbanistico esistente. In assenza di tali interventi di rilassetto saranno consentite solo trasformazioni che non aumentino il carico antropico quali, a titolo di esempio, interventi di manutenzione ordinaria, manutenzione straordinaria, risanamento conservativo, ecc.; Per le opere di interesse pubblico non altrimenti localizzabili vale quanto previsto all'Art. 31 della L.R. N. 56/77. Nuove opere o nuove costruzioni saranno ammesse solo a seguito dell'attuazione degli interventi di rilassetto e dell'avvenuta eliminazione e/o minimizzazione della pericolosità. Gli strumenti attuativi del rilassetto idrogeologico e i Piani Comunali di Protezione Civile dovranno essere reciprocamente coerenti.*
	b_3		Aree edificate comprese all'interno della Fascia B del P.A.I., soggette alle norme di cui agli artt. 30 e 39, Titolo II, N.d.A. del PAI	
	b_4		Aree edificate comprese all'interno della Fascia A del P.A.I., soggette alle norme di cui agli artt. 29 e 39, Titolo II, N.d.A del PAI; aree edificate comprese nelle fasce di rispetto dei corsi d'acqua	

La Normativa tecnica di Attuazione del PRG prevede i seguenti aspetti per le aree IIC:

- *art 35.14* ***Classe IIc*** *"aree caratterizzate da innalzamenti del livello di falda freatica fino a profondità inferiori a 3 m dal piano campagna.";*
- *art. 35.15 "In tale classe le relazioni geologiche e geotecniche dovranno esaminare e valutare l'interferenza della falda freatica superficiale con le opere previste e, in particolare, con le eventuali porzioni interrate, per le quali dovrà essere garantita la possibilità di sommersione senza danni.";*
- *all'art. 35.16 "In generale non sono ammessi piani residenziali o produttivi, costruzioni accessorie e strutture tecniche ad una quota inferiore a quella del livello freatico massimo a tempo di ritorno 50 anni, o comunque ad una soggiacenza minima rilevabile dalle serie storiche disponibili che dovranno essere opportunamente documentate.";*
- *all'art. 35.17 "Sono però ammesse deroghe da parte dell'Autorità preposta al rilascio del permesso di costruire, per particolari motivazioni documentate attraverso specifiche relazioni ed elaborati da assoggettare alla valutazione della medesima Autorità, in relazione alle preesistenze storico-architettoniche o in relazione a interventi funzionali alla realizzazione di impianti tecnologici strettamente connessi all'edificazione, qualora venga dimostrata in modo inequivocabile l'impossibilità di realizzazioni fuori terra, con l'obbligo della presa d'atto del rischio da parte dei soggetti attuatori";*
- *all'art. 35.18 "La valutazione dei livelli freatici dovrà tener conto anche delle possibili variazioni nel tempo legate a diversi sfruttamenti della falda; in ogni caso, fra gli accorgimenti tecnici atti alla mitigazione del rischio, non è ammesso l'abbattimento della falda mediante pompaggio."*
- *Art. 37* ***Classe IIIA***
- *37.1 Ai sensi della Circ. P.G.R. n.7/LAP la Classe IIIa riguarda: «Porzioni di territorio inedificate che presentano carattere geomorfologici o idrogeologici che le rendano inidonee a nuovi insediamenti (aree dissestate, in*

frana, potenzialmente dissestabili o soggette a pericolo di valanghe, aree alluvionabili da acque di esondazione ad elevata energia). Per le opere infrastrutturali di interesse pubblico non altrimenti localizzabili (con specifico riferimento ad es. ai parchi fluviali) vale quanto già indicato all'Art.31 della L.R. 56/77».

- *37.2 Sulla base delle tipologie di pericolosità geologica sono state definite le seguenti sottoclassi:*
- *37.3 Classe IIIa1: riguarda le seguenti porzioni di territorio:*

  • *aree inedificate all'interno delle Fasce A e B del P.A.I;*

  • *aree comprese nella zona di esondazione individuata dagli approfondimenti idraulici eseguiti per conto della Provincia di Novara nello Studio idrodinamico di dettaglio e messa a punto del Piano per l'Assetto Idrogeologico a scala provinciale dei torrenti Agogna e Terdoppio redatto da Hydrodata (2000) ed adottate dal PAI nell'Aprile 2001, e individuate sulle Tavole 3.3, 3.4, 3.5 - "Carta delle aree esondabili e proposta di Variante al piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Po" (scala 1:10.000) con la dicitura "Aree di esondazione per Q.T.R. 100" per il Torrente Terdoppio e "Aree di esondazione per Q.T.R. 200" per il Torrente Agogna caratterizzate da allagamenti per tracimazione torrentizia con tiranti idraulici e energia da modesta ad elevata, sono riportati sulle Tavole 2A, 2B, 2C – Carta geomorfologica e dei dissesti con la dicitura "Aree esondabili in naturalità di Torrente Agogna e Torrente Terdoppio".*

  • *aree comprese nelle fasce di rispetto di 10 metri dei corsi d'acqua naturali iscritti all'elenco delle acque pubbliche;*

  • *aree comprese nelle fasce di rispetto di 10 metri dei corsi d'acqua artificiali principali aventi alveo demaniale;*

  • *aree comprese nelle fasce di rispetto di 10 metri dei corsi d'acqua artificiali minori aventi alveo demaniale, di cui all'art. 32.3, punto i).*

  • *aree comprese nelle fasce di rispetto di 5 metri dei corsi d'acqua artificiali aventi alveo privato, di cui all'art. 32.3, punto i).*

  • *aree interessate da esondazione nel corso dell'alluvione del Maggio 2002 direttamente rilevate in sito, considerate rappresentative delle aree esondabili ai fini della valutazione della pericolosità.*

- *37.4 Le aree comprese nelle fasce di rispetto di 10 e 5 metri, non sono rappresentate nella sintesi al 10.000, ma si riferiscono ai corsi d'acqua individuati nell'Elaborato 5 Carta del reticolo idrografico e pertanto in sede di concessione edilizia sarà cura del progettista individuare la reale demanialità del corso d'acqua e la singola fascia di rispetto.*
- *37.7 Qualora non in contrasto con le norme del PAI, nelle sottoclassi IIIa1, IIIa2, IIIa3 sono tuttavia ammessi anche i seguenti interventi, i cui progetti siano stati redatti sulla base di rigorosi accertamenti geologici, geotecnici, idrogeologici e idraulici che stabiliscano gli accorgimenti tecnici atti a garantire la fattibilità degli interventi stessi nell'ambito di requisiti di sicurezza propria e tali da non aggravare la situazione di pericolosità esistente:*

  - *f) gli attraversamenti dei rii minori e la viabilità per il necessario collegamento, non altrimenti localizzabile, di zone residenziali o produttive esistenti o previste dal P.R.G. e dai S.U.E.;*
  - *i) le piantumazioni e le sistemazioni a verde, la manutenzione e lo sfruttamento forestale, secondo le disposizioni legislative vigenti con particolare riferimento alle disposizioni del P.A.I.; la conservazione allo stato di natura, il mantenimento delle attività agricole in atto e/o le variazioni colturali che non costituiscono ostacolo al regolare deflusso delle acque o che non producano instabilità dei versanti;*
  - *l) la recinzione dei terreni purché le opere non modifichino la stabilità dei versanti e il regolare deflusso delle acque, anche in occasione di piene eccezionali.*

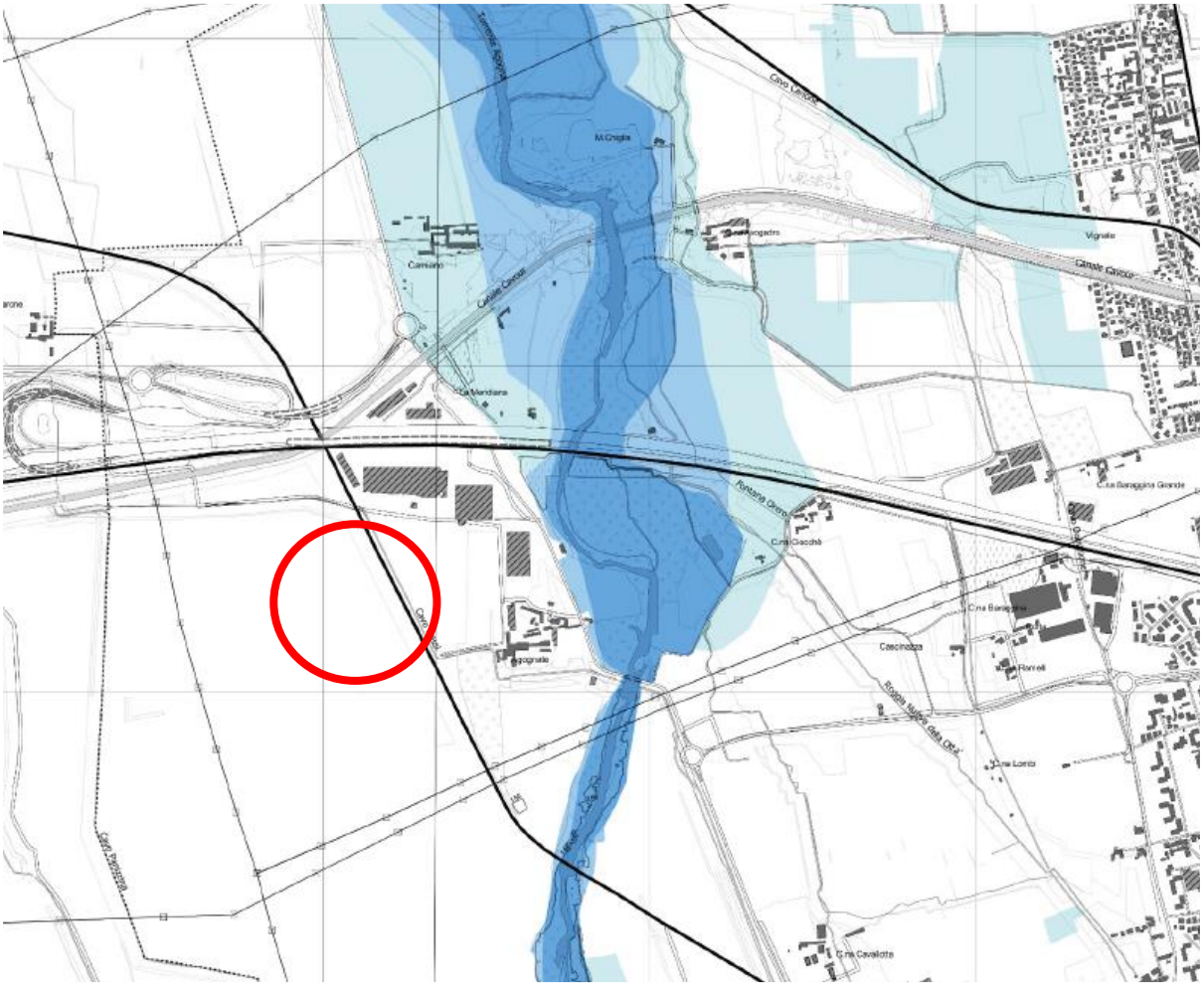
L'area risulta esterna alla perimetrazione delle fasce fluviali del PAI.

La verifica della cartografia relativa al Piano di Gestione Rischio Alluvioni, approvato con DPCM del 27.10.2016, evidenzia che l'area ricade all'esterno degli scenari da alluvione, come da stralcio cartografico seguente della Tavola 116 SE.

Direttiva 2007/60 CE – D.Lgs 49/2010
Informazione e consultazione al pubblico

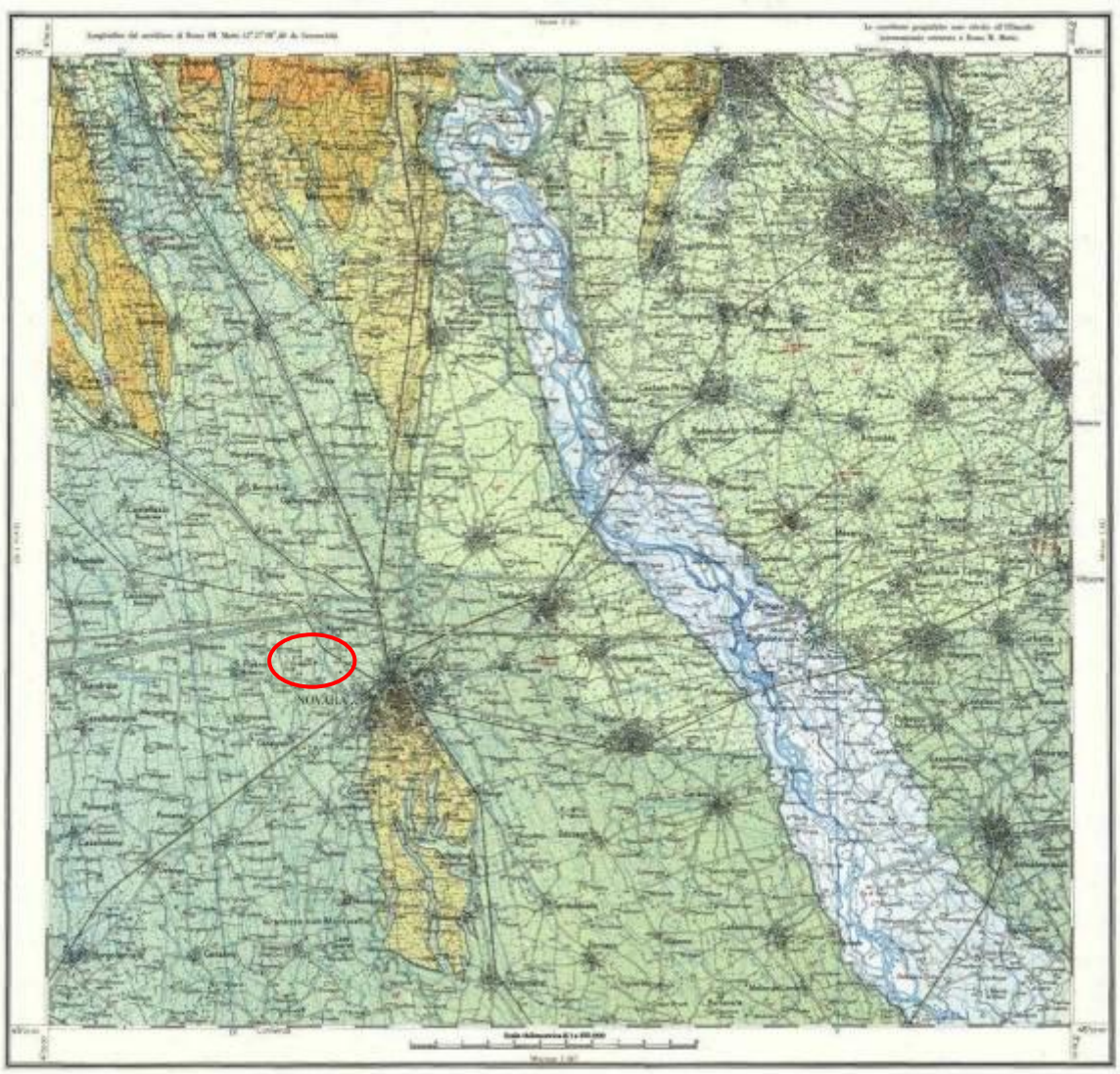
CARTA DELLA PERICOLOSITA'
DA ALLUVIONE
Scala 1:25.000

SCENARI DI ALLUVIONE
- Probabilità di alluvioni elevata (tr. 20/50) (H-Frequente)
- Probabilità di alluvioni media (tr. 100/200) (M-Poco frequente)
- Probabilità di alluvioni scarsa (tr. 500) (L-Rara)
- Limiti comunali



3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto del presente studio è localizzata nella pianura novarese, nella porzione settentrionale del Comune di Novara, in un'area pianeggiante con quote altimetriche che si attestano intorno ai 156 m s.l.m. La cartografia geologica racchiude il territorio entro cui ricade l'area in studio nel Foglio n° 44 "Novara" della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:100.000.



La genesi dell'area novarese è riconducibile alle fasi di espansione glaciale verificatesi nel corso del Pleistocene ed alle fasi più recenti di modellamento della Pianura Padana, indotte dalla dinamica fluviale olocenica.

Il modellamento del territorio novarese è infatti avvenuto mediante l'azione combinata delle meccaniche deposizionali ed erosive legate alla presenza delle masse glaciali pleistoceniche. Da un lato l'azione d'accumulo esercitata dai ghiacciai pleistocenici che, mettendo in gioco enormi quantità di materiale proveniente dal proprio bacino d'alimentazione, è responsabile della formazione di cordoni morenici, ben evidenti alcune decine di km a Nord del capoluogo. Dall'altro, l'azione erosiva dei torrenti proglaciali che, rimodellando la superficie topografica durante la fase di ritiro dei ghiacciai, danno luogo a morfologie depresse dalla tipica forma di valloni, a fondo debolmente concavo.

Il *Livello fondamentale della pianura* definisce i depositi riferibili all'ultima fase di colmamento della pianura, avvenuta nel corso del tardo Pleistocene, ad opera di apparati fluvioglaciali di notevoli dimensioni, ed è l'elemento fisiografico principale che caratterizza l'area di studio.

Tale definizione è stata introdotta da Petrucci e Tagliavini (1969); studi condotti successivamente da Cremaschi (1987), permettono di datare in maniera più circostanziata, in funzione di studi pedologici e paleontologici, la messa in posto di questi depositi attribuendoli al tardo Pleistocene.

Inoltre gli studi morfologici proposti da Marchetti (1990) individuano i principali corsi d'acqua attuali della Pianura Padana come *underfit streams*, ovvero corsi d'acqua sotto-alimentati rispetto alle dimensioni dei corrispondenti solchi vallivi pleistocenici; tali studi, applicabili anche all'ambito del Ticino e dei suoi affluenti, rivelano la presenza, nel tardo Pleistocene, di corsi d'acqua a canali multipli intrecciati, con portate anche di 20 volte maggiori rispetto a quelle attuali.

L'assetto definitivo della pianura si realizza in concomitanza con la messa a regime dei bacini lacustri prealpini che, riducendo la portata liquida e solida dei fiumi, comporta un'intensa fase erosiva con conseguente incisione dei solchi vallivi attuali.

La morfologia del *livello fondamentale della pianura* è caratterizzata nella zona da un'uniformità di quote comprese tra i 140 e i 160 m s.l.m. ed è interrotta solamente dalle incisioni oloceniche dei corsi d'acqua attuali.

Nell'ambito del territorio comunale il terrazzo fluvioglaciale medio pleistocenico rappresenta l'elemento morfologicamente più rilevato del territorio comunale, con una quota massima pari a 163 m s.l.m.; l'entità del rilievo naturale è enfatizzata dall'accrescimento urbano nelle varie epoche storiche, segnatamente in periodo medioevale e rinascimentale (Cerchia dei Baluardi).

Tale terrazzo si estende dal nucleo centrale dell'abitato di Novara, culminante a Nord con un apice arrotondato, che si eleva per una decina di metri e si raccorda al sottostante *Livello fondamentale della pianura* mediante delle sottili fasce colluviali, di mediocri caratteristiche geotecniche e di limitata estensione areale, data la scarsa energia di rilievo.

Le incisioni dei corsi d'acqua recenti ed attuali sono gli ambiti morfologicamente più depressi del territorio in esame e comprendono i depositi più recenti, di età olocenica, connessi all'attività dei corsi d'acqua attuali; a breve distanza dall'area oggetto di studio scorre uno dei due principali corsi d'acqua che solcano il territorio comunale: il Torrente Agogna.

La monocoltura del riso ha poi determinato un successivo modellamento antropico delle aree di pianura, con sostanziale annullamento delle forme anticamente presenti.

L'aspetto fisiografico generale è caratterizzato in sintesi dalla presenza di tre elementi ben riconoscibili, che riflettono la propria genesi e la propria natura geologica, riassumibili come segue:

- <u>terrazzo fluvioglaciale medio pleistocenico</u>, indicato sulla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 come: "*Alluvioni fluvioglaciali ghiaiose, alterate in terreni argillosi giallo-ocracei per uno spessore massimo di 3 metri. RISS p.p.*"

  Consistono di ghiaie e sabbie alterate, a matrice sabbiosa, talora con lenti intercalate limoso-argillose. La copertura è costituita da consistenti depositi loessici e sottostanti paleosuoli policiclici argillificati e rubefatti, con profilo troncato BtC, evoluti sui sedimenti incoerenti sottostanti;

costituiscono il nucleo del centro abitato, morfologicamente rilevato, per erosione, rispetto al resto della città.

