

COMUNE DI CARPIGNANO SESIA (NO)



**ACQUA
NOVARA.VCO
S.p.A.**

Via Triggiani, 9 - 28100 NOVARA (NO)
Tel. 0321 413111 - Fax. 0321 458729
@mail: info@acquanovaravco.eu
@pec: segreteria@pec.acquanovaravco.eu

TITOLO COMMESSA:

ADEGUAMENTO DELL'IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI CARPIGNANO SESIA - VIA TORINO

OGGETTO:

Relazione geologica, geotecnica e analisi sismica

SCALA:

-

AVANZAMENTO PROGETTO:

Definitivo

DATA REV. N° 0:

Novembre 2022

REV. N°	MODIFICHE	DATA
1		
2		
3		
4		

RIF N° COMMESSA: W01N 10044152

CUP: D38B23000330005

**DIRETTORE TECNICO: ING. GIUSEPPE CARANTI
IL RUP: ING. GIUSEPPE CARANTI**

PROPRIETA' RISERVATA

**QUESTO DISEGNO NON PUO' ESSERE RIPRODOTTO NE' COMUNICATO A TERZI SENZA
AUTORIZZAZIONE DI ACQUA NOVARA VCO s.p.a.**

IL PROGETTISTA

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI TRENTO
Angelo Cantatore
dott. ing. Angelo Cantatore
Ingegnere civile e ambientale, industriale e dell'informazione
Iscritto al N. 2532 d'Albo - Sezione A degli Ingegneri

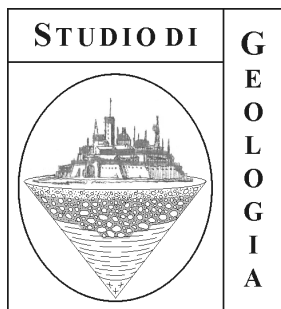


Via dei Palustei 16 - 38121 Trento (TN)
Tel. 0461 825966 - Fax: 0461 825966
web. www.etc-eng.it - e-mail: info@etc-eng.it

ELABORATO N°:

D-R-340-05





Dott. Geol. MATTIA BERTANI
Ordine dei Geologi del Piemonte n.588 Sezione A

Casale Tabuloni, 32 – 28021 Borgomanero (No)
tel. 0322 843722 – fax. 0322 060155 – cell. 349 1884498
e-mail: mattia.bertani@atdot.it – www.studiobertani.it
P.I. 01922860034

REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI NOVARA

COMUNE DI CARPIGNANO SESIA

Committente:	ACQUA NOVARA.VCO S.p.A. Via Triggiani, 9 – 28100 Novara
--------------	-------------------------------------------------------------------

Progetto:	Adeguamento impianto di depurazione di Via Torino
-----------	--------------------------------------------------------------

Elaborato:	RELAZIONE GEOLOGICA
------------	----------------------------

Riferimenti normativi:	Norme geologiche di P.R.G.C. Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) D.M. 17.01.2018 (§ 6.2.1) D.M. 11.03.1988
---------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Commessa rif.: 1034-21		File: carpignano_depuratore_geo.pdf
Rev.	Data emissione	Note
00	Ottobre 2021	

Il tecnico:

Dott. Geol. Mattia BERTANI




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.Inquadramento nel PGRA.....	3
1.4.Vincoli di tipo geologico.....	5
2.DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	5
3.CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....	5
3.1.Evoluzione geomorfologica in atto e vulnerabilità geomorfologica.....	6
4.CARATTERISTICHE GEOLOGICHE.....	6
5.CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE ED IDROLOGICHE.....	6
6.CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE E LITOSTRATIGRAFICHE.....	7
6.1.Caratteristiche idrogeologiche del territorio e permeabilità dei terreni.....	7
6.2.Caratteristiche litostatigrafiche del sottosuolo.....	8
6.3.Caratteristiche del deflusso idrico sotterraneo.....	9
6.3.1.Oscillazioni falda superficiale.....	10
6.3.2.Vulnerabilità della falda superficiale.....	10
7.CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E DI ADDENSAMENTO DEI TERRENI.....	11
7.1.Sondaggio a carotaggio continuo.....	11
7.2.Piezometro.....	12
7.3.Modello geologico-tecnico del primo sottosuolo.....	12
7.3.1.Caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni.....	12
7.3.2.Attribuzione parametri geologico-tecnici fondamentali.....	15
7.3.3.Attribuzione valori caratteristici dei parametri geologico-tecnici.....	15
8.CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO.....	17
8.1.Ubicazione sismica.....	17
8.2.Pericolosità sismica di base.....	18
8.3.Analisi di risposta sismica locale del sito.....	19
8.3.1.Determinazione del profilo verticale della velocità delle onde di taglio.....	19
8.3.2.Amplificazione stratigrafica.....	21
8.3.3.Amplificazione topografica.....	21
8.3.4.Definizione dell'accelerazione massima attesa in superficie.....	22
8.3.5.Spettri di risposta elastici.....	22
8.4.Sicurezza nei confronti della liquefazione.....	23
9.GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO.....	23
10.CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE CONCLUSIVE SUGLI INTERVENTI IN PROGETTO E INCERTEZZE DEL MODELLO.....	24

TAVOLE:

- Tavola 1: Corografia – scala 1:10.000;
- Tavola 2: Inquadramento geologico e geomorfologico – scala 1:10.000;
- Tavola 3: Idrografia e inquadramento idrogeologico – scala 1:10.000;
- Tavola 4: Ubicazione indagini in sito – scala 1:200.

ALLEGATI:

- Allegato 1: Estratto Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica di PRGC – scala 1:5.000;
- Allegato 2: Sondaggio a carotaggio continuo;
- Allegato 3: Report stendimento sismico MASW.

Premessa

Il presente studio ha la finalità di analizzare la fattibilità geologica degli interventi di adeguamento dell'impianto di depurazione di Carpignano Sesia (No), in Via Torino.

Per la sua stesura 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 e l'assetto litostratigrafico locale;
- 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 del sito;
- o la modalità di gestione delle terre e rocce da scavo prodotte in cantiere;
- 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

L'area d'intervento è ubicata nel settore orientale del territorio comunale di Carpignano Sesia (No), circa 600 m in sponda idrografica sinistra al corso del Fiume Sesia, 200 m più a Sud di Via Torino, alle seguenti coordinate geografiche medie (tav. 1):

- WGS84: lat. 45,529438° long. 8,404588°;
- ED50: lat. 45,530378° long. 8,405666°.

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 (all. 1), l'area d'intervento appartiene alla *“Classe II di idoneità geomorfologica all'utilizzazione urbanistica”*, che individua *“porzioni di territorio nelle quali le condizioni di moderata 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”*.

E in particolare appartiene alla *“sottoclasse IIb”*, che individua *“area prossima al corso d'acqua principale con possibilità di allagamenti in caso di laminazione di piene eccezionali (acqua dotate di bassa energia ed altezze < 40 cm)”*.

Per queste particolari aree si rende necessario un approfondimento dell'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. Inquadramento nel 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 ed approvato con D.G.R. 14.12.2015 n.8-2588 e s.m.i..

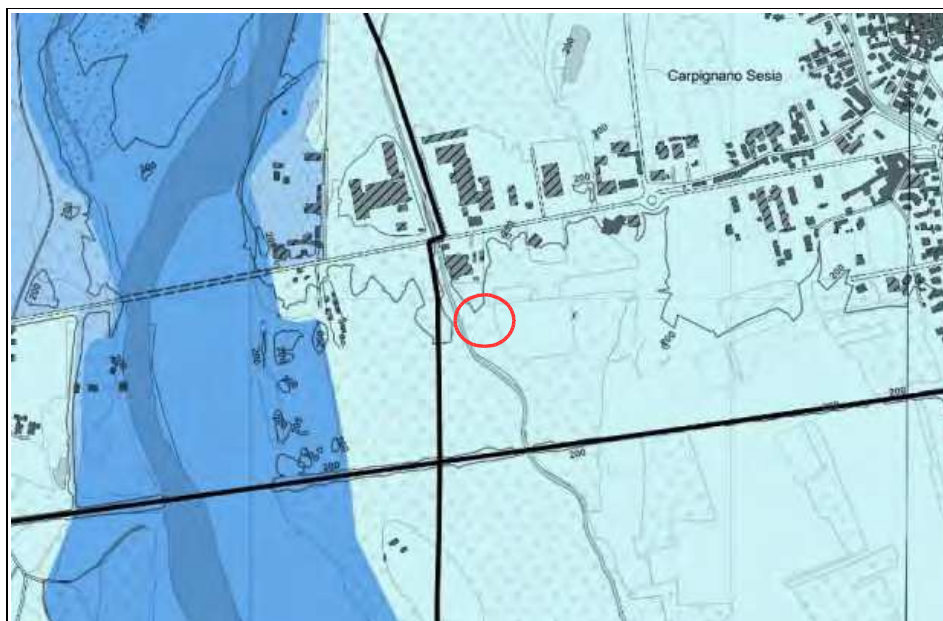
Il PGRA ha la finalità di ridurre le conseguenze negative derivanti dalle alluvioni per la salute umana, il territorio, il paesaggio, i beni culturali, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche.