- livello fondamentale della pianura, designato come "*Alluvioni ghiaiose, sabbiose, limose limitate al fondo dei solchi vallivi secondari e non ricollegabili agli apparati morenici FLUVIALE WÜRM e Alluvioni fluvioglaciali ghiaioso-ciottolose (Terrazzi superiori del Ticino) e fluviali prevalentemente sabbioso-limose (a valle del limite settentrionale dei fontanili), con debole strato di alterazione brunastro WÜRM*". Sono costituiti da sabbie e ghiaie mal selezionate e discretamente arrotondate, i ciottoli hanno dimensioni medie intorno a qualche cm e sono poco alterati. La matrice è generalmente sabbiosa grossolana e di colore grigio-giallastro. I clasti sono prevalentemente di natura cristallina e metamorfica. Sono la facies fluvioglaciale più recente e costituiscono, nel territorio comunale, la piana sulla quale insiste la gran parte dell'insediamento urbano ed il sito in esame.
- incisioni dei corsi d'acqua recenti ed attuali, corrispondenti alle fasi più recenti di modellamento della Pianura Padana, indotte dalla dinamica fluviale olocenica che hanno dato origine a depositi di ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose e limi e rappresentano le facies di canale dei corsi d'acqua recenti ed attuali. I sedimenti sono organizzati generalmente in depositi in facies di barra longitudinale e trasversale, in depositi in facies di piana esondabile e di barra di meandro, caratterizzando gli alvei dei corsi d'acqua e le associate zone golenali.

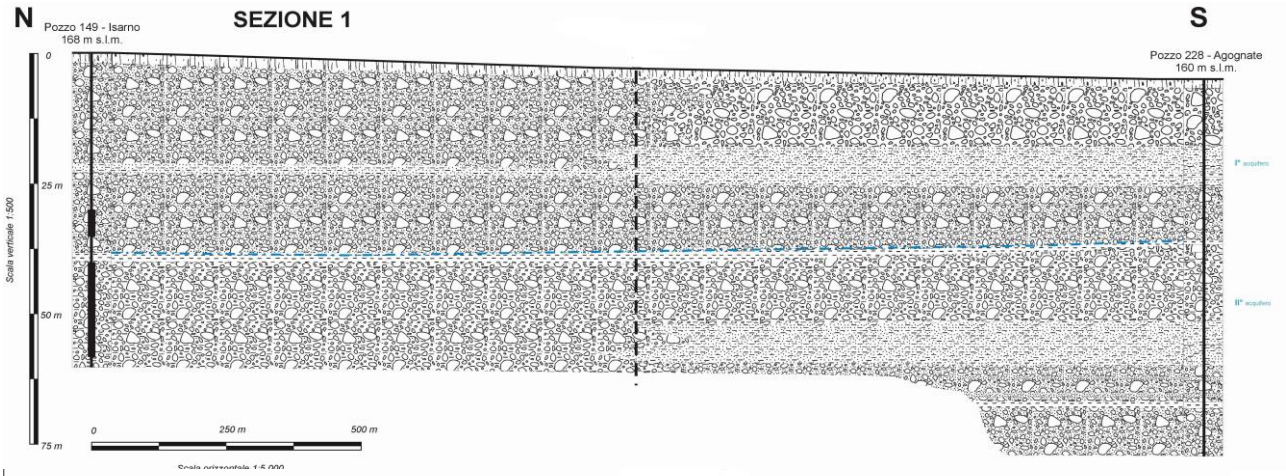
Da un'analisi delle sezioni stratigrafiche, ricostruite con i dati dei pozzi idropotabili del Comune di Novara, si osserva un orizzonte più superficiale "ghiaioso-sabbioso" particolarmente evidente nella porzione centro-settentrionale del Comune di Novara e più precisamente nella zona di Veveri, Vignale, Agognate sino ai quartieri di S. Agabio, S. Rita; tale complesso è costituito dalle alluvioni fluvioglaciali quaternarie più recenti e presenta uno spessore medio di circa 35 metri.

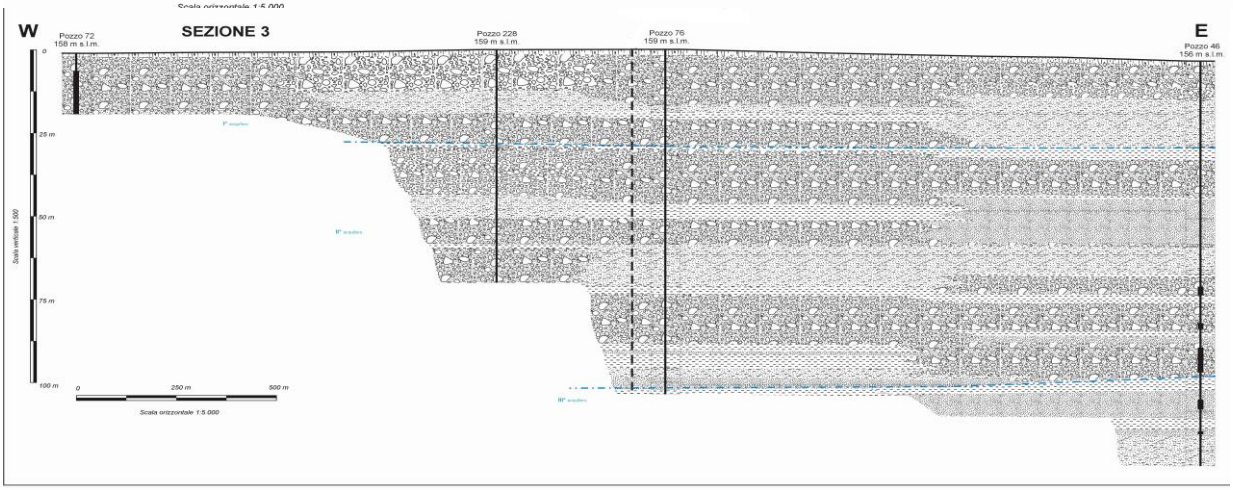
La base di questo orizzonte superficiale è costituita da un livello argilloso, presente in modo pressoché continuo nell'ambito del territorio comunale, ad una profondità variabile tra i 30 ed i 40 m e con uno spessore medio di 4 metri.

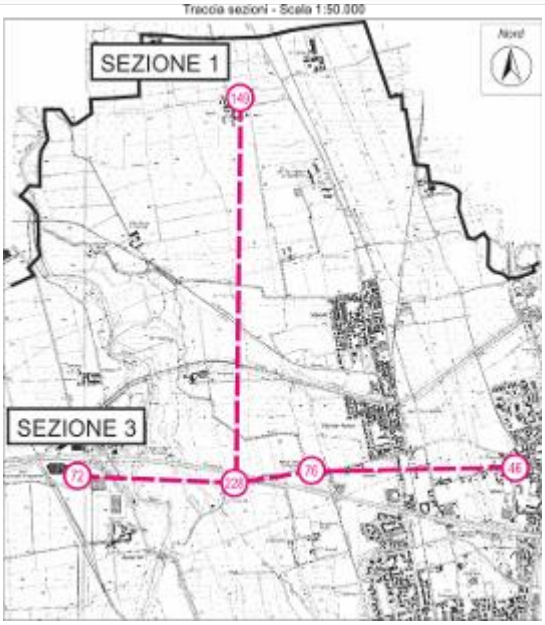
A questo orizzonte semipermeabile si associa sempre inferiormente un livello ghiaioso costituito da ghiaie e sabbie generalmente sciolte, anche molto grossolane, che solo in alcune limitate zone presenta una matrice argillosa; lo spessore medio di questo livello è di circa 10 metri.

Al di sotto di questo livello si presenta una più potente unità sabbiosa, in cui si presentano intercalazioni di materiale più grossolano e di argille; la potenza media è di circa 40-50 m e le profondità massime sono di circa 100 m. dal p.c.

La base dei depositi descritti ai punti precedenti, che possono essere ricondotti ad un'unica litozona di tipo "ghiaioso-sabbiosa", è individuata dalla comparsa di argille grigio-azzurre con presenza di torba, a cui localmente si intercalano livelli modesti di sabbie; questi depositi sono attribuibili al periodo Villafranchiano.

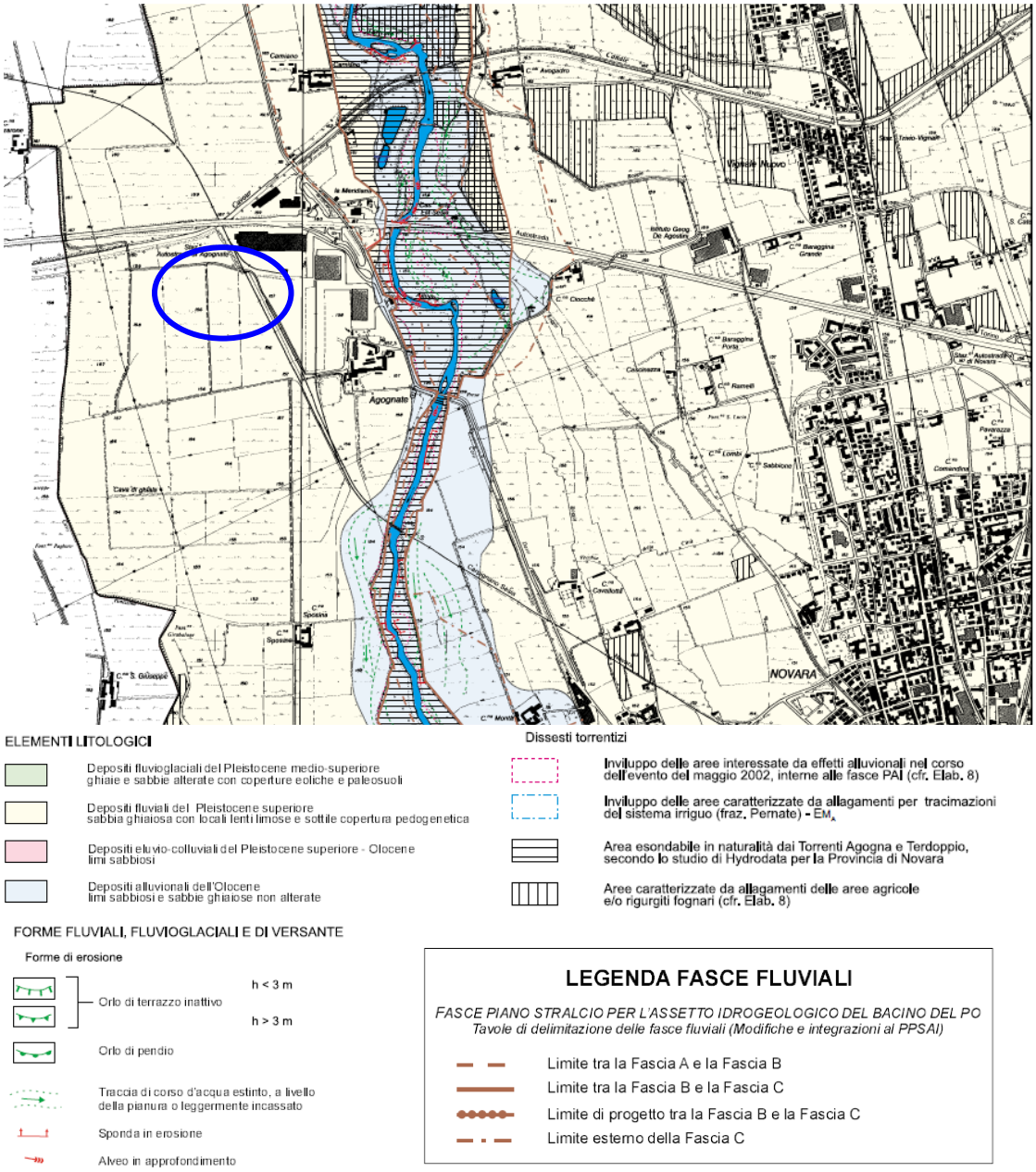






4. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI LOCALI

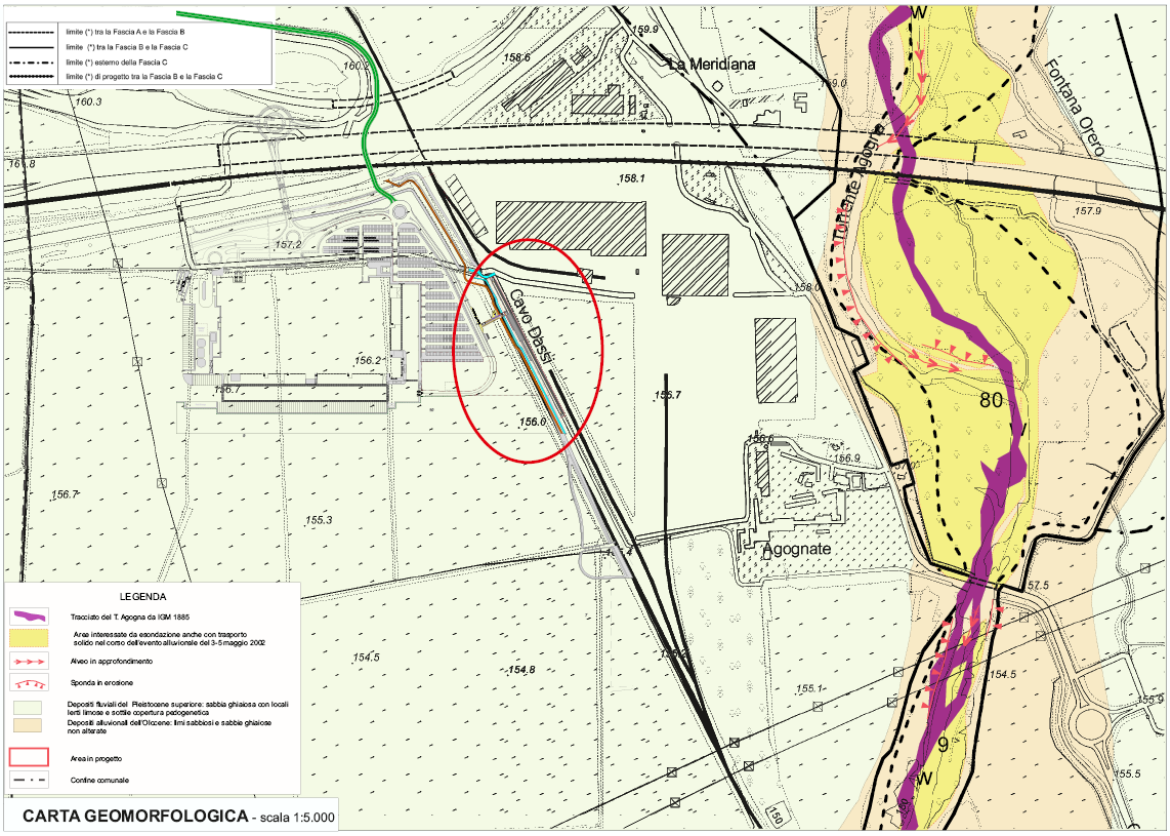
Nella cartografia geologica del vigente PRGC, allegata di seguito in stralcio non in scala, sono rappresentati gli elementi geologici precedentemente descritti, a cui si sovrappongono gli elementi geomorfologici pertinenti la dinamica fluviale del torrente Agogna. Nessun elemento di dinamica fluviale attiva si riconosce nell'area in esame.



Il ponte di Agognate, poco a sud della zona di progetto, rappresenta il punto di passaggio tra due situazioni morfologiche differenti del corso d'acqua: a monte del ponte stradale l'alveo risulta in sostanziale equilibrio o leggera aggradazione mentre, a valle del ponte, il corso d'acqua risulta più incassato rispetto alla pianura, con effetti di erosione al fondo anche accentuati. Tale situazione si

riflette direttamente sugli effetti di esondazione del corso d'acqua, nel corso di eventi di piena di particolare importanza: l'area di esondazione, che occupa una ampia zona ai lati del corso d'acqua nel tratto a monte del ponte di Agognate, si riduce a valle ad una stretta fascia pertinenziale che si mantiene tale sino al ponte della strada per Biandrate.

Il cambio dell'assetto morfologico del corso d'acqua è d'altronde ben evidenziato dalla comparazione della cartografia storica con l'andamento attuale dell'alveo fluviale (cfr. carta geomorfologica seguente): risulta infatti evidente il processo di rettificazione dell'alveo che ha interessato nell'ultimo secolo il torrente Agogna, nel tratto compreso tra il ponte di Agognate e Corso Vercelli. Risulta inoltre altrettanto evidente l'abbandono di un tratto meandriforme, anch'esso dovuto all'approfondimento dell'alveo, posto in destra idrografica nei pressi della linea ferroviaria Novara – Carpignano Sesia, in prossimità dell'area in esame.



La situazione descritta viene peraltro confermata anche dalla perimetrazione delle fasce fluviali, condotta dall'Autorità di Bacino del Fiume Po a seguito di studi di dettaglio effettuati dalla soc. Hydrodata per la Provincia di Novara, nell'ambito della definizione del Piano Stralcio Fasce Fluviali. Le suddette fasce di delimitazione delle aree oggetto di inondazione, per differenti tempi di ritorno, appaiono ben estese nel tratto a monte del ponte di Agognate per restringersi decisamente nel tratto a valle, sino al ponte della strada per Biandrate.

Dalle risultanze della ricerca storica presso la Banca Dati Geologica dell'Arpa Piemonte si evince, per il periodo per il quale sono disponibili dati attendibili, il verificarsi di alcuni episodi di esondazione dei torrenti che interessano il territorio novarese e segnatamente la zona di interesse.

- Nel novembre 1807 è riportata una piena dei torrenti Agogna e Terdoppio con danni al ponte di Agognate.
- Nell'aprile 1848 viene segnalata la piena del Torrente Agogna che rende necessario il taglio dell'argine presso il ponte di Agognate per evitare danni allo stesso, lasciando defluire le acque nelle campagne circostanti.
- Nel maggio 2002 una forte piena fluviale interessa sia i torrenti Agogna e Terdoppio sia i cavi irrigui minori; nella zona in esame risulta essere stata ampiamente inondata l'area compresa tra la sponda del corso d'acqua e la S.P. 299 a monte del ponte di Agognate, precauzionalmente chiuso al traffico ma non tracimato.

5. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

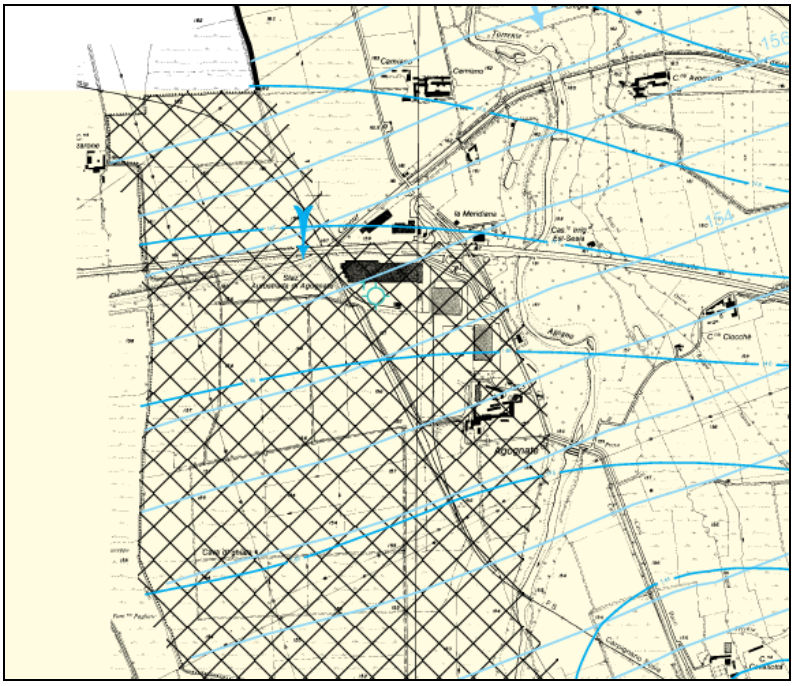
Dal punto di vista idrogeologico, l'area è sita a valle della cosiddetta "linea dei fontanili" ed è alimentata da una falda freatica molto superficiale, con marcate oscillazioni su base stagionale, influenzate dalle pratiche irrigue. Dai dati desunti dalle perforazioni di numerosi pozzi idrici, la situazione stratigrafica è costituita da una sequenza sabbioso-ghiaiosa, con intercalazioni argillose di potenza contenuta, fino ad una profondità dell'ordine di circa 100 m da p.c. A 30 m di profondità è riscontrabile un orizzonte continuo a tessitura argillosa, con una notevole continuità laterale.

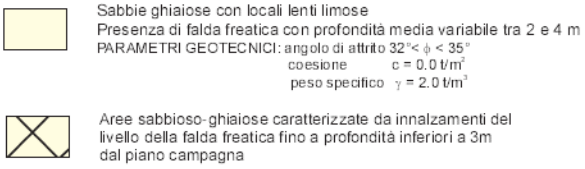
Alla base di questa prima litozona a tessitura medio-grossolana, si rinviene uno strato di argille azzurre, talora torbose, con subordinati livelli sabbiosi, ascrivibili al Villafranchiano.

La sequenza descritta indica la presenza di due acquiferi, dei quali il primo di tipo freatico, occupante la porzione grossolana sommitale fino alla profondità di circa 30 m dove è contenuto dal livello argilloso sopra descritto, ed il secondo di tipo multistrato semiconfinato.