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 della *“Carta della pericolosità da alluvione”* relativa ai corsi d'acqua del reticolo principale, del reticolo idrografico secondario e dei conoidi (rif. Tavola 116 NW alla scala 1:25.000), della quale è stato riportato di seguito un estratto (fig. 1.1), si evince come per parte del settore d'intervento sia stata evidenziata una *“probabilità di alluvione scarsa”*, relativa cioè ad un Tempo di Ritorno di 500 anni (L-Rara), riconducibile all'appartenenza del sito alla Fascia C di esondazione del Fiume Sesia.

La *“Carta del rischio da alluvione”*, come si evince dall'estratto di fig. 1.2, attribuisce all'area di interesse un rischio moderato (R1), dato dall'intersezione tra la Classe di pericolosità L-Rara e le Classi di danno D1 e D2 nella matrice di valutazione del rischio.

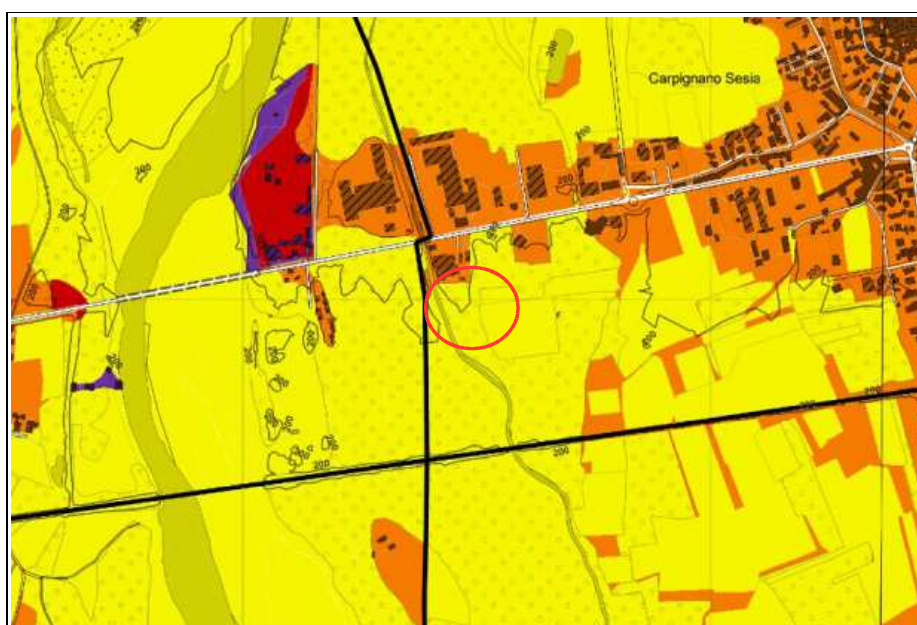
Acqua Novara.VCO S.p.A.
Adeguamento impianto di depurazione di Via Torino, a Carpignano Sesia (No)
Relazione geologica



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)

*Fig. 1.1 – Estratto Tavola 116 NW del PGRA – Carta della pericolosità da alluvione;
l'area d'intervento è stata evidenziata con il cerchio rosso.*



Scenari di rischio

- R1 - Rischio moderato
- R2 - Rischio medio
- R3 - Rischio elevato
- R4 - Rischio molto elevato

		Classi di Danno			
Classi di Pericolosità		D1	D2	D3	D4
	L	R1	R1	R2	R2
	M	R1	R2	R3	R4
	H	R1	R3	R4	R4

*Fig. 1.2 – Estratto Tavola 116 NW del PGRA – Carta del rischio da alluvione;
l'area di interesse è evidenziata con il cerchio rosso.*

Le modalità di recepimento dei contenuti del PGRA vengono normate, per gli ambiti relativi al reticolo idrografico principale già interessato dalle fasce fluviali del PAI come per il Fiume Sesia, dal p.to 2.1 della D.G.R. 23.11.2018 n.17-7911 *“Modifica dell'Allegato 1 alla DGR 30 luglio 2018, n. 25-7286 recante Disposizioni regionali riguardanti l'attuazione del Piano di gestione rischio alluvioni (PGRA) nel settore urbanistico (art. 58 Norme di Attuazione PAI, integrate dal Titolo V), le attività per i comuni non ancora adeguati al PAI e l'aggiornamento del quadro del dissesto a seguito di eventi calamitosi”*.

In questo punto, dopo aver precisato che per la delimitazione della aree di pericolosità sono state utilizzate le fasce fluviali individuate dal P.A.I., viene normato che vi è *“corrispondenza”* della componente idraulica tra la delimitazione della fascia C con le aree L (P1), e che in questo caso, come nella specifica situazione, valgono le disposizioni di cui al comma 4 dell'art. 31 delle norme del PAI (*“competete agli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti”*), e occorre quindi riferirsi alle Norme di Attuazione di PRGC.

1.4. Vincoli di tipo geologico

Dall'esame delle tavole dello studio geologico di PRGC si evince come l'area di intervento appartenga alla Fascia C di esondazione del Fiume Sesia, relativa ad eventi alluvionali di tipo catastrofico, con tempo di ritorno di 500 anni.

Il sito è invece esterno alle aree di salvaguardia di opere di captazione idropotabile, definite ai sensi del D.Lgs. 152/06 e della D.G.R. 11.12.2006 n.15/R e s.m.i., e alle porzioni di territorio sottoposte a vincolo idrogeologico ai sensi del R.D.L. 3267/1923.

2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Gli interventi in progetto consisteranno nell'adeguamento dell'impianto di depurazione con la posa di nuovi manufatti in c.a. (n°2 vasche imhoff e degrassatore), con profondità massima di progetto di circa 2,5-3 m dal p.c. attuale.

Le specifiche tecniche delle opere, così come definite dal Progettista e dalla Committenza, sono riportate nella tabella seguente (tab. 2.1).

Tipo di costruzione	Tipo 2
Vita Nominale (V_N)	50 anni
Classe d'uso (C_U)	Classe II
Periodo di riferimento per l'azione sismica (V_R)	50 anni

Tab. 2.1 – Specifiche tecniche delle opere (§ 2.4 NTC).

3. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

L'area d'intervento è situata nella porzione orientale della piana alluvionale del Fiume Sesia, e la sua 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. In particolare la morfologia dell'area di studio è da attribuirsi all'azione delle enormi fiumane che si sono originate dallo scioglimento dei ghiacci: i depositi glaciali di ablazione furono presi in carico dalle acque di scioglimento della fronte del ghiacciaio e trasportati più a valle, con la formazione di tipici depositi fluvioglaciali. All'azione erosiva di queste fiumane si deve l'origine dei vasti sistemi terrazzati che digradano in modo non sempre ben definito verso il corso del Fiume Sesia nelle porzioni più marginali della valle.

Dall'esame della carta geomorfologica (tav. 2) è possibile osservare come l'area d'intervento si collochi ad una quota di circa 199 m s.l.m. (dato da BDTRE), in un settore prevalentemente pianeggiante, dove si rileva a grande scala una debole pendenza verso Sud-Ovest.

Questo settore, a vocazione agricola, è privo di elementi geomorfologici di rilievo, al di fuori dei numerosi cavi irrigui, tra cui si citano la Roggia Biraga, dove vengono scaricate le acque del depuratore dopo il loro trattamento, e la Roggia Busca, e dei numerosi fossi di scolo delle acque.

3.1. Evoluzione geomorfologica in atto e vulnerabilità geomorfologica

La tenenza evolutiva del sito d'intervento è strettamente connessa con la dinamica fluviale del Fiume Sesia, che può dare origine a fenomeni di esondazione a seguito di eventi meteorici intensi e/o prolungati. Il sito, come detto, è compreso nella Fascia C di esondazione, così come definita dal P.A.I., e pertanto può essere interessato da problematiche di tipo idraulico durante eventi eccezionali di tipo catastrofico. Un'ulteriore problematica è dettata dalla presenza di una falda periodicamente a bassa soggiacenza.

4. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

Per redigere l'inquadramento geologico generale dell'area di studio è stata visionata una numerosa documentazione, tra cui il Foglio 44 "Novara" (1967) della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.

Le formazioni geologiche affioranti nell'area di studio sono essenzialmente di origine alluvionale quaternaria, una situazione comune a tutta la pianura del novarese 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 di natura fluvioglaciale e fluviale.

In particolare, come si evince dall'esame della cartografia di Tavola 2, in corrispondenza dell'area di intervento affiorano depositi alluvionali fluvioglaciali del Pleistocene Superiore, costituiti da un complesso omogeneo di ghiaie da non alterate a debolmente alterate con una sottile copertura limoso-argillosa brunastra, e sabbie, talvolta con lenti sabbioso-argillose, in aumento spostandosi verso Sud. Diffusa la presenza di ciottoli, anche di diametro rilevante.

In corrispondenza dell'alveo del Fiume Sesia affiorano invece depositi alluvionali ghiaioso-ciottolosi, recenti e attuali, con locali depositi a prevalente composizione sabbiosa.

5. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE ED IDROLOGICHE

Nell'area di interesse l'elemento idrografico superficiale più rilevante è costituito dal Fiume Sesia, il cui corso scorre ad una distanza di circa 600 m più ad Ovest. Nasce dai ghiacciai di Bors, delle Piode e delle Vigne, che si estendono sul versante Sud-Est del Monte Rosa, a circa 2.500 m s.l.m.; per circa 41 km, fino a Varallo Sesia, scorre nella Val Grande con direzione Ovest-Est, e dopo ulteriori 24 km dove la direzione di scorrimento diventa Nord-Sud sbocca in pianura, presso Romagnano Sesia. In pianura, poco a monte di Vercelli, confluisce il suo principale affluente, il Torrente Cervo, che con il Torrente Elvo raccoglie tutti i deflussi provenienti dalla zona pre-alpina del Biellese. Infine, dopo aver irrigato un esteso territorio mediante una fitta rete di canali artificiali, sfocia nel Fiume Po, dopo un percorso complessivo di circa 138 km.

Questo corso d'acqua, a carattere prevalentemente torrentizio, è soggetto a forti variazioni di portata in diretta connessione con gli eventi climatici, e può raggiungere portate massime anche molto ingenti. Nel suo tratto iniziale è caratterizzato da una pronunciata instabilità dell'alveo che determina in più punti condizioni di erosione spondale o di sovralluvionamento. In corrispondenza del tratto di interesse, il suo alveo è ampio diverse centinaia di metri ed ha buone possibilità di divagazione; in diversi punti diventa di tipo ramificato, con rami secondari sviluppati principalmente in destra. Rilevante è la presenza di depositi di materiale d'alveo, costituiti da barre longitudinali e trasversali, di natura sabbiosa, ed isolotti anche vegetati.

Dalla visione degli elaborati di PRGC e del PGRA si evince come l'area d'intervento appartenga alla fascia C di esondazione, e pertanto possa essere raggiunta da acque con bassi battenti ed energia, durante eventi alluvionali con tempo di ritorno di 500 anni.

Da segnalare anche la presenza, immediatamente ad Ovest dell'impianto, della Roggia Biraga

(denominata sulla BDTRE “*Canale di Carpignano*”), dove recapitano le acque depurate in uscita dall'impianto, e della Roggia Busca circa 1 km più ad Est, verso il centro abitato.

Dall'analisi della Carta degli eventi alluvionali di PRGC, relativa all'evento eccezionale del 1968, della quale è stato riportato un estratto in fig. 5.1, si evince come il sito d'intervento sia almeno parzialmente inondabile per apporto del corso d'acqua principale. Le analisi morfologiche dell'alveo, inoltre, permettono di attribuire a tutto questo settore un'area di divagazione del corso del Fiume Sesia.

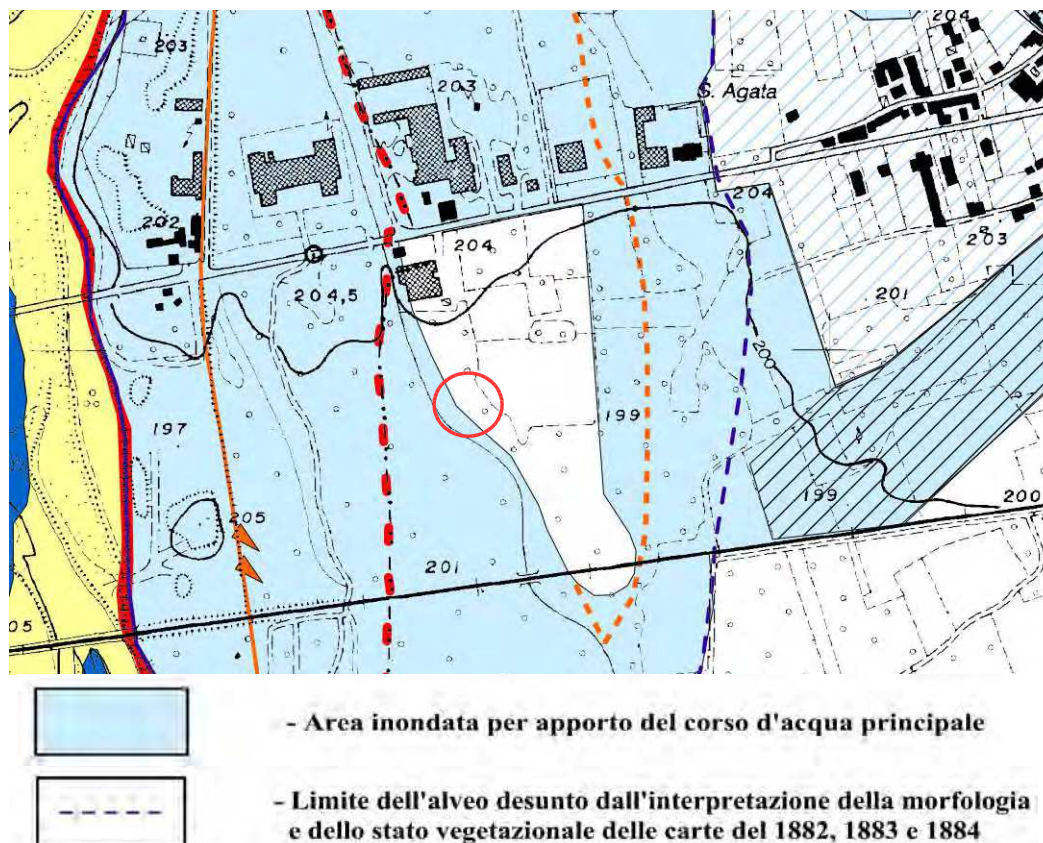


Fig. 5.1 – Estratto Carta degli eventi alluvionali di PRGC; l'area d'intervento è stata evidenziata con il cerchio rosso.

6. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE E LITOSTRATIGRAFICHE

6.1. Caratteristiche idrogeologiche del territorio e permeabilità dei terreni

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 e studio geologico di PRGC), i depositi affioranti nell’area di studio appartengono alla Serie dei Depositi Continentali (Olocene – Pleistocene inf.), e in particolare al complesso idrogeologico dei depositi fluviali-fluvioglaciali del Würm-Riss, formato 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 alluvionale del Fiume Sesia e rappresenta il livello fondamentale della pianura. Si estende in profondità per circa 45 m, 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 il *Complesso dei depositi fluviali-fluvioglaciali del Würm-Riss* poggia sul *Complesso dei Depositi Villafranchiani* (Serie dei Depositi di Transizione, Pliocene medio – Pleistocene inferiore), costituito da depositi di ambiente da fluviolacustre 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 (oltre i cinquanta

metri).

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 struttura profonda del sottosuolo è quella di un bacino subsidente di età terziaria, costituito da terreni miocenici a ondulazioni vaste e appena accennate. Su questi si sono depositate le facies marnoso-gessose del Messiniano, facenti da tramite ai sedimenti collegati alla trasgressione pliocenica che spinse le acque marine sino all'imbocco delle antiche valli alpine. Da un punto di vista idrogeologico la pianura del novarese costituisce un settore piuttosto omogeneo, delimitato verso Ovest e verso Est da due alti strutturali sepolti, il primo situato in corrispondenza del corso della Dora Baltea, e il secondo poco più ad Est della sponda lombarda del Fiume Ticino.

Per la ricostruzione delle caratteristiche litostratigrafiche del primo sottosuolo è possibile fare riferimento allo schema litostratigrafico di PRGC (rif. All.6), riportato in fig. 6.1, dal quale si evince la seguente sequenza, a partire dal piano campagna:

- uno strato superficiale con spessore di una decina di metri circa, formato da ghiaie e ciottoli;
- un orizzonte di materiali a granulometria più fine (sabbie fini, limi e argille), con spessore di circa una decina di metri;
- depositi sabbioso-ghiaiosi, con frazione fine piuttosto ridotta, che si impostano fino alla profondità di circa una cinquantina di metri, dove vi è la base impermeabile dell'acquifero superficiale;
- più in profondità depositi sabbiosi prevalentemente impermeabili, intervallati a strati permeabili (acquifero multifalda).