La superficie piezometrica dell'acquifero freatico è generalmente situata ad una profondità variabile da pochi metri sino ad una decina di metri, in relazione alla quota del piano campagna e alla litologia di superficie, e risulta influenzata su base stagionale dalle pratiche irrigue.

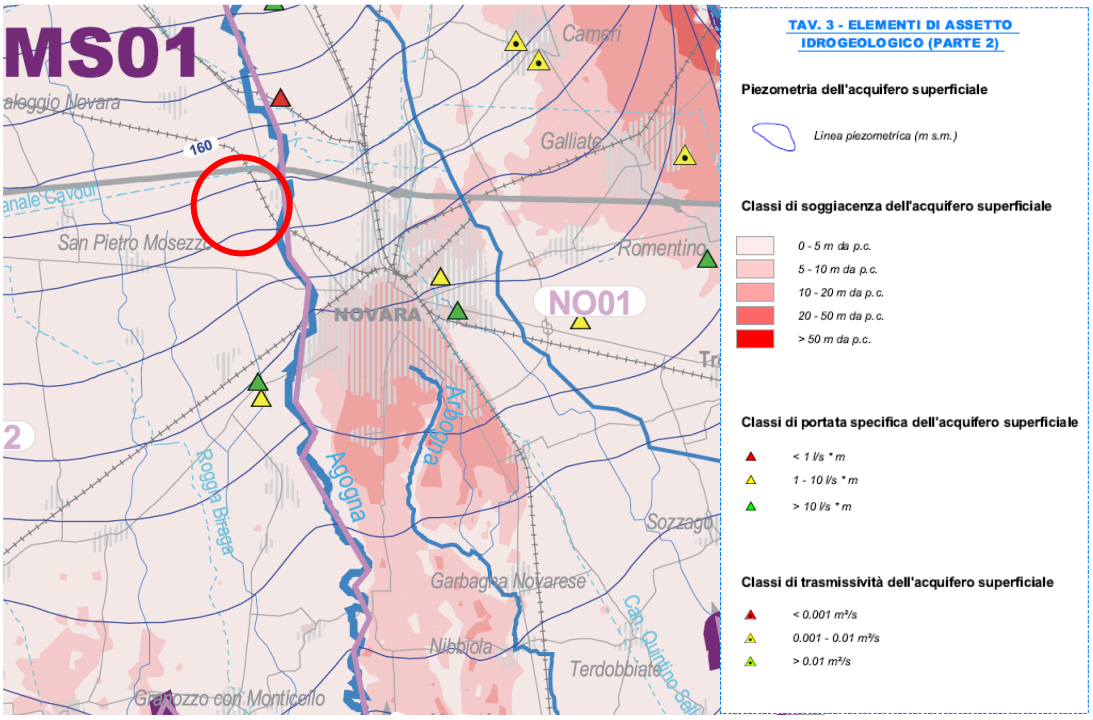
L'andamento generale della falda è verso S/SSE, con un gradiente idraulico medio dell'acquifero freatico dell'ordine del 2-3‰, un valore di permeabilità medio stimato pari a 8,7 x 10^{-5} $m \cdot s^{-1}$ ed un valore di trasmissività medio pari a 2,2 x 10^{-3} $m^2 \cdot s^{-1}$. Prove di pozzo e di acquifero effettuate in un piezometro presente nei pressi hanno fornito i seguenti parametri per la falda superficiale: trasmissività 1.9 · 10^{-2} m^2/s, permeabilità 9.7 · 10^{-4} m/s;





Le caratteristiche dell'acquifero freatico all'epoca delle misurazioni per la predisposizione della Carta Idrogeologica di PRGC, sopra riportata (1996), indicavano un livello medio della falda, in corrispondenza del sito in esame, di circa 3 - 4 m con oscillazioni stagionali nell'ordine di 1-1,5 m, in funzione del regime pluviometrico e delle attività irrigue nei canali e nelle risaie circostanti ma con possibilità di risalita sino a quote inferiori a 3 m da p.c.

Tale soggiacenza viene anche confermata dal Piano Tutela Acque della Regione Piemonte, Tav. 3 "Elementi di assetto idrogeologico" (riportata in stralcio) che indica un valore medio di circa 152-153 m s.l.m. a fronte di una quota di piano campagna di circa 156 m s.l.m.

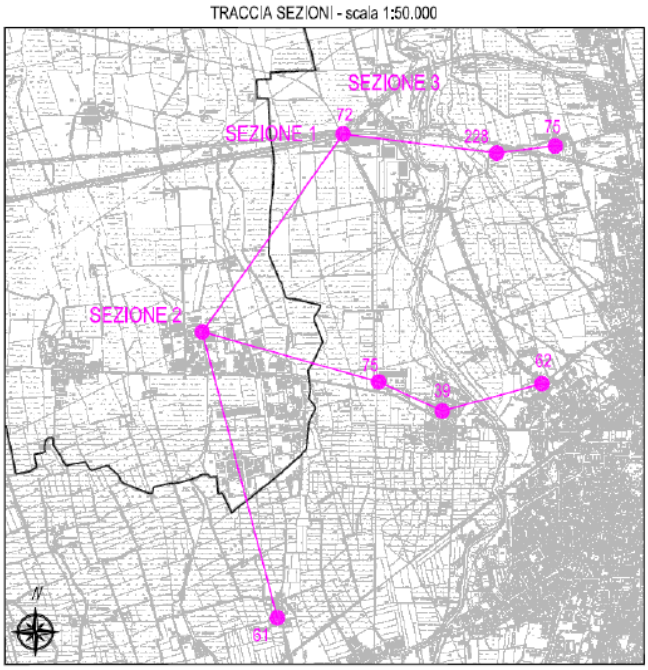


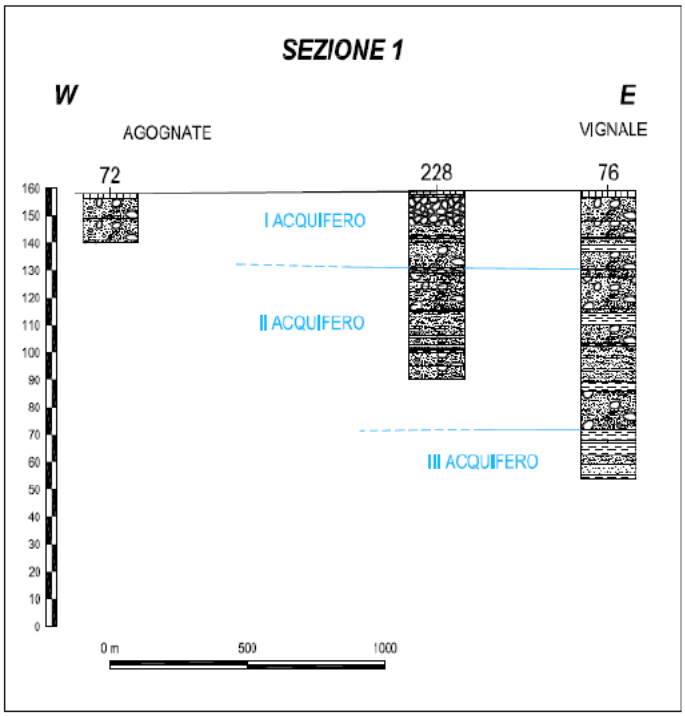
L'acquifero profondo, individuabile come accennato a partire da circa 30 m, interessa la restante porzione della sequenza sabbioso-ghiaiosa, fino ad una profondità di circa 100 m; questo acquifero, di tipo semiconfinato, è captato da tutti i pozzi comunali e dalla gran parte dei pozzi privati profondi.

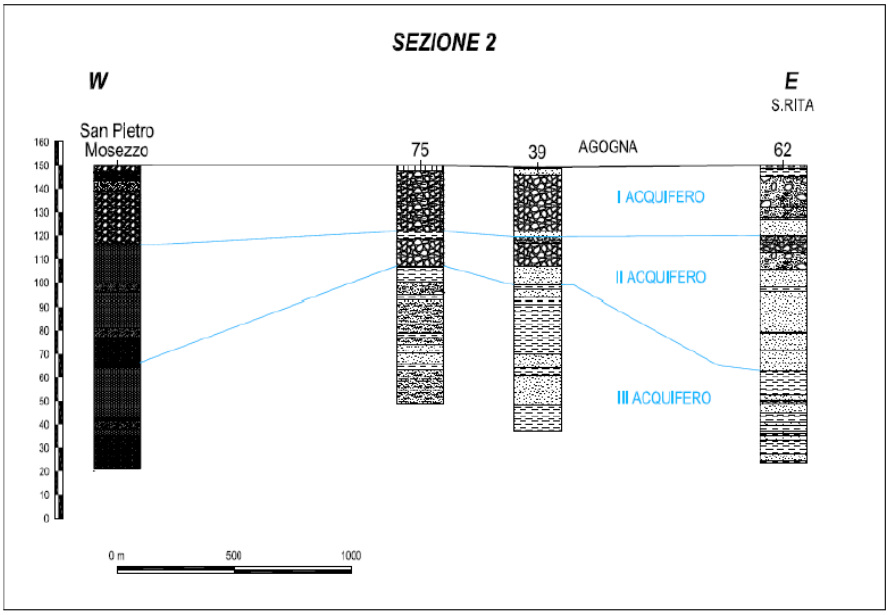
Il livello piezometrico medio è nell'ordine dei 10 m dal p.c., con un andamento generale delle linee isopiezometriche N-S; i parametri idrodinamici, determinati in alcune prove di collaudo di

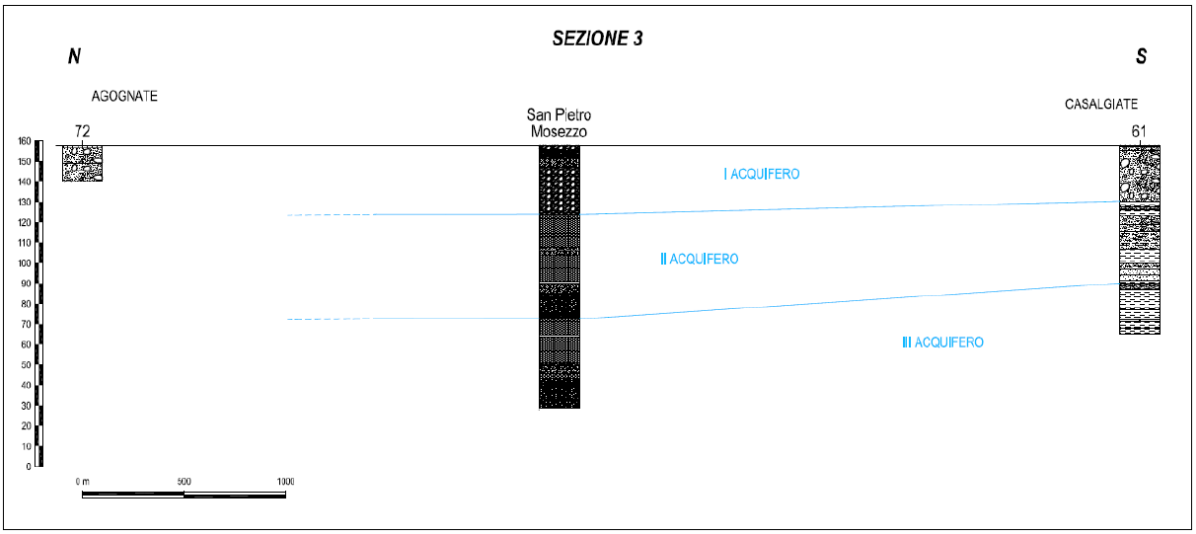
alcuni pozzi comunali, indicano una permeabilità di 3,4 x 10^{-4} $m \cdot s^{-1}$ ed una trasmissività di 2,0 x 10^{-2} $m^2 \cdot s^{-1}$; il valore del gradiente idraulico è piuttosto variabile da un minimo di 1-2‰ ad un massimo del 6-7‰, in corrispondenza del quartiere di S. Agabio, in virtù della maggior concentrazione di captazioni, che inducono la formazione di un cono di depressione molto accentuato.

Nelle sezioni seguenti sono rappresentati graficamente gli aspetti dell'assetto idrogeologico locale sopra illustrati.





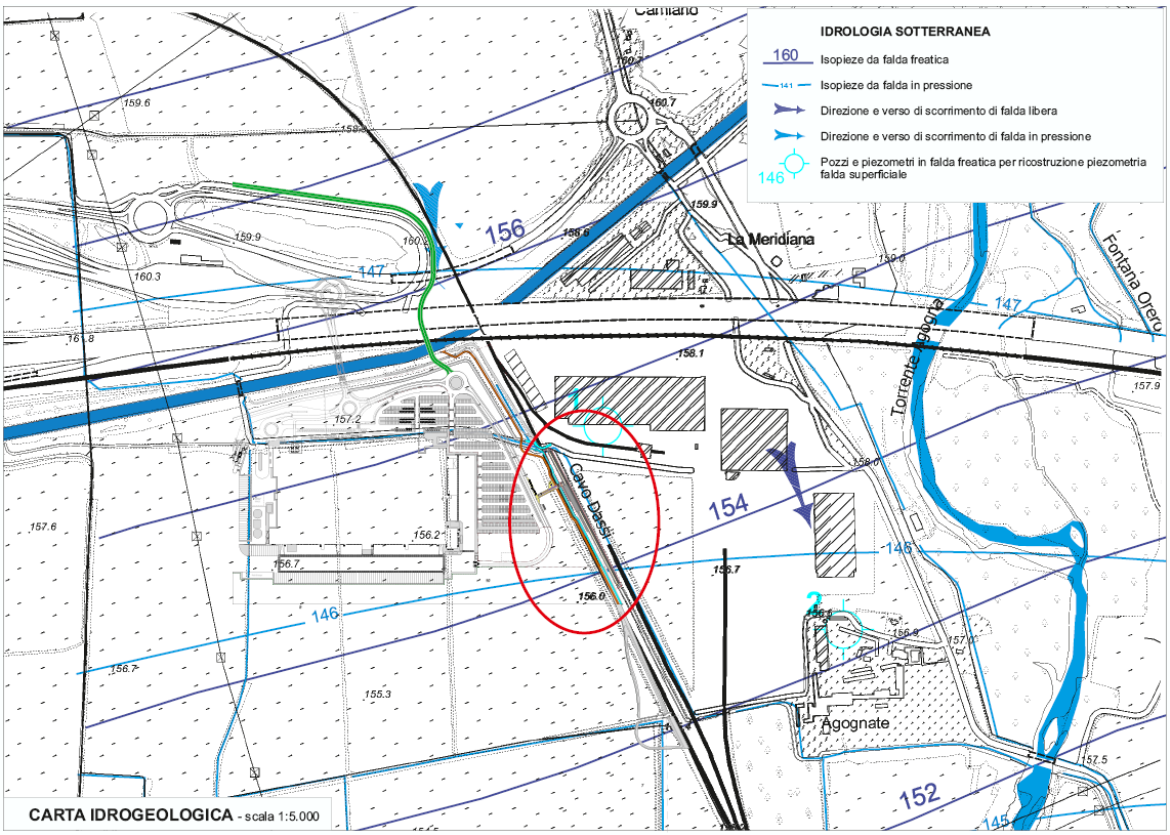




5.1 FREATIMETRIA LOCALE

Mediamente nell'area di pianura che si estende ad Ovest dell'abitato di Novara, la falda freatica ha una soggiacenza media di circa 3 metri con una direzione di flusso regionale NW-SE. Nell'area in esame, sulla base dei dati a disposizione, si osserva che presso la Frazione di Agognate la falda freatica presenta una direzione NNW-SSE ed una quota piezometrica media compresa tra 150-155 m.s.l.m.

Si osserva inoltre, dal confronto tra le quote altimetriche del piano campagna e le quote piezometriche, che tutta l'area in esame è caratterizzata dalla presenza di una soggiacenza ridotta, inferiore a 3 m da piano campagna (cfr. elaborato seguente).



I valori massimi di soggiacenza si riscontrano solitamente nel periodo Marzo-Aprile, prima dell'adacquamento delle risaie, mentre le minime soggiacenze si hanno nel periodo di Agosto-Settembre. In base ai dati acquisiti dallo studio scrivente nell'ambito di precedenti incarichi, si riportano nella seguente tabella i valori di soggiacenza misurati in prossimità del sito in esame (Borgo di Agognate).

10 Maggio 2010	3,53 m da p.c.
7 Giugno 2010	3,97 m da p.c.
13 luglio 2010	4.14 m da p.c.
9 settembre 2010	4.22 m da p.c.
18 ottobre 2010	4.06 m da p.c.
23 febbraio 2011	4.15 m da p.c.
9 marzo 2012	4.31 m da p.c.

Una ricerca di dati piezometrici presso l'Associazione Irrigazione Est- Sesia ha fornito alcune misure di massima e di minima soggiacenza di un piezometro collocato nel centro di Nibbia (coordinate UTM 465350E – 5037425N), a circa 3 km a NW del sito indagato.

Stazione piezometrica di NIBBIA - 012 a

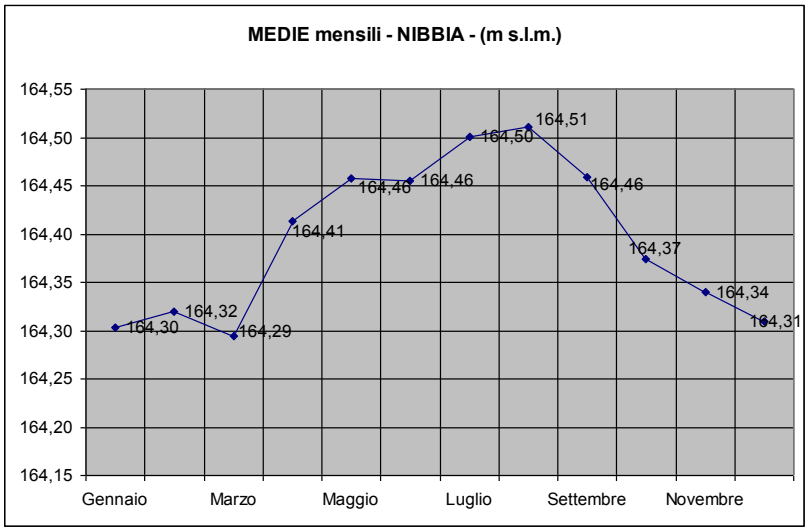
Quota terreno: **165,37** m s.l.m.

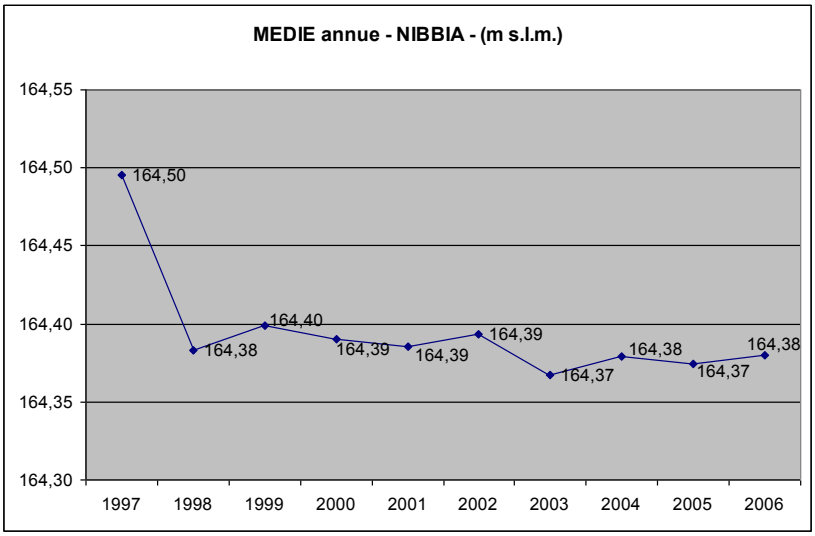
Quota punto riferimento: **165,77** m s.l.m.

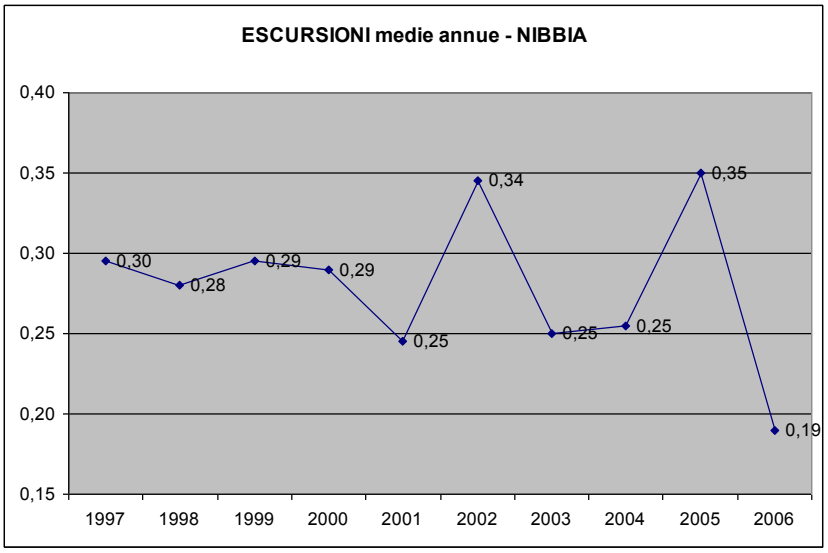
Altezza punto riferimento: **0,40** m

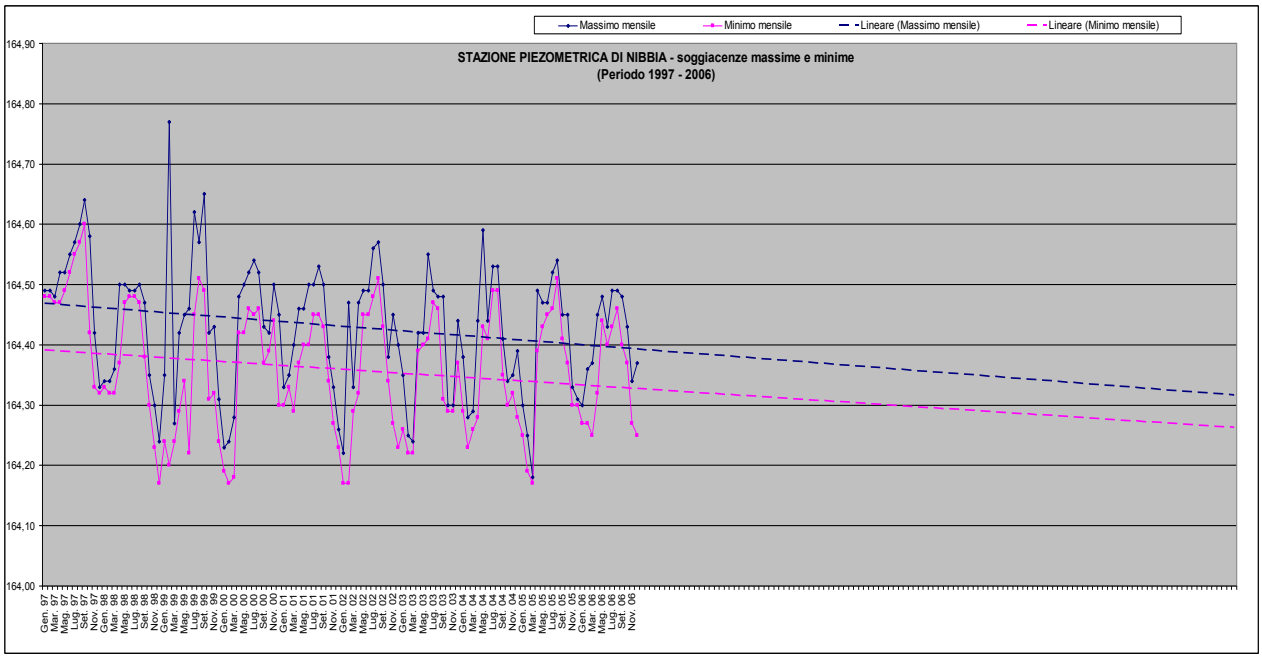
MEDIE ANNUALI E MENSILI - NIBBIA - (m s.l.m.)

MESE	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	medie mensili
Gennaio	164,49	164,34	164,30	164,21	164,32	164,20	164,31	164,34	164,28	164,29	**164,30**
Febbraio	164,49	164,33	164,49	164,21	164,34	164,32	164,24	164,26	164,22	164,32	**164,32**
Marzo	164,48	164,34	164,26	164,23	164,35	164,31	164,23	164,28	164,18	164,31	**164,29**
Aprile	164,50	164,44	164,36	164,45	164,42	164,40	164,41	164,36	164,44	164,39	**164,41**
Maggio	164,51	164,49	164,40	164,46	164,43	164,47	164,41	164,51	164,45	164,46	**164,46**
Giugno	164,54	164,49	164,34	164,49	164,45	164,47	164,48	164,43	164,46	164,42	**164,46**
Luglio	164,56	164,49	164,54	164,50	164,48	164,52	164,48	164,51	164,49	164,46	**164,50**
Agosto	164,59	164,49	164,54	164,49	164,49	164,54	164,47	164,51	164,53	164,48	**164,51**
Settembre	164,62	164,43	164,57	164,40	164,47	164,47	164,40	164,38	164,43	164,44	**164,46**
Ottobre	164,50	164,33	164,37	164,41	164,36	164,36	164,30	164,32	164,41	164,40	**164,37**
Novembre	164,38	164,27	164,38	164,47	164,30	164,36	164,30	164,34	164,32	164,31	**164,34**
Dicembre	164,33	164,21	164,28	164,38	164,25	164,32	164,41	164,34	164,31	164,31	**164,31**
MEDIE ANNUALI	**164,50**	**164,38**	**164,40**	**164,39**	**164,39**	**164,39**	**164,37**	**164,38**	**164,37**	**164,38**	***164,39***
ESCURS. ANNUALI	0,30	0,28	0,29	0,29	0,25	0,34	0,25	0,25	0,35	0,19	









Dai dati sopra esposti si evince che la soggiacenza nella zona di Nibbia risulta più ridotta e pari a circa 1 m da p.c., con escursioni modeste nel periodo di riferimento (alcune decine di centimetri) e con un picco di risalita collocato nel periodo maggio-settembre e massimo ad agosto. L'elaborazione della linea di tendenza sul grafico sembra indicare un lieve ma progressivo aumento della soggiacenza, come d'altronde osservabile anche nel grafico delle medie annue sopra riportato.

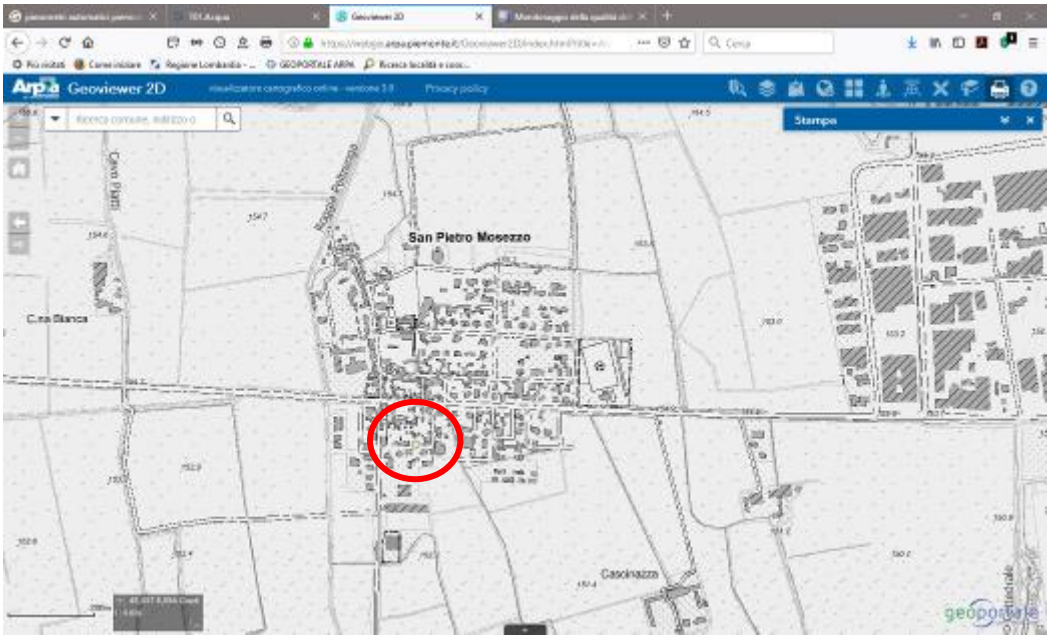
La difformità dei valori della falda del piezometro di Nibbia rispetto a quelli misurati nel piezometro sito in area adiacente può essere interpretata, in termini idrogeologici, in relazione alla vicinanza dell'area in esame al torrente Agogna. Infatti, l'asse fluviale costituisce sostanzialmente un elemento drenante locale della falda sotterranea, come ben illustrato nella

cartografia di PTA proposta in precedenza, nella quale si osservano assi di drenaggio abbastanza evidenti in corrispondenza dei principali corsi d'acqua (Agogna, Arbogna e, in modo meno accentuato e persistente, Terdoppio). Eventuali inversioni del rapporto di alimentazione falda/torrente possono tuttavia esplicarsi nel corso di eventi di piena straordinaria, durante i quali il corso d'acqua può assumere un carattere temporaneamente alimentante dell'acquifero freatico.

Tale interpretazione è stata confermata anche dallo studio "*Caratteri idrogeologici del territorio compreso tra Novara a ovest ed il Fiume Ticino ad est con particolare riferimento alla fascia dei fontanili*" di M. Mancuso e D. Delfino, in Acque Sotterranee, fasc. 54 del giugno 1997. Nello studio, infatti, la ricostruzione dell'andamento freatimetrico del settore di pianura indagato consente agli Autori di affermare che: "*… il Torrente Agogna che costituisce il limite occidentale, drena la falda a sud di Novara mentre a nord del capoluogo la alimenta; questa diversità di comportamento è dovuta al fatto che a nord della città l'alveo dell'Agogna è meno incassato che a sud*."

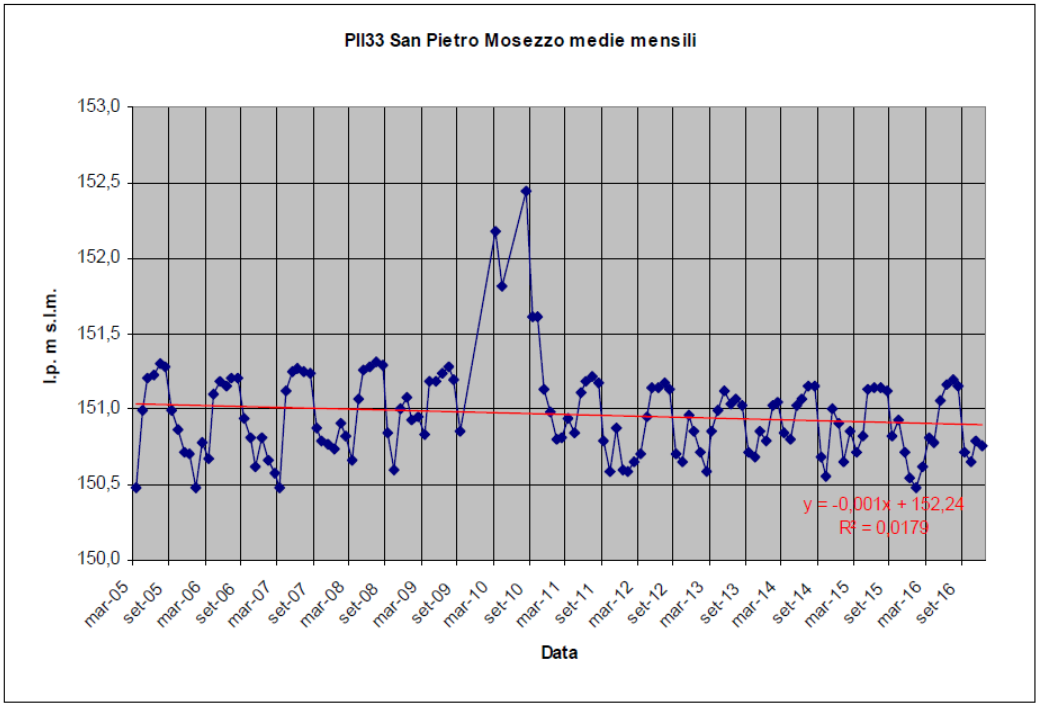
Il sito in esame si colloca, osservando nuovamente l'estratto della carta del PTA, in corrispondenza del cambio tra sistema drenante e sistema alimentante, caratterizzato da depressione della superficie freatica in prossimità dell'asta torrentizia, mentre Nibbia si colloca nel settore di pianura alimentato dalle acque di subalveo dell'Agogna.

In riferimento ai dati contenuti nel PTA 2018 (all. 3B Stato quantitativo e trend piezometrici della falda superficiale della pianura piemontese), si riportano i grafici relativi al piezometro regionale di San Pietro Mosezzo PII33, collocato nell'abitato.

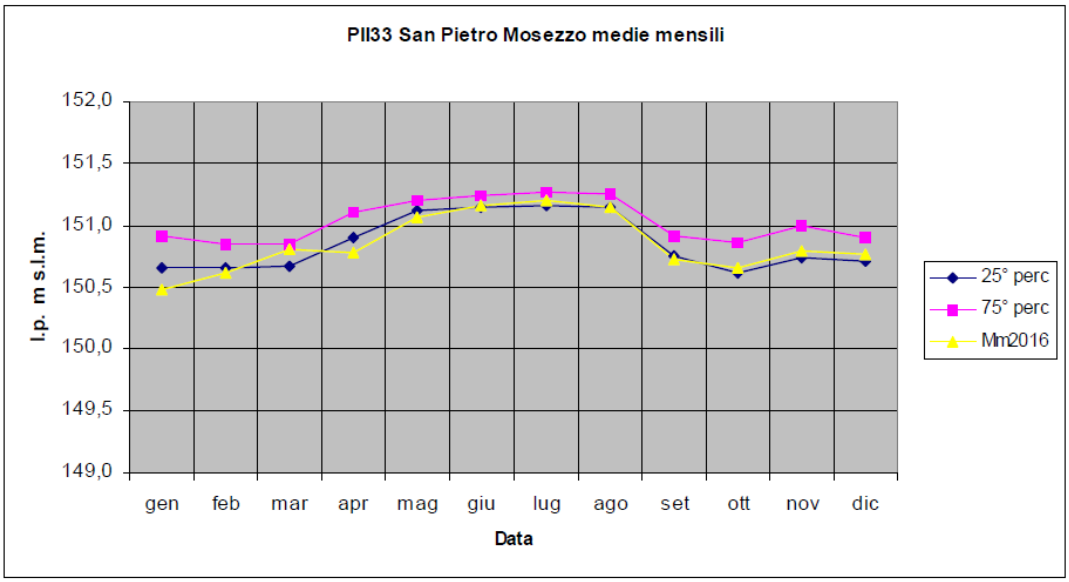


Il trend piezometrico risulta in leggera diminuzione negli ultimi 10 anni ad eccezione del picco di risalita avvenuto nel 2010, con media mensile di circa 1.5 m superiore rispetto alle altre annualità.

Trend piezometrico

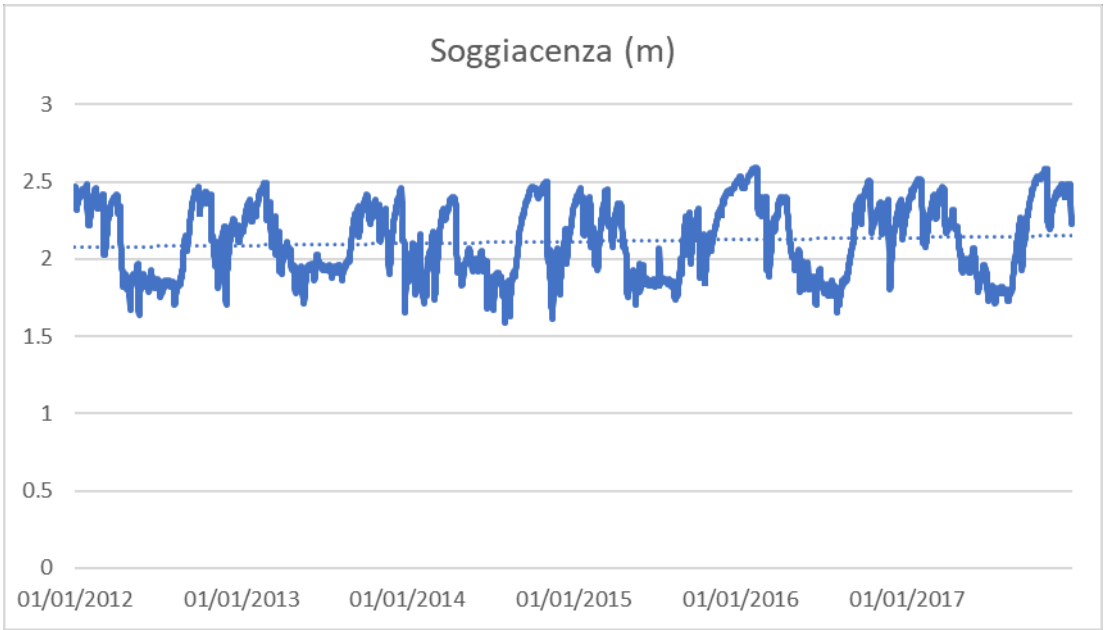


Naturale fluttuazione dei livelli nell'anno medio 2016



Dai dati del Webgis di Arpa Piemonte Monitoraggio della qualità delle acque superficiali in Piemonte è possibile accedere alle misurazioni di dettaglio del piezometro.

La media dei valori di soggiacenza registrati nel periodo 01.01.2012 al 31.12.2017 è rappresentata nel grafico seguente e risulta pari a 2.1 m con minimo di 1.59 m e massimo di 2.59.



Nel corso delle prove penetrometriche dinamiche, effettuate in data 02.04.2021, la soggiacenza della falda è risultata prossima a -2 m da p.c. (circa 3 m dal piano strada pista ciclabile, rilevata su p.c. di circa 1.0-1.2 m). Va tuttavia rilevato che le prove sono state effettuate in adiacenza ad un cavo irriguo con presenza di acqua in alveo.

In conclusione del presente capitolo, si ritiene che per l'area in esame si possano assumere i valori di soggiacenza media del piezometro di San Pietro Mosezzo, corrispondenti per il sito alle seguenti quote medie sul livello del mare (riferendosi al rilievo topografico fornito):

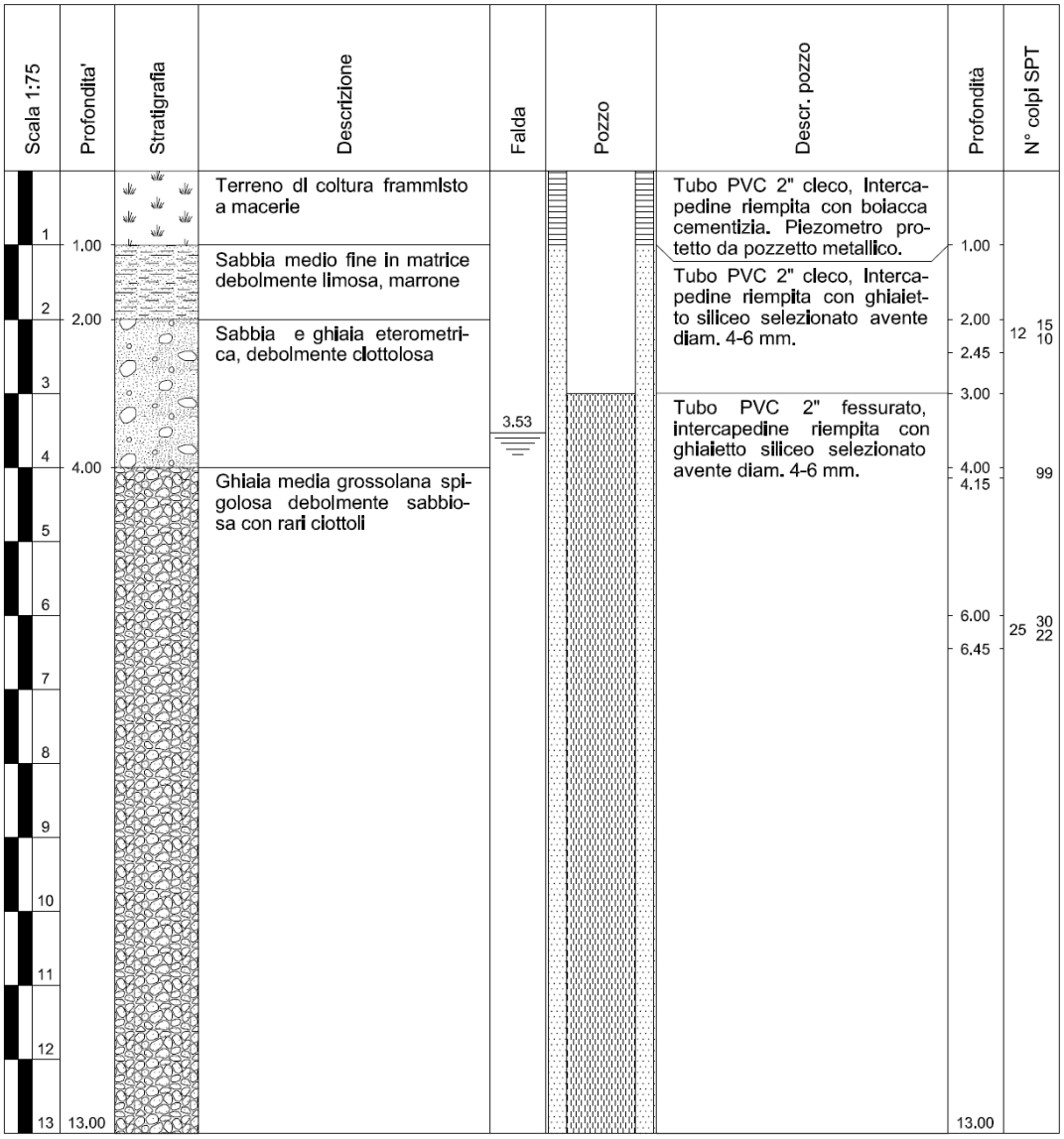
- 156.6 m in prossimità del Canale Cavour;
- 156.7 m in corrispondenza della nuova rotonda di intersezione con il casello A4 di Agognate;
- 155.4 m in corrispondenza della rotonda di immissione all'area logistica (presso il passaggio a livello della linea Biella-Novara).