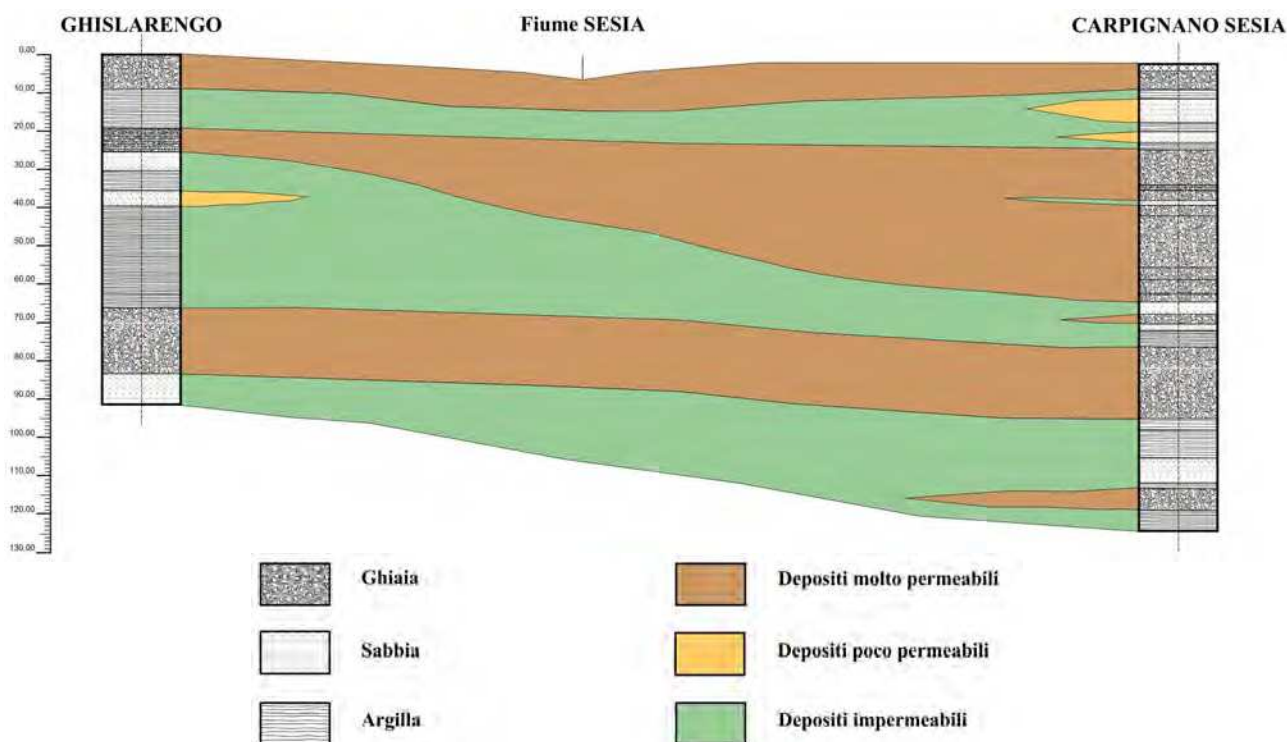


Fig. 6.1 – Schema litostratigrafico di PRGC (rif. All.6).

6.3. Caratteristiche del deflusso idrico sotterraneo

Come si può evincere dalle considerazioni espresse nel paragrafo precedente, in corrispondenza dell'area d'intervento si imposta sia una falda superficiale che una falda profonda, che presentano due distinte dinamiche di deflusso.

La falda superficiale è di tipo freatico, ha un flusso piuttosto ricco e risulta spesso sfruttata a fini soprattutto industriali, agricoli e domestici. Dall'esame dello studio idrogeologico della Regione Piemonte (2005), riportati in Tavola 3, si evince una direzione di deflusso sotterraneo principalmente NNE-SSW, con gradienti medi dello 0,5% e valori di soggiacenza medi di circa 4 m dal p.c..

Per disporre di dati più sito specifici si è fatto riferimento al rilievo freaticometrico riportato nello studio idrogeologico di PRGC, del quale è stato riportato un estratto in fig. 6.2, dove viene confermato l'andamento del deflusso indicato nello studio a scala regionale, e fornito un valore di soggiacenza di circa 3 metri.

Durante l'esecuzione delle indagini in sito, in data 20.09.2021, è stato misurato un valore sito specifico di soggiacenza di soli 2,65 m dal p.c..

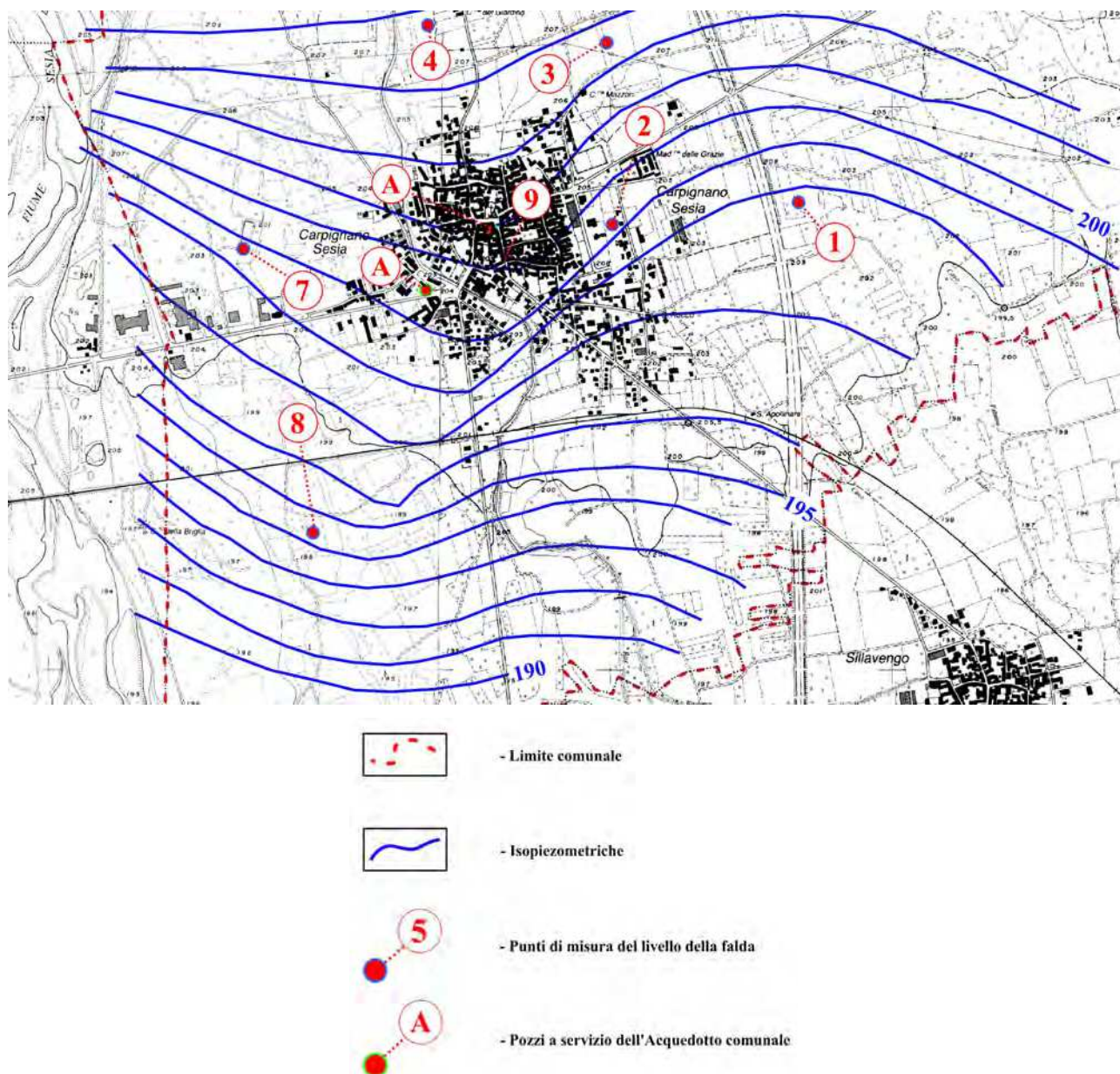


Fig. 6.2 – Estratto Carta delle isopiezometriche di PRGC (rif. Tav. ATG07).

La falda profonda è di tipo semipermeabile, ed è formata da più falde che si impostano nei depositi ghiaioso-sabbiosi intervallati dai setti poco permeabili, in diverso rapporto tra di loro. Viene sfruttata generalmente da pozzi idropotabili di interesse pubblico, e risulta nettamente distinguibile dalla falda superficiale, presentando livelli piezometrici distinti, anche se con andamento sostanziale coerente.

6.3.1. Oscillazioni falda superficiale

Il valore di soggiacenza della falda superficiale è fortemente influenzato dall'andamento del regime pluviometrico, dalle portate di deflusso dei principali corsi d'acqua, e soprattutto dall'andamento della stagione irrigua con cospicui apporti nei campi coltivati a risaia. Statisticamente i valori massimi (livello idrico basso) si verificano tra agosto e settembre, e i valori minimi (livello idrico alto) tra marzo e aprile; inoltre negli ultimi anni si rileva una generale tendenza all'innalzamento della falda.

Data l'assenza nelle vicinanze di punti di misura accessibili della falda, il sondaggio eseguito in sito a fini geognostici è stato successivamente attrezzato a piezometro, e consentirà di eseguire, se necessario, un monitoraggio della falda, così da programmare meglio i lavori.

6.3.2. 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 superficiale un Indice G.O.D. pari a 0,72, che identifica un alto grado di vulnerabilità.

parametro	valore	punteggio
G	acquifero non confinato	1,000
O	ghiaie e sabbie	0,800
D	soggiacenza inferiore a 5 metri	0,900
Indice G.O.D. = G x O x D		0,720

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

7. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E DI ADDENSAMENTO DEI TERRENI

I terreni naturali affioranti in corrispondenza del sito d'intervento, come evidenziato al cap. 4, sono costituiti dai depositi fluvioglaciali del Pleistocene Superiore, a prevalente componente ghiaioso-ciottolosa, ai quali sono stati sovrainposti depositi fluviali più recenti legati alla dinamica fluviale del vicino Fiume Sesia, dove possono comparire anche litotipi essenzialmente sabbiosi o sabbioso-limosi.

Per indagare nel dettaglio le caratteristiche litologiche e di addensamento dei terreni che formano il primo sottosuolo sono state eseguite le seguenti indagini in sito, con ubicazione riportata in Tavola 4:

- un sondaggio a carotaggio continuo della profondità di 12 m dal p.c., con prelievo di campioni e n°2 analisi granulometriche di laboratorio;
- n°8 prove S.P.T. in foro di sondaggio;
- installazione in corrispondenza del foro di sondaggio di un piezometro da 3" per la misura e il monitoraggio della falda.

7.1. Sondaggio a carotaggio continuo

Il sondaggio a carotaggio continuo è stato eseguito con perforazione a rotoperussione e carotiere del diametro di 131 mm, spinto fino alla profondità di 12 m dal p.c..

Durante le attività è stato compilato il modulo stratigrafico riportato in Allegato 2, unitamente alla documentazione fotografica sulle cassette catalogatrici delle carote estratte.

La stratigrafia semplificata è riportata in tab. 7.1, dove è stata utilizzata la terminologia descrittiva ASTM (*American Standard for Testing and Materials*) e la classificazione U.S.C.S. (Unified Soil Classification System). Per la descrizione ci si è serviti anche dei risultati delle analisi granulometriche di laboratorio condotte sui seguenti campioni prelevati:

- campione C1 prelevato all'intervallo stratigrafico 3,5-4,0 m: ghiaia 71,11% (ghiaia grossolana 52,34%), sabbia 25,5%, limo 2,92% e argilla 0,47%; Cu = 65,0 e Cc = 2,3;
- campione C2 prelevato all'intervallo stratigrafico 7,0-7,4 m: sabbia 60,75% (sabbia media 23,38%), ghiaia 24,12%, limo 11,83% e argilla 3,30%; limite liquido 17%.

Sulle carote estratte, dove la coesione dei litotipi lo ha consentito, sono state eseguite misure speditive con penetrometro e scissometro manuali.

Durante l'esecuzione del sondaggio sono state eseguite, per indagare lo stato di addensamento dei terreni, n° 8 prove S.P.T. (*Standard Penetration Test*).

La prova standardizzata consiste nel misurare la resistenza alla penetrazione di un campionatore sotto il peso di un maglio da 63,5 kg lasciato cadere liberamente da 76 cm. L'energia indotta dal maglio viene trasmessa al campionatore per mezzo di una batteria d'aste. Nel caso di terreni composti prevalentemente da ghiaia con anche granulometria di diametro maggiore rispetto a quello del tubo campionatore, questo viene sostituito da una punta conica con apertura di 60°.

Durante la prova vengono annotate le seguenti misure:

- N_0 : numero di colpi necessari per una prima infissione dinamica di 15 cm;
- N_1 : numero di colpi necessari per una seconda infissione dinamica di 15 cm;
- N_2 : numero di colpi necessari per una terza infissione dinamica di 15 cm.

Il valore N_{SPT} , riferito ad una infissione di 15+15 cm (30 cm), è dato dalla seguente somma:

$$N_{SPT} = N_1 + N_2$$

Da questo valore si ricava un'indicazione sullo stato di addensamento dei terreni. La prova si considera conclusa ("*a rifiuto*") quando uno dei valori misurati (N_0 - N_1 - N_2) raggiunge i 50 colpi.

I risultati emersi dal sondaggio sono riportati nella tabella seguente (tab. 7.1).

S1			
Profondità dal p.c.	Caratteristiche litologiche	Probabile classificazione USCS	Stato di addensamento/consistenza
0,0 – 6,0	Ghiaia con sabbia debolmente limosa, con presenza di ciottoli	GW	mediamente addensato (Nspt,medio=12)
6,0 – 6,4	Sabbia limoso-argillosa non plastica	SM/ML	mediamente addensata/consistente (Nspt=13)
6,4 – 6,6	Sabbia limoso-argillosa debolmente plastica	SM/ML	mediamente consistente
6,6 – 6,9	Argilla limosa mediamente plastica	CL/CH/SM/ML	mediamente consistente
6,9 – 7,9	Sabbia limosa con ghiaia non plastica	SM	addensata/consistente (Nspt=33)
7,9 – 8,5	Sabbia limoso-argillosa non plastica	SM	addensata/consistente
8,5 – 9,0	Sabbia con ghiaia e ciottoli	SW/GW	addensata
9,0 – 9,6	Sabbia limosa con ghiaia	SW	mediamente addensata/consistente (Nspt=27)
9,6 – 10,6	Sabbia limosa	SM	mediamente addensata
10,6 – 11,3	Sabbia limoso-argillosa non plastica	SM/ML	addensata/consistente (Nspt=46)
11,3 – 12,0	Sabbia limoso-argillosa mediamente plastica	SM/ML	addensata/consistente (Nspt=36)

Tab. 7.1 – Stratigrafia semplificata sondaggio S1.

7.2. Piezometro

In corrispondenza del foro di sondaggio è stato installato, per la profondità di 6 m dal p.c., un piezometro in PVC a tubo aperto con diametro di 3", microfessurato negli ultimi 5 m, con contestuale formazione nell'intercapedine del dreno e della cementazione sommitale per il primo metro, e seguente sviluppo e spurgo. La testa del piezometro è stata protetta da un chiusino carrabile.

L'installazione del piezometro ha permessa di rilevare in data 20.09.2021 la falda superficiale a una profondità certa di 2,65 m dal p.c., e potrà consentire ulteriori misurazioni, se necessarie alla programmazione dei lavori.

7.3. Modello geologico-tecnico del primo sottosuolo

Correlando e schematizzando i risultati delle prove effettuate è stato elaborato il seguente modello geologico-tecnico del primo sottosuolo, a partire dal piano campagna:

- **Unità superficiale ghiaioso-sabbiosa** (da 0,0 a circa -6 m): terreno a principale componente ghiaioso-sabbiosa, con presenza di ciottoli, mediamente addensato ($N_{SPT,medio} = 12$) e riconducibile alle tipologie GW/SW della classificazione U.S.C.S..
- **Unità profonda sabbioso-limosa e argillosa** (da -6 m almeno fino alla massima profondità indagata di 12 m): depositi a principale componente fine, costituita da sabbia e, in percentuali ridotte, limo e argilla, mediamente addensati/consistenti ($N_{SPT,medio} = 31$) e riconducibili alle tipologie SM/ML della classificazione U.S.C.S..

7.3.1. Caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni

I risultati delle indagini condotte sono stati utilizzati per effettuare una caratterizzazione geologico-tecnica quantitativa dei terreni di fondazione. Di seguito vengono riportate le correlazioni e i metodi di calcolo adottati.

Elaborazione valori N_{SPT} misurati

I valori di N_{SPT} misurati durante le prove S.P.T. in foro sono stati successivamente corretti per un'efficienza standardizzata del 60% (N_{60}), seguendo la seguente equazione di Skempton (1986):

$$N_{60} = N_{SPT} \times C_E \times C_B \times C_S \times C_R$$

dove:

- C_E è un fattore correttivo per il rapporto di energia, dato dalla seguente equazione dove E_R è il rendimento del sistema di battitura secondo la norma ASTM D-4633-86:

$$C_E = E_R / 60$$

Per i sistemi a sganciamento automatico, come quello utilizzato, il valore di E_R è molto vicino o leggermente superiore al 60%, quindi generalmente si pone a favore di sicurezza $C_E = 1,0$ (Cestari, 1996);

- C_B è un fattore correttivo per il diametro del foro, e nel caso specifico vale $C_B = 1,0$;
- C_S è un fattore correttivo per il metodo di campionamento. Nel caso specifico è stato assunto un valore di $C_S = 1,0$;
- C_R è un fattore correttivo per la lunghezza delle aste, dipendente dalla profondità.