Considerando le escursioni registrate nel piezometro regionale di controllo, si dovrà tenere conto di risalite medie stagionali dell'ordine di circa 50-70 cm con possibili estremi di oltre 1 m.

5.2 STRATIGRAFIA LOCALE E MODELLO GEOLOGICO

Ai fini della caratterizzazione geologica e geotecnica del sottosuolo, si fa riferimento ad un sondaggio a carotaggio continuo con prove SPT in foro e successiva posa di piezometro, effettuato nel 2011 nel Borgo di Agognate.

COMMITTENTE: Costruzioni Edili Bergamelli	CANTIERE: NOVARA - Località Agognate
COMMESSA N°: B10/031	OPERATORE: Zirafi
SONDAGGIO: Piez. monitoraggio freatimetrico	DATA: 06/05/2010



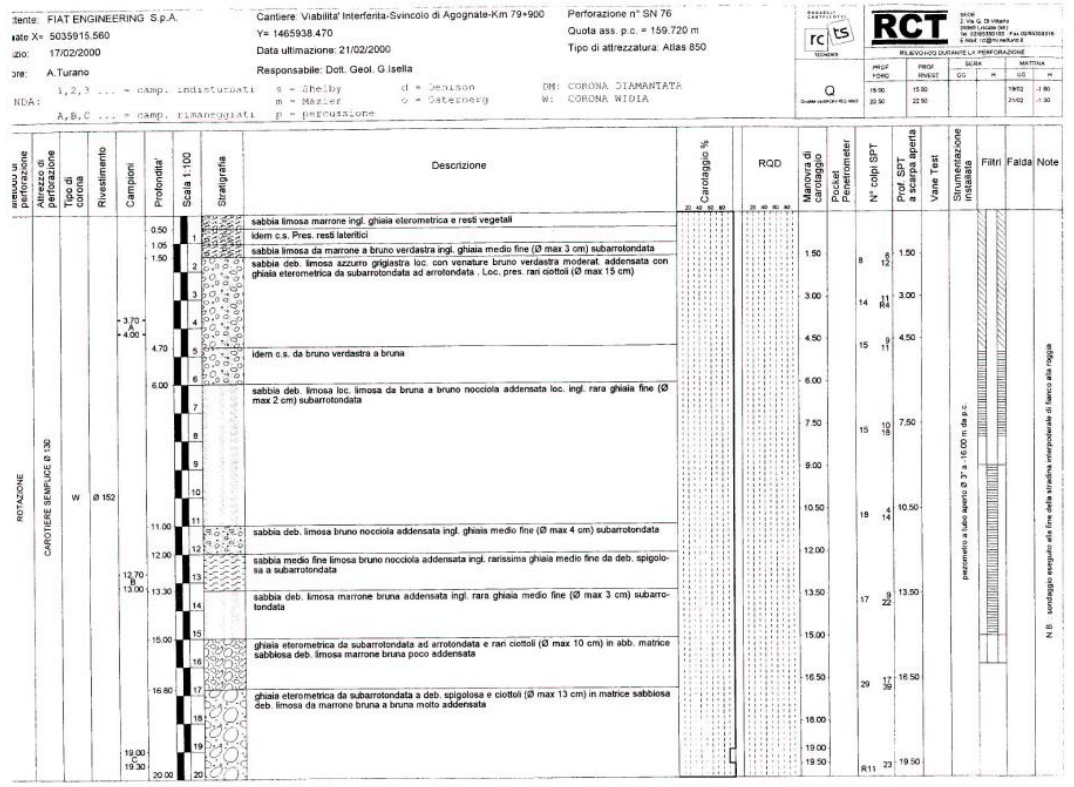
Inoltre nel 2012, nello stesso sito, è stato realizzato un nuovo piezometro di controllo spinto sino a 30 m di profondità, da cui è stato possibile dedurre la seguente sequenza litostratigrafica:

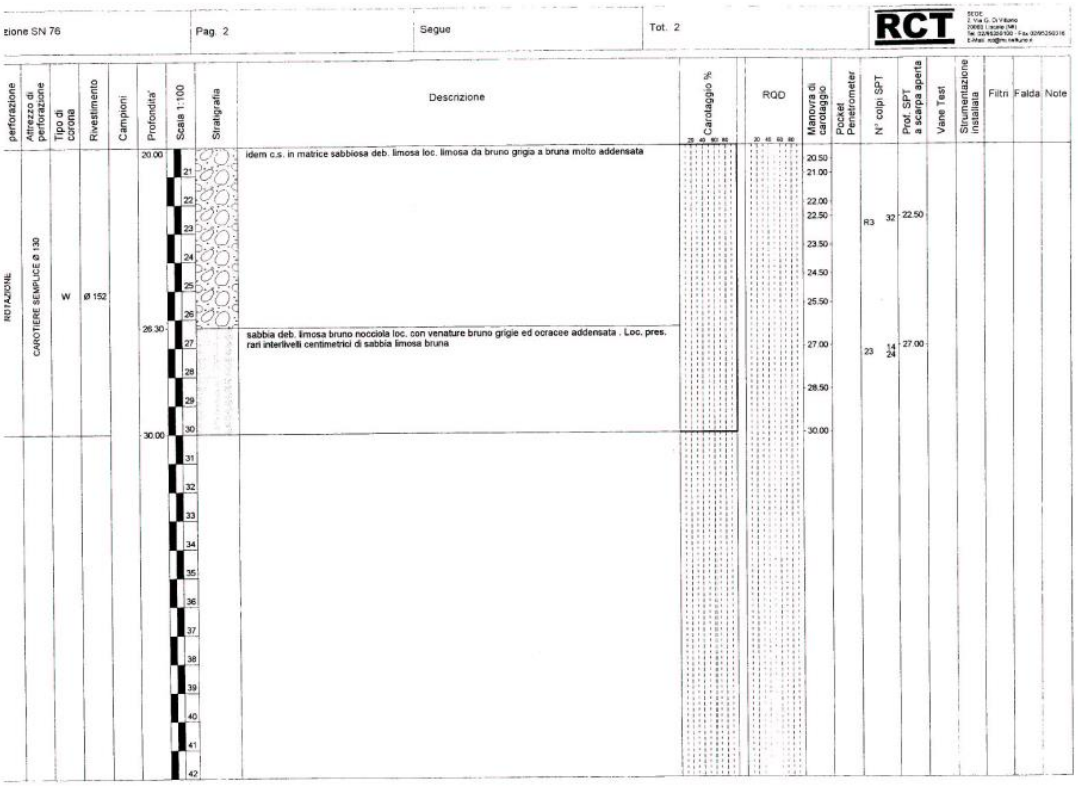
- da 0.00 a 5 m: sabbia argillosa debolmente ghiaiosa giallastra;
- da 5.00 a 15.00 m: ghiaia sabbiosa giallastra;
- da 15.00 a 18.00 m: ghiaia e sabbia giallastra;
- da 18.00 a 24.00 m: ghiaia sabbiosa giallastra;
- da 24.00 a 27.00 m: ghiaia con sabbia argillosa giallastra.

La disponibilità degli elaborati delle indagini geologiche condotte nell'ambito della progettazione della TAV (Fiatengineering, comm. A201/13/C/F2/RB/PRB500/003A e comm. A201/13/V/F2/RB/BS060X/001A) ha consentito anche di osservare le sequenze stratigrafiche di alcuni sondaggi condotti nella zona del casello autostradale A4.

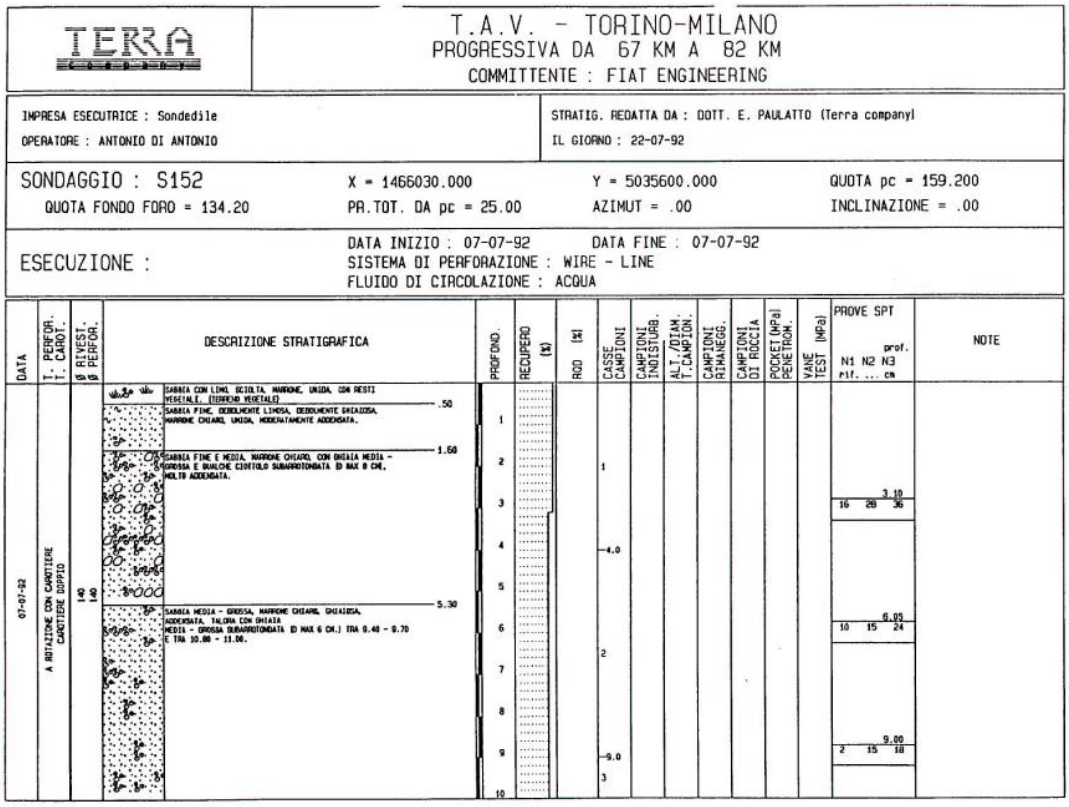
In particolare, si riportano le stratigrafie dei sondaggi SN76, realizzato presso Casa Bagnuda vicino alla rotonda di Nibbia, e S152, collocato in sponda sinistra del Canale Cavour all'altezza dei laghetti FIPS.

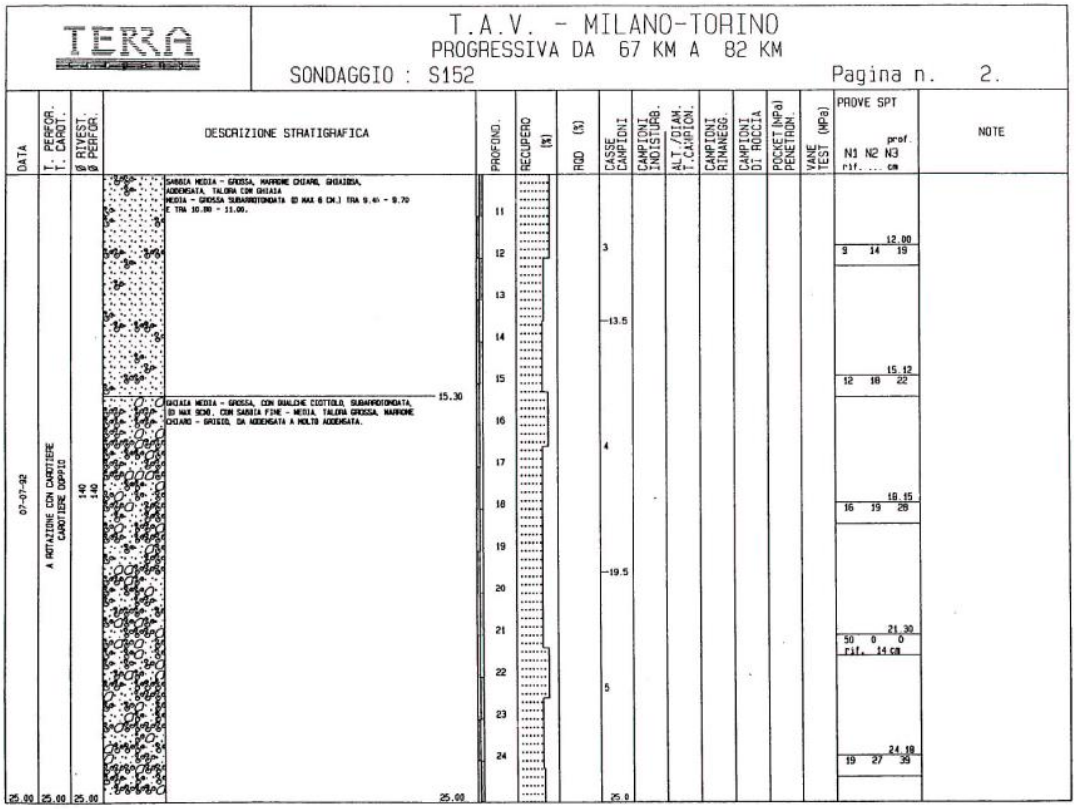
SN76


Cliente: FIAT ENGINEERING S.p.A.
Cantiere: Viabilita' Interferita-Svincolo di Agognate-Km 79+900
Perforazione n° SN 76
Quota ass. p.c. = 159.720 m
Tipo di attrezzatura: Atlas 850
Data ultimazione: 21/02/2000
Responsabile: Dott. Geol. G.Isella
A.Turano
1,2,3 ... = camp. indisturbati
A,B,C ... = camp. rimaneggiati
s = Shelby
m = Mazier
p = percussione
d = Denison
o = Osterberg
DM: CORONA DIAMANTATA
W: CORONA WIDIA
RCT
Descrizione
Carotaggio %
RQD
Manovra di carotaggio
Pocket Penetrometer
N° colpi SPT
Prof. SPT a scarpa aperta
Vane Test
Strumentazione installata
Filtri
Falda
Note
ROTAZIONE
CAROTIERE SEMPLICE Ø 130
W
Ø 152
sabbia limosa marrone ingl. ghiaia eterometrica e resti vegetali
idem c.s. Pres. resti laterizi
sabbia limosa da marrone a bruno verdastra ingl. ghiaia medio fine (Ø max 3 cm) subarrotondata
sabbia deb. limosa azzurro grigiastra loc. con venature bruno verdastra moderat. addensata con ghiaia eterometrica da subarrotondata ad arrotondata . Loc. pres. rari ciottoli (Ø max 15 cm)
idem c.s. da bruno verdastra a bruna
sabbia deb. limosa loc. limosa da bruna a bruno nocciola addensata loc. ingl. rara ghiaia fine (Ø max 2 cm) subarrotondata
sabbia deb. limosa bruno nocciola addensata ingl. ghiaia medio fine (Ø max 4 cm) subarrotondata
sabbia medio fine limosa bruno nocciola addensata ingl. rarissima ghiaia medio fine da deb. spigolosa a subarrotondata
sabbia deb. limosa marrone bruna addensata ingl. rara ghiaia medio fine (Ø max 3 cm) subarrotondata
ghiaia eterometrica da subarrotondata ad arrotondata e rari ciottoli (Ø max 10 cm) in abb. matrice sabbiosa deb. limosa marrone bruna poco addensata
ghiaia eterometrica da subarrotondata a deb. spigolosa e ciottoli (Ø max 13 cm) in matrice sabbiosa deb. limosa da marrone bruna a bruna molto addensata
piezometro a tubo aperto Ø 3" a -16.00 m da p.c.
N.B. sondaggio eseguito alla fine della strachina interpodrale di fianco alla roggia


Pag. 2
Segue
Tot. 2
RCT
Descrizione
Carotaggio %
RQD
Manovra di carotaggio
Pocket Penetrometer
N° colpi SPT
Prof. SPT a scarpa aperta
Vane Test
Strumentazione installata
Filtri
Falda
Note
ROTAZIONE
CAROTIERE SEMPLICE Ø 130
W
Ø 152
idem c.s. in matrice sabbiosa deb. limosa loc. limosa da bruno grigia a bruna molto addensata
sabbia deb. limosa bruno nocciola loc. con venature bruno grigie ed ocracee addensata . Loc. pres. rari interlivelli centimetrici di sabbia limosa bruna

S152





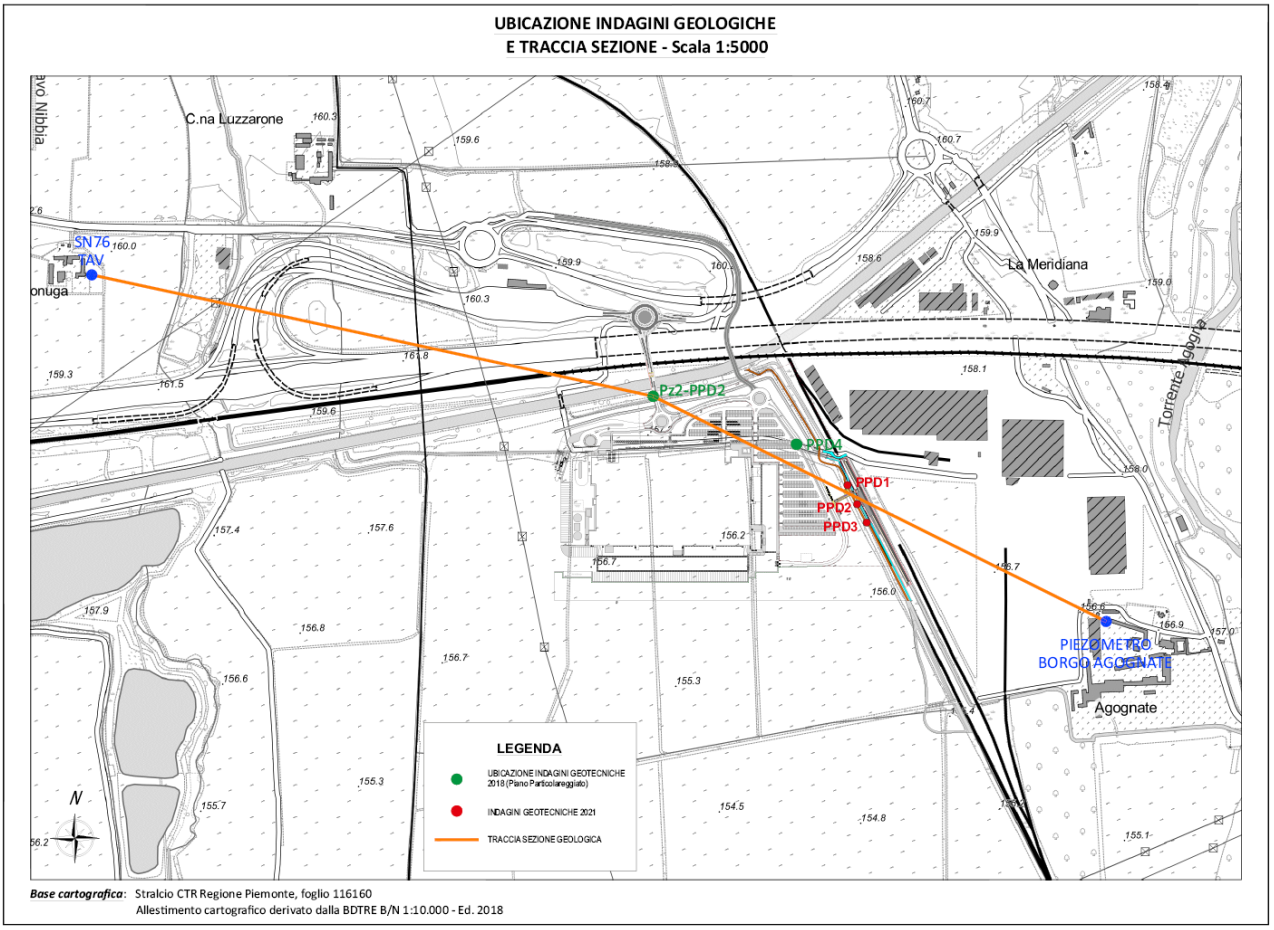
Pertanto, in termini stratigrafici generali, il sottosuolo dell'area oggetto di studio è caratterizzato da una successione (indagata direttamente per circa 30 metri) costituita in prevalenza da ghiaie

sabbiose con una copertura di circa 4-5 m di sabbie e ghiaie e di sabbie limose alla sommità. La sequenza stratigrafica così illustrata definisce una successione di tipo *fining-upward*, legata a facies deposizionali di tipo fluviale/fluvioglaciale, di barra e/o di canale in profondità passanti a piana esondabile alla sommità.