I valori di N_{60} sono stati infine normalizzati per la pressione litostatica efficace attraverso la seguente equazione:

$$N_{1(60)} = C_N \times N_{60}$$

dove C_N è il coefficiente di Liao & Whitman (1986) dato dalla seguente equazione dove σ'_v è la tensione litostatica efficace:

$$C_N = \sqrt{\frac{98,1}{\sigma'_v}}$$

Peso di volume

I pesi di volume naturale sono stati stimati da valori di letteratura riferiti alla presunta litologia dei terreni ed alle loro condizioni di saturazione (Bruschi 1980, Bowles 1982 e Lancellotta 1993), e con l'esperienza maturata in contesti analoghi situati in zone limitrofe.

Densità relativa

Una prima valutazione qualitativa sullo stato di addensamento può essere effettuata dall'analisi della seguente tabella proposta da Terzaghi e Peck (1967), basata sul valore di N_{SPT} .

N_{SPT}	Addensamento	Densità relativa [%]
0 – 4	molto sciolti	0 – 15
4 – 10	sciolti	15 – 35
10 – 30	mediamente addensati	35 – 65
30 – 50	addensati	65 – 85
> 50	molto addensati	85 – 100

Correlazione tra N_{SPT} e D_R Terzaghi e Peck (1967).

Un valore puntuale di D_R può invece essere ricavato dalla correlazione di Terzaghi e Peck (1967), rivista da Skempton (1986):

$$D_R = 100 \sqrt{\frac{N_{1(60)}}{60}}$$

Resistenza al taglio drenata

La capacità di un materiale granulare ad opporsi alla deformazione è nota come resistenza al taglio. Viene espressa comunemente dall'equazione di Coulomb (1973)

$$\tau = c + (\sigma - u) \cdot \tan \varphi$$

che lega la resistenza al taglio τ disponibile lungo una superficie di scorrimento al valore della tensione normale σ agente sul piano medesimo (al netto dell'eventuale spinta idrostatica u), ed al valore assunto da due parametri caratteristici del terreno stesso per un dato grado di addensamento: la coesione c e l'angolo di resistenza al taglio φ .

L'elevata componente sabbiosa dei depositi presenti permette di eseguire le analisi in termini di tensioni efficaci (φ' e c'), trascurando cautelativamente la componente coesiva ($c' = 0$), difficilmente determinabile.

I valori dell'angolo di resistenza al taglio di picco φ' sono stati determinati dalla media aritmetica dei due valori più cautelativi ottenuto dalle seguenti correlazioni, comunemente utilizzate in letteratura:

- correlazione di Peck-Hanson & Thornburn (1974):

$$\varphi' = 21,2 + 2,7 \sqrt{N_{60}}$$

- correlazione di Hatanaka e Uchida (1996):

$$\varphi' = 20 + \sqrt{15,4 N_{1(60)}} \quad \text{con} \quad \varphi'_{MAX} = 40^\circ$$

- correlazione di Wolff (1989):

$$\varphi' = 27,1 + 0,3 N_{1(60)} - 0,00054 N_{1(60)}^2$$

Per l'unità profonda ci si è riferiti anche alla correlazione di Meyerhof (1956), valida per sabbie fini e sabbie limose:

$$\varphi' = 19,8 + 4,38 \ln(N)$$

Per quanto concerne invece i valori di angolo di resistenza al taglio a volume costante φ_{cv} , che dipende principalmente dalla componente mineralogica del deposito, si è fatto riferimento a valori di letteratura (Lancellotta 2004, Bruschi 2010).

Resistenza al taglio non drenata

Data la presenza nell'Unità profonda di significative frazioni granulometriche limose e argillose, per questi depositi è stata fornita anche la resistenza al taglio non drenata (C_u), ottenuta dalla media delle misurazioni condotte con lo scissometro portatile sulle carote estratte durante il sondaggio.

Modulo elastico

Il modulo elastico (di Young) può essere ricavato, in assenza di prove di laboratorio, da una media tra le correlazioni empiriche proposte dai seguenti autori, sulla base della diversa litologia dei depositi:

- correlazioni proposte da Bowles (1991), sulla base dei valori N_{60} convertiti in N_{55} ;
- correlazioni proposte da AASHTO (1996), sulla base dei valori $N_{1(60)}$.

Il modulo elastico in condizioni non drenate relativo all'Unità profonda è stato stimato dalla seguente correlazione di Tomlinson con il valore caratteristico della resistenza al taglio non drenata, valida per terreni con OCR compreso tra 3 e 5 e indice di plasticità inferiore a 30:

$$E_u = 500 \times C_u$$

Modulo edometrico

La determinazione del modulo edometrico è stata ottenuta con la seguente correlazione con il valore del modulo elastico drenato:

$$E_d = \frac{E'(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$$

Coefficiente di Poisson

Il valore del Coefficiente di Poisson è stato ricavato dalle correlazioni fornite dall'A.G.I..

7.3.2. Attribuzione parametri geologico-tecnici fondamentali

Con le modalità descritte al paragrafo precedente è stato possibile assegnare ai terreni di fondazione i valori medi dei parametri geologico-tecnici fondamentali riportati nella tabella seguente (tab. 7.2) in termini di tensioni efficaci.

Unità geotecnica	Peso di volume		Densità relativa	Condizioni drenate			Resistenza al taglio non drenata		Modulo elastico		Modulo edometrico	Coefficiente di Poisson
	naturale	saturato		angolo di attrito		coesione efficace	picco	residua	drenato	non drenato		
				picco	volume costante							
γ_n [kN/m³]	γ_{sat} [kN/m³]	D_R [%]	φ' [°]	φ_{cv} [°]	c' [kPa]	C_u [kPa]	C_{uR} [kPa]	E' [MPa]	E_u [MPa]	E_d [MPa]	ν [ad]	
Superficiale (ghiaioso-sabbiosa) 0÷6 m dal pc	18	20	44	30	29	0	-	-	16	-	22	0,31
Profonda (sabbioso-limosa e argillosa) > 6 m dal pc	19	22	60	34	31	0	64	32	22	32	33	0,33

Tab. 7.2 – Caratteristiche geologico-tecniche medie dei terreni di fondazione.

7.3.3. Attribuzione valori caratteristici dei parametri geologico-tecnici

Nel presente paragrafo vengono determinati in via preliminare i valori caratteristici dei parametri geotecnici fondamentali dei terreni di fondazione, riferiti al volume geotecnico significativo interessato dalle nuove strutture.

Con il termine “valore caratteristico” si intende “una stima ragionata e cautelativa del valore medio del parametro nello stato limite considerato” (par. 6.2.2 NTC). Una stima corretta, secondo l'Eurocodice 7, è rappresentata dal “valore medio con una probabilità del 95% che il valore medio che governa l'insorgere di uno stato limite nel suolo sia più favorevole del valore caratteristico”. Questo valore, nel caso di opere che coinvolgono grandi superfici di rottura o in presenza di compensazione strutturale delle fondazioni (come nel caso di platee o plinti/travi collegati rigidamente tra di loro), corrisponde al 5° percentile del valore medio della distribuzione dei dati misurati.

Per la determinazione dei valori caratteristici dell'angolo di resistenza al taglio e del modulo elastico si è eseguita un'elaborazione statistica dei dati raccolti in sito durante la campagna di indagine, assumendo che la singola unità geotecnica sia assimilabile ad uno strato omogeneo da un punto di vista geomeccanico, dove i valori dei parametri geotecnici presentano fluttuazioni stocastiche attorno ad un valore medio o ad un trend.

Il valore caratteristico del parametro geotecnico considerato (X_k) è stato determinato, come suggerito nel *Quaderno 2* delle *Linee Guida NTC 08-Gruppo Interregionale Ordine dei Geologi*, mediante la seguente espressione (Frank et al., 2004):

$$X_k = X_{mean} (1 - K \cdot s)$$

in cui:

- X_{mean} è il valore medio aritmetico relativo ad una serie n di valori ottenuti da indagini eseguite sul volume di terreno interessato;
- K è la variabile dipendente dalla legge di distribuzione di Student e dalla probabilità di non

superamento adottata;

- s è il coefficiente di variazione COV , dato dal rapporto tra la deviazione standard della distribuzione e X_{mean} .

Per strati di terreno dove il parametro geotecnico considerato non mostra una significativa e sistematica variabilità in direzione orizzontale o con la profondità, senza la presenza di significative zone di terreno con proprietà più scadenti (coefficiente di variazione $COV < 10\%$ per φ' e $COV < 30-40\%$ per E), è possibile riferirsi ad una stima cautelativa del valore medio della popolazione statistica, utilizzando nell'espressione il valore di K ottenuto da:

$$K_{n,mean} = t_{n-1}^{0,95} \sqrt{1/n}$$

In questo modo si assume che il volume della zona di rottura generato dall'applicazione del carico di progetto sia maggiore della scala delle fluttuazioni stocastiche, o che comunque le strutture di fondazione possiedano una rigidità tale da consentire una compensazione delle oscillazioni (compensazione delle resistenze).

Al contrario, nel caso in cui il parametro geotecnico considerato mostra una significativa variabilità, o comunque il volume di terreno interessato dallo stato limite è piccolo, occorre riferirsi ai valori minimi, ottenuti utilizzando nell'espressione il valore di K ottenuto da:

$$K_{n,low} = t_{n-1}^{0,95} \sqrt{(1/n)+1}$$

In questo modo si assume che il volume della zona di rottura generato dall'applicazione del carico di progetto sia minore della scala delle fluttuazioni stocastiche (resistenze non compensate).

Per l'attribuzione dei valori caratteristici di φ_{cv} è stato invece adottato l'approccio Bayesiano proposto da Cherubini e Orr (1999), basato sulla seguente equazione:

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

Per i valori caratteristici degli altri parametri, essendo grandezze caratterizzate da piccoli coefficienti di variazione, si sono considerati frattili al 50%, pari ai valori mediani più cautelativi.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente (tab. 7.3).

Unità geotecnica	Peso di volume		Densità relativa	Condizioni drenate			Resistenza al taglio non drenata		Modulo elastico		Modulo edometrico	Coeffiente di Poisson
	naturale	saturo		angolo di attrito		coesione efficace	picco	residua	drenato	non drenato		
				picco	volume costante							
γ_n,k [kN/m³]	$\gamma_{sat,k}$ [kN/m³]	$D_{R,k}$ [%]	$\varphi'k$ [°]	$\varphi_{cv,k}$ [°]	$c'k$ [kPa]	C_{uk} [kPa]	$C_{uR,k}$ [kPa]	$E'k$ [MPa]	E_{uk} [MPa]	E_{dk} [MPa]	ν_k [ad]	
Superficiale (ghiaioso-sabbiosa) 0÷6 m dal pc	18	20	44	29	28	0	-	-	15	-	21	0,31
Profonda (sabbioso-limosa e argillosa) > 6 m dal pc	19	22	60	32	30	0	25	8,4	15,5	12,5	23	0,33

Tab. 7.3 – Valori caratteristici dei parametri geotecnici fondamentali.

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 e della risposta sismica locale, qui ottenuta mediante la ricostruzione del profilo verticale della velocità delle onde di taglio mediante una misura MASW.

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 (ag) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Il Comune di Carpignano Sesia appartiene alla *“zona 4”*, contraddistinta da un grado di sismicità molto basso.

La Regione Piemonte, sulla base dei risultati di uno studio affidato al Politecnico di Torino in collaborazione con il Centro Eucentre di Pavia, ha proceduto all'adeguamento delle zone sismiche con D.G.R. n. 11-13058 del 19 gennaio 2010, D.G.R. n. 65-7656 del 21.05.2014 e D.G.R. n. 6-887 del 30.12.2019. Il Comune di Carpignano Sesia resta classificato in *“zona 4”* (Peak Ground Acceleration inferiore a 0,025g).

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 i seguenti n°2 eventi sismici relativi al territorio comunale di Novara, con un'intensità massima pari a 5 (*“forte”*) secondo la Scala Macrosismica Europea (EMS98).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4-5	1897	02	23	05	21	50	Liguria occidentale	1511	9	6.27
NF	2000	08	21	17	14		Monferrato	595	6	4.94

^(*)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>.

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 70 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}).

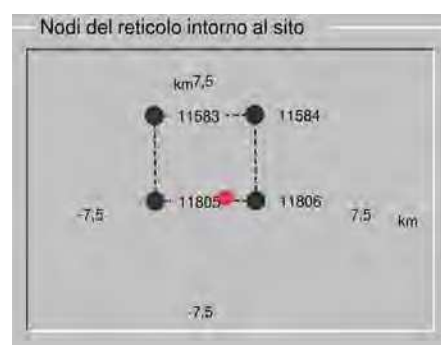
Ai sensi delle NTC, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido (di categoria A) con superficie topografica orizzontale (di categoria T1), in condizioni di campo libero.

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	0,015	2,564	0,161
50	0,018	2,527	0,170
72	0,021	2,580	0,174
101	0,024	2,573	0,213
140	0,027	2,580	0,226
201	0,030	2,586	0,240
475	0,038	2,596	0,280
975	0,045	2,628	0,299
2475	0,055	2,742	0,321



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 le specifiche dell'opera indicate in tab. 2.1, sono riportati in tab. 8.2, mentre i relativi spettri di risposta sono riportati in fig. 8.1.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	30	0,015	2,564	0,161
SLD	50	0,018	2,528	0,170
SLV	475	0,038	2,596	0,279
SLC	975	0,045	2,628	0,299

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

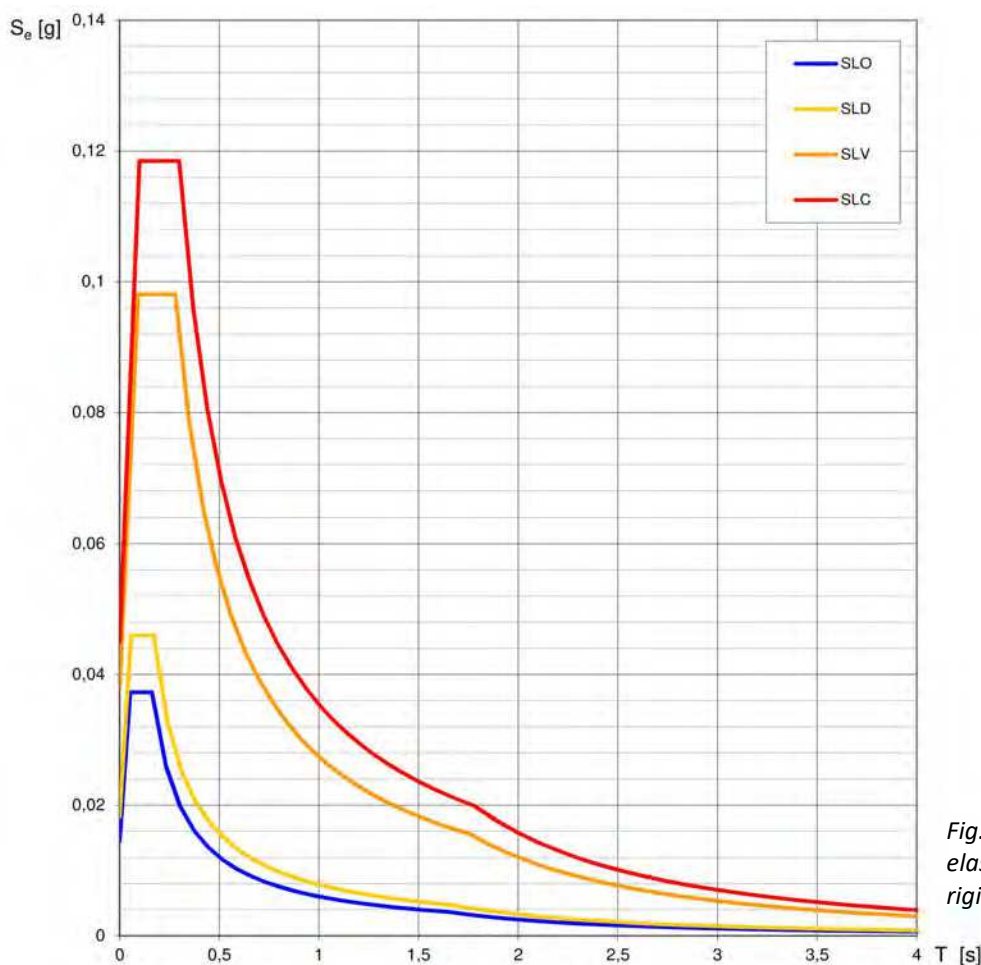


Fig. 8.1 – Spettri di risposta elastici su suolo di riferimento rigido orizzontale.

8.3. Analisi di risposta sismica locale del sito

La risposta sismica locale è stata effettuata secondo l'approccio semplificato descritto al §3.2.2 delle NTC, ed è consistita nella 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 analizzata.

8.3.1. Determinazione del profilo verticale della velocità delle onde di taglio

La determinazione del profilo verticale della velocità delle onde di taglio è stata ottenuta mediante l'esecuzione in sito, in data 20.09.2021, di una prova geofisica MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

La metodologia MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine geofisica non invasiva che si basa sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante delle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè ciascuna componente di frequenza dell'onda ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. In particolare le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori) sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte) hanno energia minore ed una penetrazione superficiale.

La proprietà dispersiva delle onde superficiali può essere utilizzata per studiare le proprietà

elastiche dei terreni superficiali al variare della profondità, ed una delle applicazioni più comuni è la ricostruzione del profilo verticale della velocità delle onde di taglio V_s , il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione, dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh.