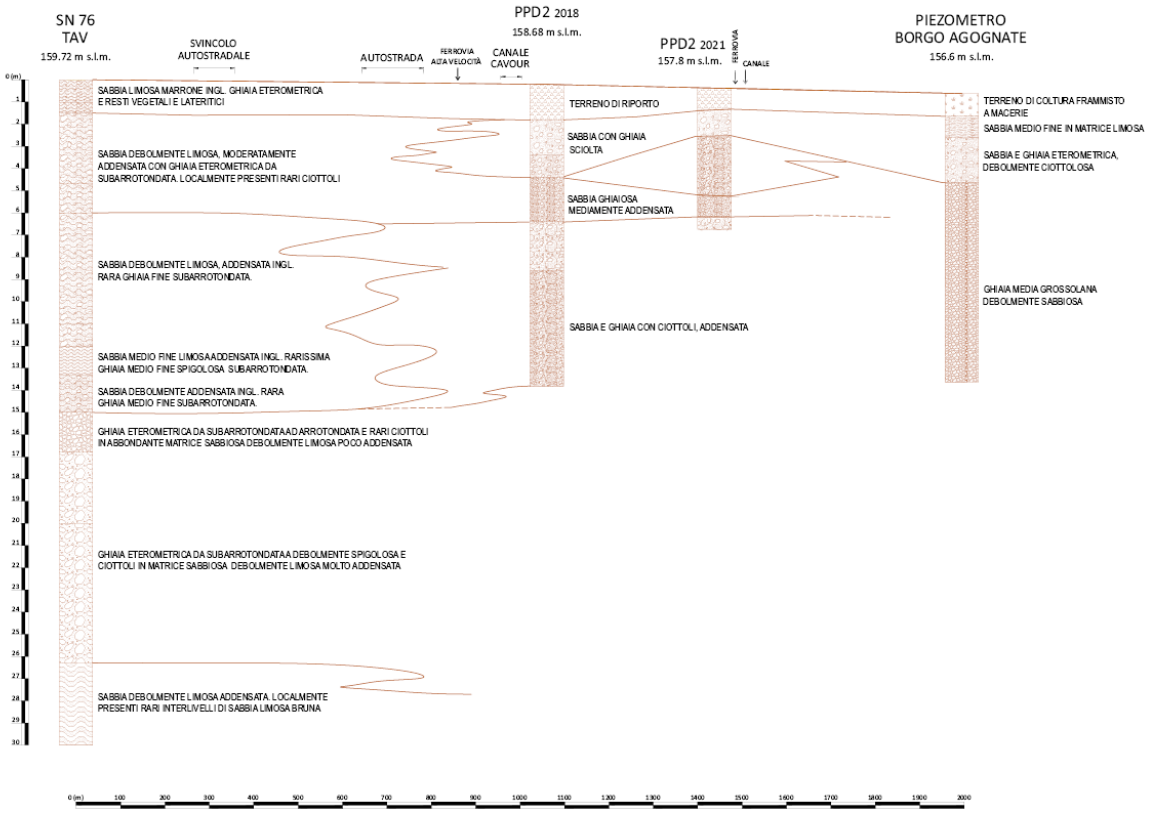
La base della successione stratigrafica, oltre i 25 m di profondità circa, è costituita da sabbie fini addensate, limose, attribuibili a sedimentazione fluviale/fluvioglaciale del Pleistocene medio.

Con i dati delle prove penetrometriche effettuate nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo del Piano Particolareggiato (2018) e di quelle effettuate nel sito di interesse nel mese di aprile c.a., è stata elaborata una correlazione stratigrafica, presentata negli elaborati seguenti, che evidenzia una sequenza locale riconducibile a terreni granulari di ambiente fluviale e suddivisibile in tre unità litostratigrafiche (litotecniche) principali:

- unità sabbioso ghiaiosa sciolta – rappresenta la copertura sommitale, al netto dei depositi di riporto superficiali, della successione stratigrafica locale;
- unità sabbioso-ghiaiosa mediamente addensata – unità intermedia;
- Unità sabbiosa e ghiaioso-ciottolosa addensata – rappresenta la porzione inferiore della successione stratigrafica.



SEZIONE GEOLOGICA



6. INQUADRAMENTO SISMICO

Il territorio comunale di Novara nel catalogo parametrico CPTI04 degli eventi sismici storici presenta la seguente serie così rappresentata in ordine cronologico:

intensità del sito	*Data (g.m.anno)*	*ora*	*Denominazione del sisma (area epicentrale)*	*Intensità max*	*Magnitudo momento*
5-6	09.12.1755	13:30	*vallese*	8	5,90
3	22.10.1796	04:00	*Emilia orientale*	7	5,63
3-4	29.12.1854	01:45	*Liguria occidentale*	7-8	5,77
4-5	25.07.1855	12:00	*Vallese*	8-9	5,81
3	26.02.1885	20:48	*Scandiano*	6	5,22
5-6	23.02.1887	05:21	*Liguria occidentale*	10	6,29
4	07.06.1891	01:06	*Valle d'Illasi*	9	5,71
5	30.10.1901	14:29	*Salò*	8	5,67
4-5	29.04.1905	01:46	*Alta Savoia*	7-8	5,79
F	07.12.1913	01:28	*Novi Ligure*	5	4,72
F	26.10.1914	03:45	*Tavernette*	7	5,36
3	20.04.1929	01:09	*bolognese*	8	5,55
2	17.02.1947	00:12	*Alpi occidentali*	5-6	4,90
3	15.05.1951	22:54	*lodigiano*	6	5,24
4	25.10.1972	21:56	*Passo Cisa*	5	4,95
3-4	09.11.1983	16:29	*parmense*	7	5,10

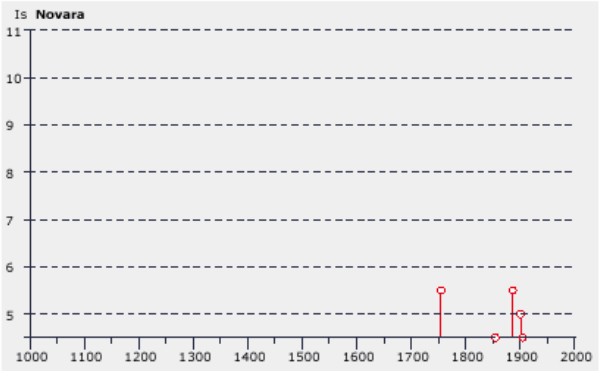
Il quadro delle zone sismogenetiche, tratto dal sito del Gruppo Nazionale per la Difesa dei terremoti, è rappresentato nella seguente carta: la zona in esame si colloca nella zona background, con Ms < 5.0 (magnitudo calcolata sulle onde superficiali).

E' stata inoltre effettuata una ricerca storica degli eventuali episodi sismici che possono aver interessato la zona in passato. La consultazione del catalogo DBMI15, dal sito INGV, (*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 Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15)* ha fornito i seguenti dati per il Comune di Novara:

Storia sismica di Novara
[45.446, 8.623]

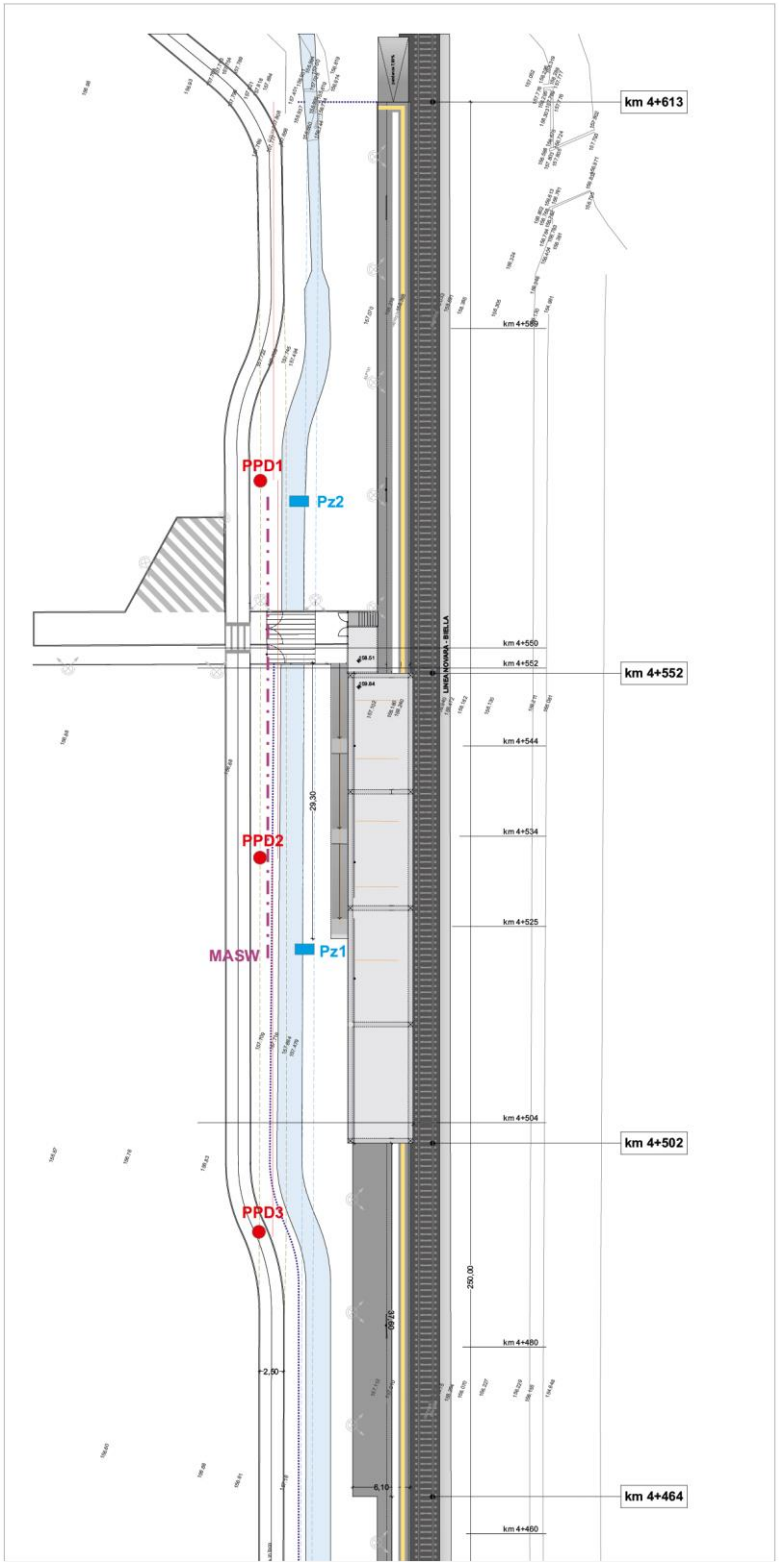
Numero di eventi: 16

Effetti						In occasione del terremoto del:			
Is	**Anno**	**Me**	**Gi**	**Or**	**Mi**	**Area epicentrale**	**Np**	**Ix**	**Mw**
5-6	1755	12	09	13	30	Vallese	74	8	5.90
3	1796	10	22	04		Emilia orientale	26	7	5.63
3-4	1854	12	29	01	45	Liguria occidentale	86	7-8	5.77
4-5	1855	07	25	12		Vallese	52	8-9	5.81
3	1885	02	26	20	48	SCANDIANO	78	6	5.22
5-6	1887	02	23	05	21	Liguria occidentale	1515	10	6.29
4	1891	06	07	01	06	Valle d'Illasi	403	9	5.71
5	1901	10	30	14	49	Salo'	191	8	5.67
4-5	1905	04	29	01	46	Alta Savoia	267	7-8	5.79
F	1913	12	07	01	28	NOVI LIGURE	56	5	4.72
F	1914	10	26	03	45	TAVERNETTE	67	7	5.36
3	1929	04	20	01	09	Bolognese	628	8	5.55
2	1947	02	17	00	12	Alpi occidentali	282	5-6	4.90
3	1951	05	15	22	54	LODIGIANO	126	6	5.24
4	1972	10	25	21	56	PASSO CISA	198	5	4.95
3-4	1983	11	09	16	29	Parmense	835	7	5.10



7. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nella tavola seguente sono rappresentati i punti di indagine; con Pz è raffigurata la posizione dei pozzetti stratigrafici; con PPD sono raffigurate le posizioni delle prove penetrometriche dinamiche alla sommità della pista ciclabile; con la sigla MASW la linea sismica multicanale.



7.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta d'acciaio, prolungabile con l'aggiunta di aste successive; l'infissione avviene per battitura, con le stesse modalità delle prove SPT, che costituiscono lo standard di riferimento per le prove penetrometriche. Si contano i colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza stabilita; la resistenza del terreno è funzione inversa della penetrazione per ciascun colpo e, diretta, del numero di colpi (NDP) per una data penetrazione.

E' stato utilizzato un penetrometro dinamico pesante della Ditta GEODEEP DRILL, motorizzato e cingolato, con le seguenti caratteristiche tecniche:

- *diametro della punta = 51 mm*
- *angolo della punta = 60°*
- *area della base della punta conica = 20,43 cm^2*
- *diametro delle aste = 32 mm*
- *lunghezza delle aste = 90 cm*
- *peso delle aste = 6 kg*
- *peso del maglio = 63,5 kg*
- *altezza di caduta = 750 mm*
- *penetrazione di riferimento = 300 mm*
- ***Esecutore: Giovanni Rodina***
- ***Data: 02.04.2021***

L'energia cinetica propria di ciascun colpo è il prodotto della massa del maglio (M) per l'accelerazione di gravità (g) e per l'altezza di caduta (H). I risultati di differenti prove penetrometriche dinamiche possono essere presentati (e/o paragonati) come valori di resistenza rd secondo la seguente formula:

$$r_d = \frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot e}$$

- A è l'area della sezione trasversale della base della punta conica
- e è la penetrazione media per colpo.

7.2 MODALITÀ DI INTERPRETAZIONE DEI DATI

Il penetrometro utilizzato rispetta lo standard vigente, quindi è possibile utilizzare tutta la letteratura prodotta per le prove SPT. Prima di poter essere utilizzato per ricavare i parametri geotecnici dei terreni attraversati, il valore di Nspt deve, tuttavia, essere oggetto di normalizzazione, al fine di eliminare l'influenza della pressione del terreno sovrastante e di quella indotta dal dispositivo di battitura delle aste.

7.2.1 NORMALIZZAZIONE RISPETTO ALLA PRESSIONE DEL TERRENO.

Dato che la resistenza alla penetrazione aumenta in modo lineare con la profondità, quindi nel

caso di densità relativa costante, all'aumentare della tensione verticale efficace, è necessario operare una correzione riferendo i valori di N ad una pressione verticale efficace di 1 kg/cm^2 secondo la formula: $N_1 = C_N \cdot N$

- N è il numero di colpi misurati;
- N1 è il valore di N riferito ad un valore unitario di $\sigma'v_o$;
- $C_N = 1/ \sigma'v_o^{(n)}$
- Con n = 0.5 (Liao e Whitman, 1985).

E' possibile utilizzare anche la relazione di Skempton (1986) per sabbie fini: $C_N = \frac{2}{1+\sigma'_{v0}/100}$ e per sabbie grossolane: $C_N = \frac{3}{2+\sigma'_{v0}/100}$, che enfatizzano meno i valori di CN per bassi valori di pressione efficace.

7.2.2 NORMALIZZAZIONE RISPETTO AL DISPOSITIVO DI BATTITURA

Normalmente il rendimento dei dispositivi utilizzati per le prove SPT è pari al 60% dell'energia cinetica nominale (473.4 Joule) della massa di un maglio di 63.5 kg che cade da un'altezza di 760 mm: poiché nel caso specifico il rendimento è superiore, si rende indispensabile effettuare una correzione secondo la relazione: $N_{60} = \frac{ER_{iM}}{60} \cdot N$

N_{60} = numero di colpi corretto per riferirlo ad un rendimento del 60%;

ER_{iM} = rendimento medio espresso in percentuale;

N = numero di colpi misurato.

Il valore normalizzato di N che tenga conto sia della pressione del terreno sovrastante che del rendimento del sistema di infissione, diviene: $(N_1)_{60} = C_N (ER_{iM}/60)N = ER_{iM} \cdot N/ 60 \sqrt{\sigma'_{vo}}$.

Adottando il valore di $(N_1)_{60}$ e rispettando le indicazioni della Procedura di Riferimento nell'esecuzione della prova, le variazioni registrate nel numero di colpi dipenderanno solo dalle caratteristiche del terreno.

7.2.3 NORMALIZZAZIONE RISPETTO ALLA LUNGHEZZA DI PENETRAZIONE

La correzione è stata introdotta utilizzando la formulazione di LaCroix e Horn (1973)

$$N_{SPT} = \left(\frac{W \cdot H}{6,2 \cdot D^2 \cdot L} \right) N$$

W = peso del maglio (kg) –H = altezza di caduta (cm) –D = diametro del cono (cmq) –L = penetrazione standard (cm) – N = numero dei colpi misurato nella prova non standard.

7.2.4 NORMALIZZAZIONE RISPETTO ALLA LUNGHEZZA DELLE ASTE

L'energia può anche essere dispersa a causa della lunghezza delle aste, infatti se questa è minore

di 10 m, i fattori di correzione mostrati in fig. 2.8 possono essere applicati al numero dei colpi per sabbia; per aste più lunghe di 10 m, nessuna correzione viene applicata.

Lungezza delle aste	Fattore di correzione λ
>10	1.0
6-10	0.95
4-6	0.85
3-4	0.75

Tab. 2.8 Fattori di correzione in sabbia dovuti alla lunghezza delle aste

7.3 PARAMETRI RICAVATI

7.3.1 PESO DI VOLUME

E' stata utilizzata la formulazione di Bruschi **$98,1*(1,39+0,053*N_{60}-0,0011*N_{60}^2+0,0000076*N_{60}^3)$** e quella di Chaigneau**: (1.27*Ln(rd)+14.63)**, mediando i risultati.

7.3.2 DENSITÀ RELATIVA (DR)

Disponendo del valore normalizzato di NSPT [(N1)60], la migliore classificazione risulta quella proposta da Terzaghi e Peck (1948) e da Skempton (1986), utilizzando la correlazione **$(N1)_{60}/Dr^2 = 60$**, per Dr > 35%.

7.3.3 ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE (Φ')

Innanzitutto, si deve sottolineare che, a causa della variabilità nei valori N_{SPT}, la valutazione della prova in termini di resistenza al taglio deve essere considerata come una stima la cui attendibilità dipende da vari fattori, da valutare attentamente in funzione del contesto in cui si opera.

L'angolo di resistenza al taglio del materiale indagato può essere valutato attraverso due categorie di metodi: i metodi di correlazione diretta Nspt-φ e i metodi di correlazione indiretta. Nel caso in esame è stata scelta la correlazione diretta, utilizzando la formulazione di Wolff per il valore di angolo di attrito di picco e la formula di De Mello che approssima l'angolo di attrito a volume costante.

7.3.4 MODULO DI DEFORMAZIONE (O DI YOUNG)

È dato dal rapporto tra sollecitazione e deformazione corrispondente in un materiale che si trova sotto il limite di proporzionalità (legge di Hooke) sulla curva sollecitazione-deformazione.

I moduli di deformabilità operativi, dato il comportamento non lineare dei terreni, dipendono dalle effettive deformazioni indotte e/o dal grado di mobilitazione della resistenza al taglio. Il modulo di Young operativo può essere assunto pari a quello corrispondente a tensioni di circa il

25% di quelle a rottura (E_{25}), calcolabile con le formule di Stroud (1989) o di Jamiolkowski (1988).

7.3.5 MODULO EDOMETRICO M0

La compressibilità di una terra può essere espressa dal coefficiente di compressibilità mv: **mv = (-δe/1+e) (1/δσ'v)** o dal rapporto inverso, definito modulo edometrico: **M = (δσ'v/-δe) (1+e)**.

Per valutare questo modulo si utilizza la relazione di Mayne & Frost (1988) o la relazione di Menzebach e Malcev, valida per terreni incoerenti, e quella di Schultze & Menzebach (1961), per i terreni coesivi.

7.3.6 MODULO DI TAGLIO DINAMICO G0

E' stato utilizzato il metodo di Wroth che ricava il Modulo G_0 dalla relazione $\mathbf{G_0=15.56*N_{60}^{0.68}}$.

7.3.7 COEFFICIENTE DI POISSON

Per le prove drenate si può ricavare secondo la relazione di Trautman e Kulhawy: $\mathbf{v \approx 0.1+0.3\phi_{rel}}$ dove $\mathbf{\phi_{rel} = \phi_{vc}-25°/20°}$.

7.3.8 COEFFICIENTI DI WINKLER

I coefficienti di Winkler sono ricavati dalle formule di Terzaghi, 1983 (N<=10); Moayed, 2006 - Bruschi, 2011 (N>10). Si ricorda che i valori devono essere ritenuti puramente indicativi non trattandosi di proprietà intrinseche del terreno.

7.4 ELABORAZIONE DATI

Pz 2 fondo alveo cavo irriguo, circa -2.0/2.2 m da piano pista ciclabile.

0.0-0.50 m: limo sabbioso

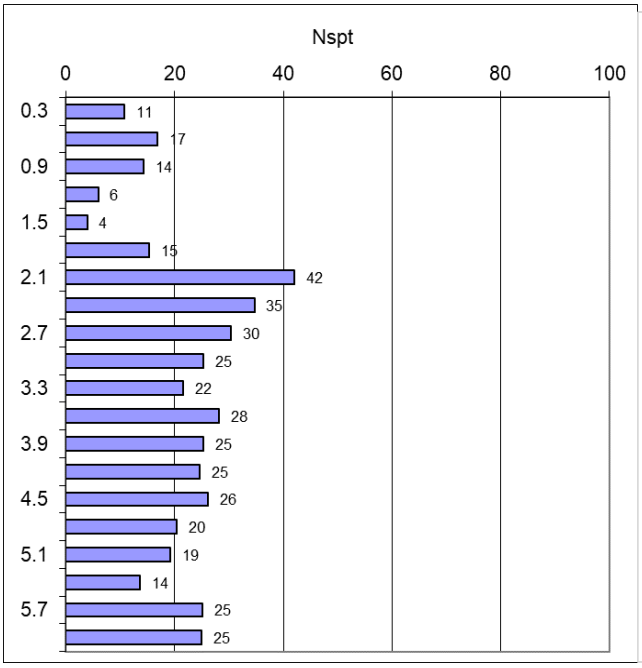
>0.50 m: ghiaia e sabbia

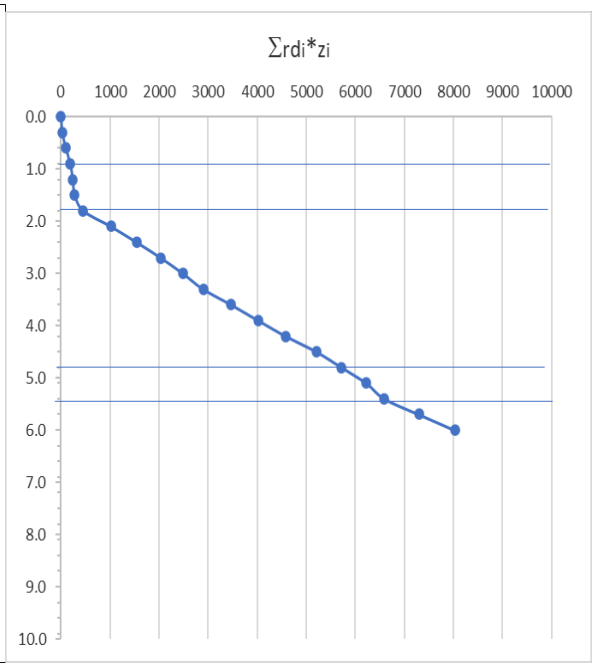
PPD 1 quota = sommità pista ciclabile

Prof.	N	*Nspt*	Ce	CR	N60	peso terreno	tensione totale	pressione neutra	tensione vert. Eff.	CN adottato	*N1(60)*
m	*N*	*1.48*	*1.1*			*t/mc*	*t/mq*	*t/mq*	*kg/cmq*	*CN*	
0.3	**10**	*10*	10	0.75	7	1.70	0.51		0.051	*1.46*	***11***
0.6	**16**	*16*	16	0.75	12	1.80	1.05		0.105	*1.43*	***17***
0.9	**14**	*14*	14	0.75	10	1.77	1.58		0.158	*1.39*	***14***
1.2	**6**	*6*	6	0.75	4	1.60	2.06		0.206	*1.36*	***6***
1.5	**4**	*4*	4	0.75	3	1.54	2.53		0.253	*1.33*	***4***
1.8	**16**	*16*	16	0.75	12	1.80	3.07		0.307	*1.30*	***15***
2.1	**45**	*44*	44	0.75	33	2.03	3.68		0.368	*1.27*	***42***
2.4	**38**	*37*	37	0.75	28	2.00	4.28		0.428	*1.24*	***35***
2.7	**34**	*33*	33	0.75	25	1.98	4.87		0.487	*1.21*	***30***
3.0	**29**	*29*	29	0.75	21	1.94	5.45	0.0	0.545	*1.18*	***25***
3.3	**25**	*25*	25	0.75	18	1.90	6.02	0.3	0.572	*1.17*	***22***
3.6	**33**	*32*	32	0.75	24	1.96	6.61	0.6	0.601	*1.15*	***28***
3.9	**30**	*30*	30	0.75	22	1.94	7.19	0.9	0.629	*1.14*	***25***
4.2	**26**	*26*	26	0.85	22	1.94	7.77	1.2	0.657	*1.13*	***25***
4.5	**28**	*28*	28	0.85	23	1.95	8.36	1.5	0.686	*1.12*	***26***
4.8	**22**	*22*	22	0.85	18	1.89	8.93	1.8	0.713	*1.11*	***20***
5.1	**21**	*21*	21	0.85	18	1.88	9.49	2.1	0.739	*1.10*	***19***
5.4	**15**	*15*	15	0.85	13	1.80	10.03	2.4	0.763	*1.09*	***14***
5.7	**28**	*28*	28	0.85	23	1.95	10.61	2.7	0.791	*1.07*	***25***
6.0	**28**	*28*	28	0.85	23	1.95	11.20	3.0	0.820	*1.06*	***25***

Strato n.	Interpretazione litologica	Prof. m	$N_{1(60)}$	γ kN/m³	D_R %	Φ' ° DeMello	Φ' ° Wolff	$E_{25\ Jam.}$ kg/cm²	M kg/cm²
1	Riporto	0.0-0.9	**14**	17.3	48	28.9	31.2	-	-
2	Sabbia con ghiaia e ciottoli Sciolta	0.9-1.8	**8**	16.2	34	26.4	29.6	59.5	66.5
3	Sabbia e ghiaia con ciottoli	1.8-4.8	**28**	19.2	68	31.3	35.0	192.2	285.2
4	Sabbia ghiaiosa	4.8-5.4	**16**	18.0	52	29.3	31.9	130.7	195.5
5	Sabbia e ghiaia con ciottoli	5.4-6.0	**25**	19.1	65	30.9	34.3	193.0	283.1

Strato n.	Interpretazione litologica	Prof. m	G_0 Mpa Wroth	ν	K_w kg/cm³
1	Riporto	0.0-0.9	73.7	0.19	11.9
2	Sabbia con ghiaia e ciottoli sciolta	0.9-1.8	55.0	0.17	1.7
3	Sabbia e ghiaia con ciottoli	1.8-4.8	133.7	0.25	15.6
4	Sabbia ghiaiosa	4.8-5.4	98.4	0.20	12.5
5	Sabbia e ghiaia con ciottoli	5.4-6.0	132.9	0.24	15.0





Pz 1 fondo alveo cavo irriguo, circa -2.0/2.2 m da piano pista ciclabile.

0.0-0.40 m: limo sabbioso

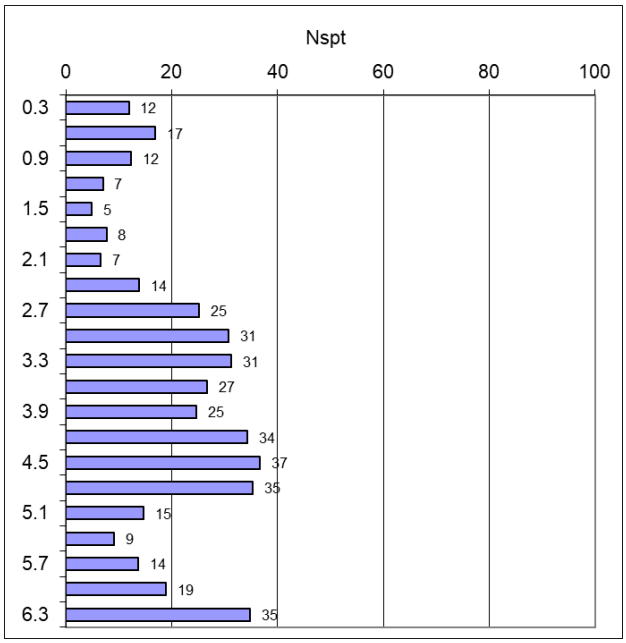
>0.40 m: ghiaia e sabbia

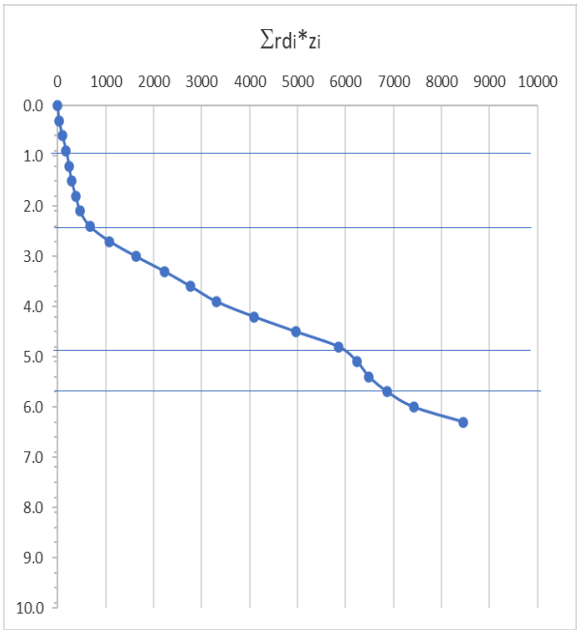
PPD 2 quota = sommità pista ciclabile

Prof.	N	*Nspt*	Ce	CR	N60	peso terreno	tensione totale	pressione neutra	tensione vert. Eff.	CN adottato	*N1(60)*
m	*N*	*1.48*	*1.1*			*t/mc*	*t/mq*	*t/mq*	*kg/cmq*	*CN*	
0.3	**11**	*11*	11	0.75	8	1.72	0.52		0.052	*1.46*	***12***
0.6	**16**	*16*	16	0.75	12	1.80	1.06		0.106	*1.42*	***17***
0.9	**12**	*12*	12	0.75	9	1.74	1.58		0.158	*1.39*	***12***
1.2	**7**	*7*	7	0.75	5	1.63	2.07		0.207	*1.36*	***7***
1.5	**5**	*5*	5	0.75	4	1.57	2.54		0.254	*1.33*	***5***
1.8	**8**	*8*	8	0.75	6	1.65	3.04		0.304	*1.30*	***8***
2.1	**7**	*7*	7	0.75	5	1.63	3.52		0.352	*1.28*	***7***
2.4	**15**	*15*	15	0.75	11	1.78	4.06		0.406	*1.25*	***14***
2.7	**28**	*28*	28	0.75	21	1.93	4.64		0.464	*1.22*	***25***
3.0	**35**	*34*	34	0.75	26	1.98	5.23	0.0	0.523	*1.19*	***31***
3.3	**36**	*35*	35	0.75	27	1.98	5.83	0.3	0.553	*1.18*	***31***
3.6	**31**	*31*	31	0.75	23	1.95	6.41	0.6	0.581	*1.16*	***27***
3.9	**29**	*29*	29	0.75	21	1.93	6.99	0.9	0.609	*1.15*	***25***
4.2	**36**	*35*	35	0.85	30	2.00	7.59	1.2	0.639	*1.14*	***34***
4.5	**39**	*38*	38	0.85	33	2.02	8.20	1.5	0.670	*1.12*	***37***
4.8	**38**	*37*	37	0.85	32	2.01	8.80	1.8	0.700	*1.11*	***35***
5.1	**16**	*16*	16	0.85	13	1.81	9.34	2.1	0.724	*1.10*	***15***
5.4	**10**	*10*	10	0.85	8	1.70	9.85	2.4	0.745	*1.09*	***9***
5.7	**15**	*15*	15	0.85	13	1.79	10.39	2.7	0.769	*1.08*	***14***
6.0	**21**	*21*	21	0.85	18	1.88	10.96	3.0	0.796	*1.07*	***19***
6.3	**35**	*34*	34	0.95	33	2.01	11.56	3.3	0.826	*1.06*	***35***

Strato n.	Interpretazione litologica	Prof. m	**Nspt**	γ kN/m³	D_R %	Φ' ° DeMello	Φ' ° Wolff	E_{25} Jam. kg/cm²	M kg/cm²
1	Riporto	0.0-0.9	**14**	17.2	48	28.8	31.1	-	-
2	Sabbia con ghiaia e ciottoli Sciolta	0.9-2.4	**8**	16.2	34	26.5	29.5	57.8	65.7
3	Sabbia e ghiaia con ciottoli	2.4-4.8	**31**	19.4	71	31.7	35.8	212.2	315.1
4	Sabbia ghiaiosa	4.8-5.7	**12**	17.4	45	28.2	30.8	101.9	157.6
5	Sabbia e ghiaia con ciottoli	5.7-6.3	**27**	19.0	66	31.0	34.7	205.9	335.8

Strato n.	Interpretazione litologica	Prof. m	G_0 Mpa Wroth	ν	K_w kg/cm³
1	Riporto	0.0-0.9	72.4	0.19	11.8
2	Sabbia con ghiaia e ciottoli sciolta	0.9-2.4	53.8	0.17	1.6
3	Sabbia e ghiaia con ciottoli	2.4-4.8	144.5	0.26	16.5
4	Sabbia ghiaiosa	4.8-5.7	81.6	0.19	11.4
5	Sabbia e ghiaia con ciottoli	5.7-6.3	139.4	0.25	15.5



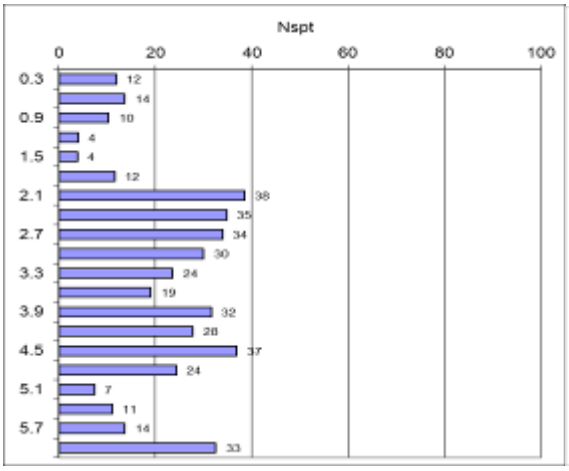


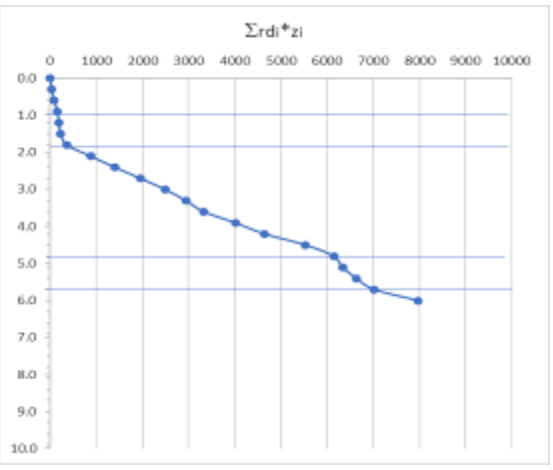
PPD 3 quota = sommità pista ciclabile

Prof.	N	*Nspt*	Ce	CR	N60	peso terreno	tensione totale	pressione neutra	tensione vert. Eff.	CN adottato	*N1(60)*
m	*N*	*1.48*	*1.1*			*t/mc*	*t/mq*	*t/mq*	*kg/cmq*	*CN*	
0.3	**11**	*11*	11	0.75	8	1.72	0.52		0.052	*1.46*	***12***
0.6	**13**	*13*	13	0.75	10	1.76	1.04		0.104	*1.43*	***14***
0.9	**10**	*10*	10	0.75	7	1.70	1.55		0.155	*1.39*	***10***
1.2	**4**	*4*	4	0.75	3	1.55	2.02		0.202	*1.36*	***4***
1.5	**4**	*4*	4	0.75	3	1.54	2.48		0.248	*1.33*	***4***
1.8	**12**	*12*	12	0.75	9	1.73	3.00		0.300	*1.30*	***12***
2.1	**41**	*40*	40	0.75	30	2.02	3.60		0.360	*1.27*	***38***
2.4	**38**	*37*	37	0.75	28	2.00	4.20		0.420	*1.24*	***35***
2.7	**38**	*37*	37	0.75	28	2.00	4.80	0.0	0.480	*1.21*	***34***
3.0	**34**	*33*	33	0.75	25	1.97	5.40	0.3	0.510	*1.20*	***30***
3.3	**27**	*27*	27	0.75	20	1.92	5.97	0.6	0.537	*1.18*	***24***
3.6	**22**	*22*	22	0.75	16	1.87	6.53	0.9	0.563	*1.17*	***19***
3.9	**37**	*36*	36	0.75	27	1.99	7.13	1.2	0.593	*1.16*	***32***
4.2	**29**	*29*	29	0.85	24	1.96	7.72	1.5	0.622	*1.14*	***28***
4.5	**39**	*38*	38	0.85	33	2.02	8.32	1.8	0.652	*1.13*	***37***
4.8	**26**	*26*	26	0.85	22	1.93	8.90	2.1	0.680	*1.12*	***24***
5.1	**8**	*8*	8	0.85	7	1.66	9.40	2.4	0.700	*1.11*	***7***
5.4	**12**	*12*	12	0.85	10	1.74	9.92	2.7	0.722	*1.10*	***11***
5.7	**15**	*15*	15	0.85	13	1.79	10.46	3.0	0.746	*1.09*	***14***
6.0	**36**	*35*	35	0.85	30	2.00	11.06	3.3	0.776	*1.08*	***33***

Strato n.	Interpretazione litologica	Prof. m	**Nspt**	γ kN/m^3	D_R %	Φ' ° DeMello	Φ' ° Wolff	$E_{25\ Jam.}$ kg/cm^2	M kg/cm^2
1	Riporto	0.0-0.9	**12**	16.9	45	28.3	30.6	-	-
2	Sabbia con ghiaia e ciottoli sciolta	0.9-1.8	**7**	15.8	29	25.5	29.0	46.7	60.0
3	Sabbia e ghiaia con ciottoli	1.8-4.8	**30**	19.3	70	31.6	35.6	203.8	338.3
4	Sabbia ghiaiosa	4.8-5.7	**11**	17.0	41	27.6	30.3	88.6	140.1
5	Sabbia e ghiaia con ciottoli	5.7-6.0	**33**	19.6	74	31.9	36.3	238.6	394.7

Strato n.	Interpretazione litologica	Prof. m	G_0 Mpa Wroth	ν	K_w kg/cm^3
1	Riporto	0.0-0.9	66.0	0.18	11.3
2	Sabbia con ghiaia e ciottoli sciolta	0.9-1.8	46.0	0.16	1.3
3	Sabbia e ghiaia con ciottoli	1.8-4.8	140.2	0.26	16.4
4	Sabbia ghiaiosa	4.8-5.7	73.3	0.18	10.9
5	Sabbia e ghiaia con ciottoli	5.7-6.0	157.6	0.27	17.1





8. PARAMETRI DEI TERRENI E MODELLO GEOTECNICO

Le NTC richiedono, per la scelta dei valori caratteristici, un procedimento in due fasi:

- *Identificazione dei parametri appropriati al progetto: in caso di modesti volumi coinvolti è preferibile ricorrere al ϕcv mentre con grandi volumi di terreno coinvolti, può essere utilizzato il valore del ϕ';*
- *Valutazione dei valori caratteristici: valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con compensazione delle eterogeneità, o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di sufficiente rigidezza; valori prossimi ai minimi invece sono giustificati quando sono coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo o in caso di strutture non sufficientemente rigide.*

Il calcolo dei valori caratteristici è stato effettuato con la seguente formula, valida con pochi dati (5° percentile di distribuzione della media - ϕ'k):

$$x_k = \bar{x} - 1.645\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right)$$

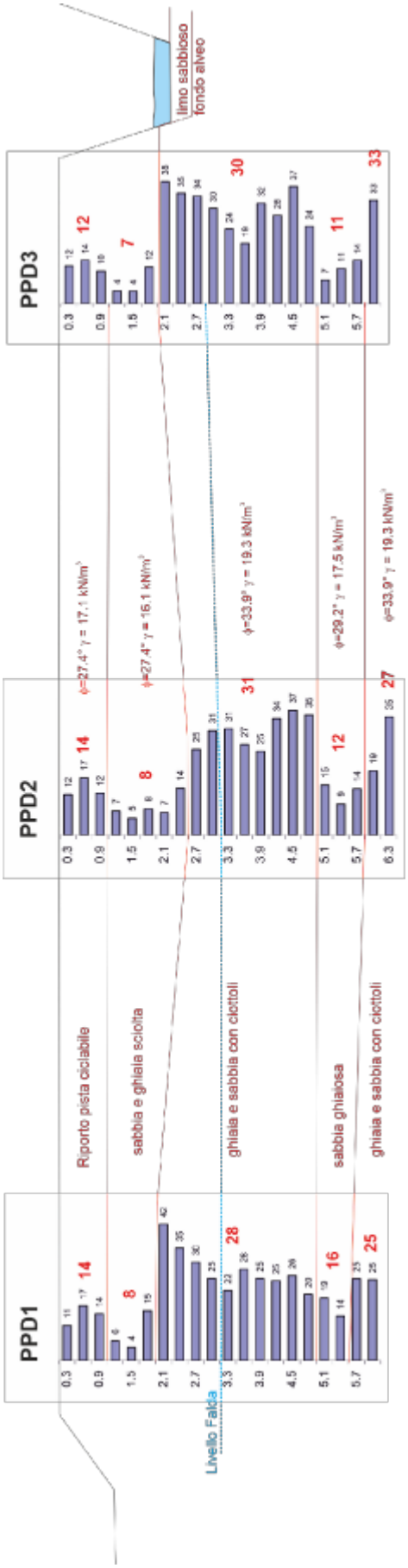
- Xk valore medio del parametro geotecnico;
- σ deviazione standard;
- n numero campioni;
- il coefficiente di variazione, ottenuto dal rapporto tra deviazione standard e parametro medio, è stato valutato in base alle indicazioni di bibliografia, alla variabilità dei dati ed al numero di dati disponibili;
- X = -1,645: valore fissato dall'EC7, corrispondente a una probabilità di non superamento del 5% in una distribuzione Gaussiana.

Per la stima dei valori caratteristici degli altri parametri sono stati utilizzati i valori medi.

Il modello geotecnico è riportato nella figura alla pagina successiva, di seguito i parametri dei terreni:

SPESSORE m	STRATO	Nspt medio	γ kN/m³	ϕ'_m De Mello	ϕ'_m Wolff	COV	ϕ'_K DeMello	ϕ'_K Wolff	$E_{k\ 25}$ kg/cm²	M_k kg/m²
0.9	Riporto	**13**	**17.1**	28.7	31.0	12	**25.4**	**27.4**	**-**	**-**
0.9-1.5	Sabbia con ghiaia e ciottoli sciolta	**8**	**16.1**	26.1	29.4	7	**24.4**	**27.4**	**54.7**	**64.1**
0.9	Sabbia ghiaiosa	**13**	**17.5**	28.4	31	6	**26.8**	**29.2**	**107.1**	**164.0**
2.4 ->3.0	Sabbia e ghiaia con ciottoli	**29**	**19.3**	31.4	35.3	6	**30.1**	**33.9**	**207.6**	**325.4**

STRATO	G_0 Mpa *Wroth*	ν	K_w Kg/cm³
Riporto	**70.7**	**0.19**	**11.7**
Sabbia con ghiaia e ciottoli sciolta	**51.6**	**0.17**	**1.5**
Sabbia ghiaiosa	**84.4**	**0.19**	**11.6**
Sabbia e ghiaia con ciottoli	**141.4**	**0.26**	**16.0**


PPD1
PPD2
PPD3
Riporto pista ciclabile
sabbia e ghiaia sciolta
ghiaia e sabbia con ciottoli
sabbia ghiaiosa
ghiaia e sabbia con ciottoli
limo sabbioso
fondo alveo
Livello Falda
ϕ=27.4° γ = 17.1 kN/m³
ϕ=27.4° γ = 16.1 kN/m³
ϕ=33.9° γ = 19.3 kN/m³
ϕ=29.2° γ = 17.5 kN/m³
ϕ=33.9° γ = 19.3 kN/m³

9. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Per la definizione del valore del parametro sismico "Vs" e, di conseguenza, per determinare la categoria di sottosuolo del sito, è stata condotta un'indagine MASW/ReMi.

9.1 RISULTATI DELLE ANALISI MASW E REMI

Autore: Giovanni Rodina
Sito: Agognate
Data: 2 aprile 2021

1 - Dati sperimentali

Numero di ricevitori.....24
Distanza tra i sensori: 0m
Numero di campioni temporali 2000
Passo temporale di acquisizione.....1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi.....24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

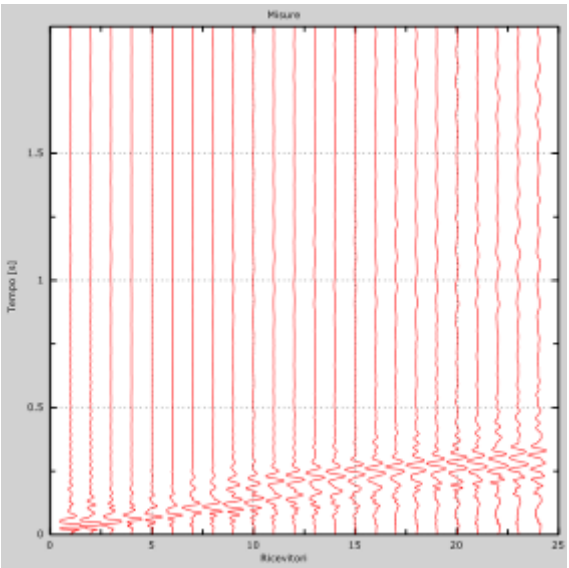


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

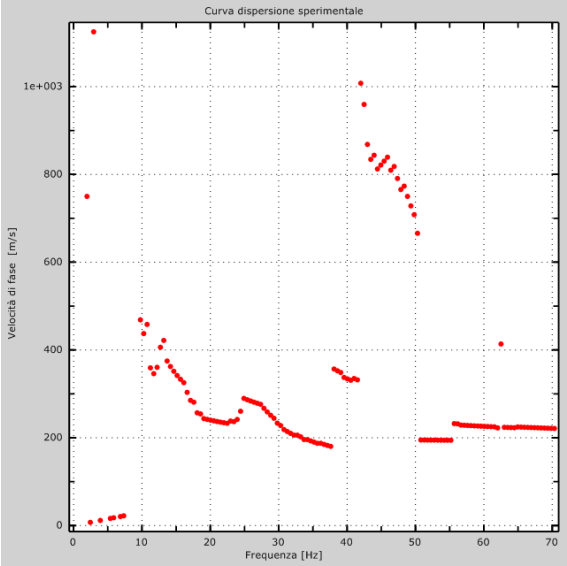


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Risultati delle analisi (tecnica passiva)

Numero di ricevitori.....12
Numero di campioni temporali 3.26787e-312
Passo temporale di acquisizione.....2ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi.....12
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 59998ms
I ricevitori non sono invertiti (l'ultimo ricevitore è l'ultimo per l'analisi)

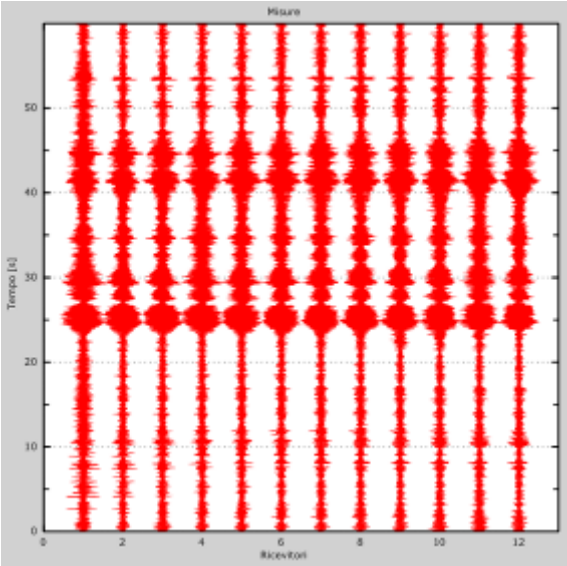


Figura 3: Tracce sperimentali

4 - Curva di dispersione

Tabella 1: Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
1.86867	752.053	691.036	813.07
9.62393	470.437	400.033	540.841
16.5676	308.508	256.878	360.137
22.5193	233.41	184.127	282.693

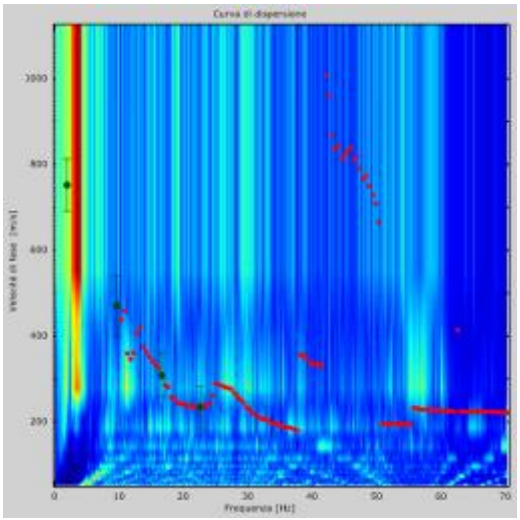


Figura 4: Curva di dispersione

5 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) 9
Spaziatura ricevitori [m] 1.5m
Numero ricevitori 24
Numero modi 1

Strato 1

h [m] 1
z [m] ..... -1
Densità [kg/m^3] 1708
Poisson 0.2
Vs [m/s] 230
Vp [m/s] 376
Vs min [m/s] 130
Vs max [m/s] 345

Strato 2

h [m] 3
z [m] ..... -4
Densità [kg/m^3] 1726
Poisson 0.2
Vs [m/s] 240
Vp [m/s] 392
Vs min [m/s] 130
Vs max [m/s] 360

Strato 3

h [m] 3
z [m] ..... -7
Densità [kg/m^3] 1869
Poisson 0.48
Vs [m/s] 330
Vp [m/s] 1683
Vs min [m/s] 171
Vs max [m/s] 495
Falda presente nello strato

Strato 4

h [m] 4
z [m] ..... -11
Densità [kg/m^3] 1883

Poisson.....0.48
Vs [m/s].....360
Vp [m/s].....1836
Vs min [m/s].....171
Vs max [m/s].....540
Falda presente nello strato

Strato 5

h [m].....4
z [m].....-15
Densità [kg/m^3].....2094
Poisson.....0.48
Vs [m/s].....480
Vp [m/s].....2448
Vs min [m/s].....261
Vs max [m/s].....720
Falda presente nello strato

Strato 6

h [m].....5
z [m].....-20
Densità [kg/m^3].....2084
Poisson.....0.48
Vs [m/s].....510
Vp [m/s].....2600
Vs min [m/s].....261
Vs max [m/s].....765
Falda presente nello strato

Strato 7

h [m].....5
z [m].....-25
Densità [kg/m^3].....2084
Poisson.....0.48
Vs [m/s].....510
Vp [m/s].....2600
Vs min [m/s].....261
Vs max [m/s].....765
Falda presente nello strato

Strato 8

h [m].....6
z [m].....-31
Densità [kg/m^3].....2294
Poisson.....0.48
Vs [m/s].....520
Vp [m/s].....2651
Vs min [m/s].....261
Vs max [m/s].....780
Falda presente nello strato

Strato 9

h [m].....0
z [m]..... -oo
Densità [kg/m^3].....2568
Poisson.....0.48
Vs [m/s].....780
Vp [m/s].....3977
Vs min [m/s].....418
Vs max [m/s].....1170
Falda presente nello strato

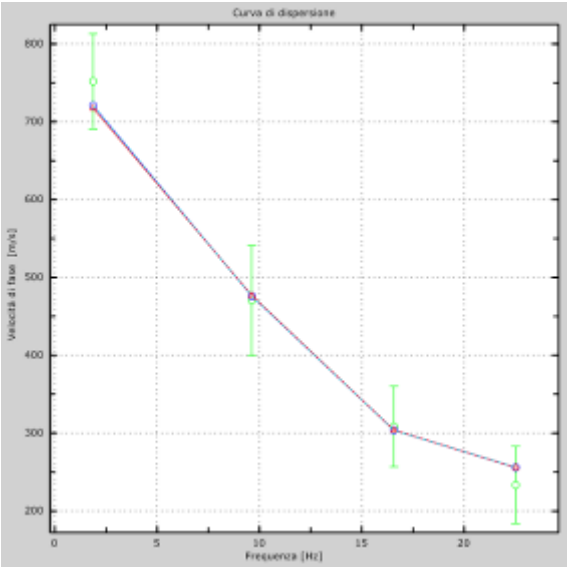


Figura 5: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

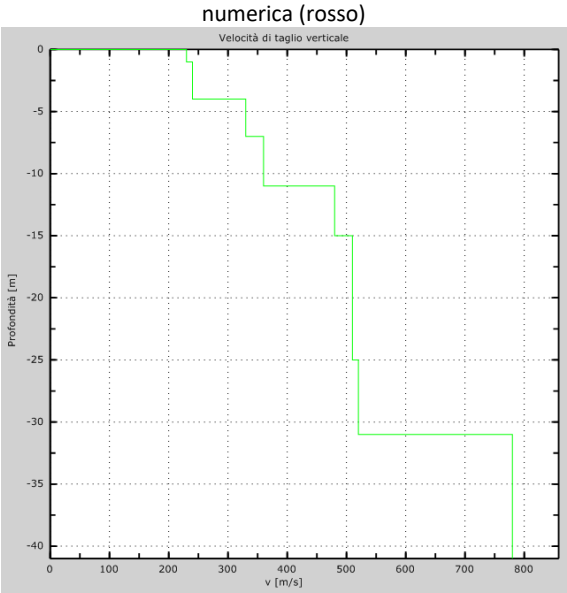


Figura 6: Profilo Vs numerico

6 - Risultati finali

La normativa applicata è il D.M. n°8 del 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni".

Piano di riferimento z=0 [m].....0

L'unità geotecnica dello strato rigido non è stata rilevata entro 30 metri di profondità dal piano di riferimento.

Le caratteristiche meccaniche degli strati migliorano con la profondità.

Vs equivalente [m/s].....402

Tipo di suolo .....B

La definizione della categoria di sottosuolo si basa sull'ipotesi di piano di riferimento a 0 m, da verificare in fase di progettazione esecutiva in funzione dell'effettivo piano di imposta delle fondazioni.

Il fattore di amplificazione topografica risulta compreso nella categoria T1 " St=1.0

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

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

Amplificazione stratigrafica

Tab. 3.2.IV – *Espressioni di S_S e di C_C*

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1{,}00 \le 1{,}40 - 0{,}40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}20$	$1{,}10 \cdot (T_C^*)^{-0{,}20}$
C	$1{,}00 \le 1{,}70 - 0{,}60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}50$	$1{,}05 \cdot (T_C^*)^{-0{,}33}$
D	$0{,}90 \le 2{,}40 - 1{,}50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}80$	$1{,}25 \cdot (T_C^*)^{-0{,}50}$
E	$1{,}00 \le 2{,}00 - 1{,}10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}60$	$1{,}15 \cdot (T_C^*)^{-0{,}40}$

Condizioni topografiche

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Amplificazione topografica

Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

10. VITA NOMINALE DI PROGETTO, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

VITA NOMINALE

La vita nominale V_N dell'opera in progetto ricade nel 2° tipo "Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari".

Tab. 2.4.I – *Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

	TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

CLASSE D'USO

Le opere in progetto ricadono nella classe d'uso III.

PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Il periodo di riferimento V_R per le costruzioni in progetto risulta $V_R = V_N * C_U$

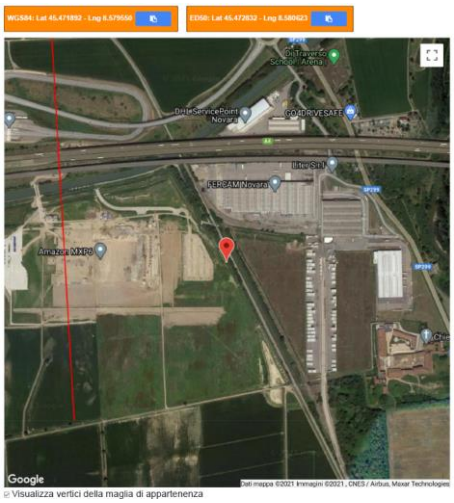
Tab. 2.4.II – *Valori del coefficiente d'uso C_U*

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

C_U per la Classe d'uso III corrisponde a 1.5, da cui discende $V_R \geq 75$ anni.

11. STIMA DEI PARAMETRI SISMICI

I parametri simici locali e di sito sono stati ricavati con Geostru Ps.



Visualizza vertici della maglia di appartenenza

Stati limite

Classe Edificio

III. Affollamento significativo...

Vita Nominale	50
Interpolazione	Media ponderata

CU = 1.5

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	45	0.017	2.505	0.168
Danno (SLD)	75	0.021	2.558	0.180
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.041	2.633	0.289
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.048	2.687	0.311
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1

us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo	B
Cat. Topografica	T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,57	1,55	1,41	1,39
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.004	0.005	0.010	0.012
kv	0.002	0.003	0.005	0.006
Amax [m/s²]	0.203	0.249	0.480	0.565
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

12. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

La normativa prevede che per il sito di costruzione sia verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica sia prossima alla superficie ed il terreno comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine. E' comunque da sottolineare che la verifica può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

1. *accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0.1g;*
2. *profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub- orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
3. *depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60>30 oppure qc1N>180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;*
4. *distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5.*

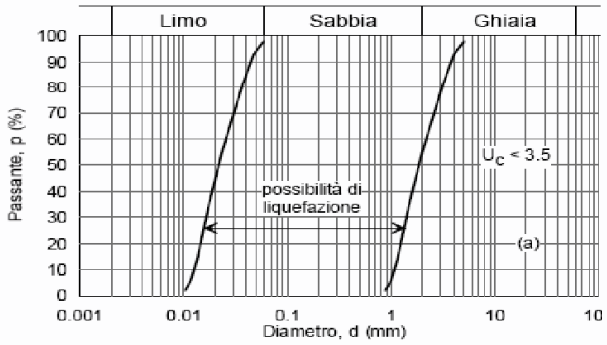


Fig. 7.11.1(a)

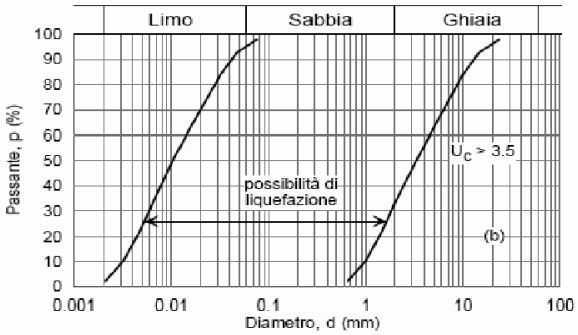


Figura 7.11.1 – *Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.*

Qualora la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Relativamente al punto 1, considerando i parametri sismici sopra rappresentati, per il sito in esame è stato ricavato un valore (SLC) di a_{max} di 0.565 m/s^2 che va diviso per il valore di g, pari a 9.81 m/s^2: la condizione ag<0.1g risulta verificata.

13. CONCLUSIONI

Sulla base dei dati ricavati dalle indagini geognostiche, si possono trarre le seguenti considerazioni:

1. le indagini geognostiche hanno permesso di ricostruire un Modello geologico che ha evidenziato la presenza, nella porzione di sottosuolo di interesse, di 2 livelli principali di sedimenti incoerenti con buone caratteristiche geotecniche, coperti da un terzo livello costituito da sedimenti sabbioso ghiaiosi da sciolti a poco addensati e da una coltre di depositi di riporto, legata alla costruzione della nuova pista ciclabile.
2. la falda freatica, sulla base delle misurazioni disponibili, si attesta a quote medie di circa 2-2.5 m con possibilità di risalite sino a profondità di circa 1.0-1.5 m da p.c. in concomitanza con eventi meteorici prolungati ed intensi e portate di piena del reticolo idrico principale e minore; Nelle prove penetrometriche la falda è stata riscontrata a circa 3 m dalla sommità della pista ciclabile, in fregio al canale irriguo in condizioni di scarso adacquamento.
3. in base alla stratigrafia rilevata si indica che le opere di fondazione dovranno attestarsi sullo strato costituito da sabbia e ghiaia con ciottoli, posto a circa 2 metri di profondità, che presenta caratteristiche geotecniche molto buone.

Al termine delle considerazioni riassunte ai punti precedenti è possibile affermare che, alle condizioni sopra esposte, la realizzazione di quanto in progetto risulterà compatibile con l'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico locale, sia considerando il punto di vista geologico-tecnico sia circa la stabilità dell'area di prevista trasformazione.

Quanto in progetto andrà comunque realizzato a regola d'arte e tenendo sempre in preminente considerazione, in ogni fase e circostanza, la stabilità generale dell'area e dei manufatti esistenti. La validità delle ipotesi di progetto dovrà, comunque, essere verificata durante la realizzazione dei manufatti considerando, oltre ai dati raccolti in questa fase, anche quelli ottenuti con misure ed osservazioni nel corso dei lavori per adeguare, eventualmente, l'opera alle situazioni riscontrate.