Il metodo MASW consiste in tre fasi successive:

- acquisizione delle onde superficiali (ground roll);
- costruzione della curva di dispersione (grafico della velocità di fase in funzione della frequenza);
- inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s .

Per ottenere un profilo V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga, generato da una sorgente sismica quale, ad esempio, una massa battente o un fucile sismico, e registrarlo attraverso appositi geofoni, minimizzando il rumore. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP).

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh vengono prodotte simultaneamente anche una molteplicità di tipi diversi di onde, con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali; tra queste: le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. L'impiego di un metodo di registrazione multicanale consente il riconoscimento dei diversi comportamenti delle onde in arrivo, permettendo di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti onde sismiche.

L'inversione della curva di dispersione è stata realizzata mediante processo iterativo, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Sul campo la campagna di indagine ha previsto l'esecuzione in sito, immediatamente ad Est dell'impianto, di una prova MASW costituita da un'acquisizione di 24 punti di misura con interdistanza geofonica di 2 metri, a formare uno stendimento con lunghezza complessiva di 46 m e direzione circa Nord-Sud; le onde sismiche sono state generate mediante energizzazione con mazza battente da 8 kg con offset 5-10 m dal geofono più esterno. L'acquisizione è stata effettuata mediante elevati tempi di misura, poiché nell'elaborazione dei dati non viene considerato solamente il tempo di primo arrivo delle onde, ma l'intero segnale registrato.

I risultati ottenuti sono riportati in Allegato 3 dove è stato determinato il profilo di velocità delle onde di taglio V_s riportato in tab. 8.3.

Profondità strato [m dal p.c.]	V_s [m/s]
0,0 – 2,8	232
2,8 – 6,0	287
6,0 – 8,5	332
8,5 – 10,6	298
10,6 – 16,0	334
16,0 – 20,6	421
20,6 – 26,0	516
26,0 – 30,0	694

Tab. 8.3 – Profilo di velocità V_s .

I risultati ottenuti sono compatibili con l'assetto litostratigrafico locale. Si sottolinea il fatto che la stratigrafia V_s elaborata è sismicamente equivalente e ragionevolmente prossima alla stratigrafia reale, anche se probabilmente non esattamente coincidente.

8.3.2. Amplificazione stratigrafica

L'approccio semplificato previsto dalle NTC considera gli effetti di amplificazione stratigrafica in funzione della categoria di sottosuolo di riferimento (§ tab. 3.2.II NTC), scelta sulla base del valore di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) a partire dal piano di imposta delle fondazioni, data dalla seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

- h_i è lo spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ è la velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N: numero di strati;
- H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o da terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, come nel caso in esame, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Secondo le NTC i valori di V_s devono essere ottenuti mediante specifiche misure oppure, con giustificata motivazione, valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche che tuttavia nel contesto geologico di intervento hanno il limite di non raggiungere i trenta metri di profondità.

Dalla ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio effettuata al par. 8.3.1, si calcola il seguente valore di $V_{s,30}$, riferito cautelativamente alla quota del piano campagna, da cui si determina una categoria di sottosuolo B, che individua *“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”*.

CALCOLO $V_{s,eq}$				
da m	a m	V_s [m/s]	H_i [m]	H_i/V_i
0,0	2,8	232	2,8	0,0121
2,8	6,0	287	3,2	0,0111
6,0	8,5	332	2,5	0,0075
8,5	10,6	298	2,1	0,0070
10,6	16,0	334	5,4	0,0162
16,0	20,6	421	4,6	0,0109
20,6	26,0	516	5,4	0,0105
26,0	30,0	694	4,0	0,0058
SOMMA			30,0	0,0811
			$V_{s,eq}$ [m/s]	370

8.3.3. Amplificazione topografica

L'approccio semplificato previsto dalle NTC considera gli effetti di amplificazione topografica in funzione della categoria topografica di riferimento (§ tab. 3.2.III NTC), scelta sulla base della conformazione del piano campagna, che devono essere considerate quando vi sono configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, con altezza maggiore di 30 m.

Da osservazioni geomorfologiche e topografiche condotte sulla C.T.R. alla scala 1:10.000 il sito

appartiene alla categoria topografica T1, che individua “*superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$* ”.

8.3.4. Definizione dell'accelerazione massima attesa in superficie

Il valore dell'accelerazione massima attesa in superficie a_{\max} può essere ottenuto dalla seguente relazione:

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

I risultati ottenuti, relativi ai diversi stati limite, sono riportati nella tabella seguente (tab. 8.4).

	S_s	S_T	$a_{\max} [g]$
SLO	1,20	1,00	0,0180
SLD	1,20	1,00	0,0216
SLV	1,20	1,00	0,0456
SLC	1,20	1,00	0,0540

Tab. 8.4 – Valori dell'accelerazione massima attesa in superficie per i diversi stati limite.

8.3.5. Spettri di risposta elastici

Gli spettri di risposta elastici in accelerazione per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), riferiti ad uno smorzamento convenzionale del 5%, sono riportati nella figura seguente (fig. 8.2).

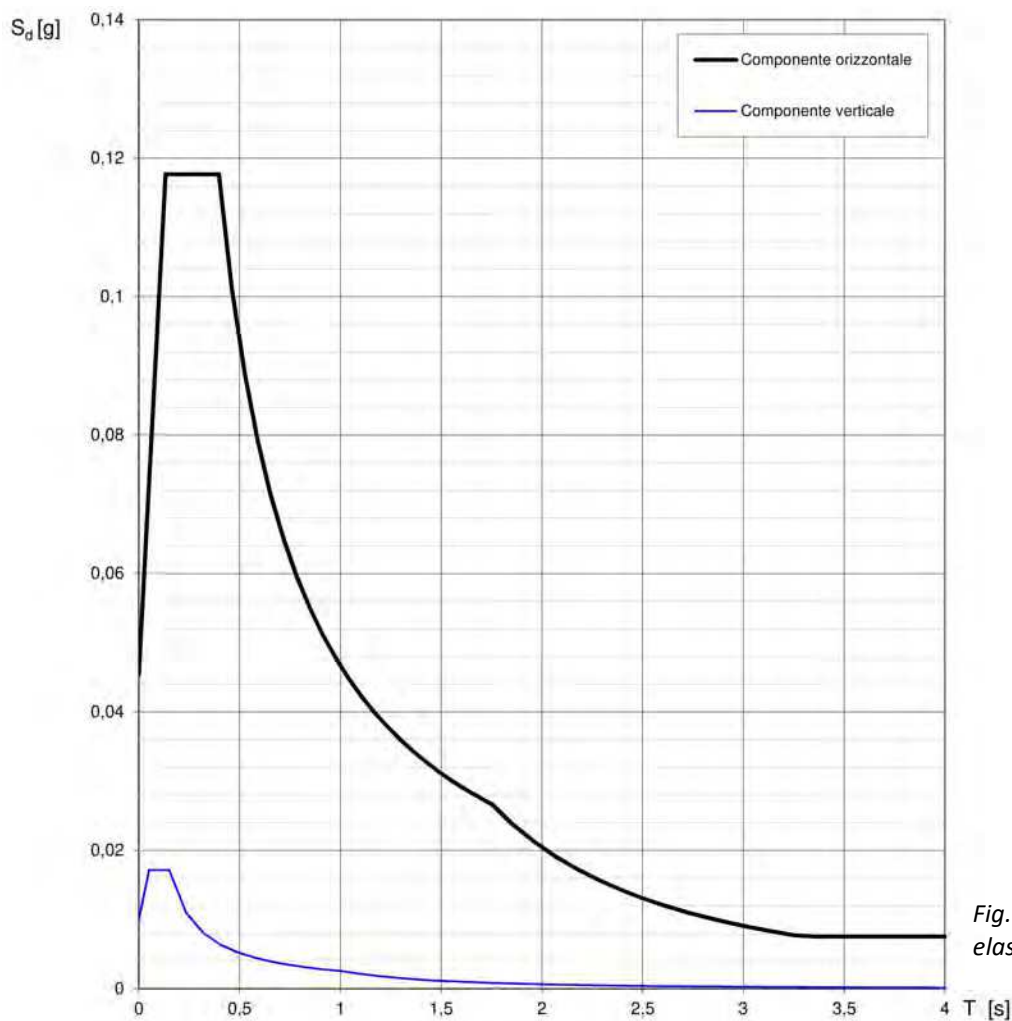


Fig. 8.2 – Spettri di risposta elastici allo SLV.

8.4. Sicurezza nei confronti della liquefazione

La verifica alla liquefazione può essere omessa, ai sensi del §7.11.3.4.2 NTC, in quanto nel sito di interesse l'accelerazione massima attesa al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) allo SLV di progetto, calcolata al par. 8.3.4 in 0,0456g, è minore di 0,1g.

9. GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

Durante la realizzazione dei lavori in oggetto verrà prodotto un quantitativo di terre e rocce da scavo limitato alla messa in opera dei nuovi manufatti interrati e delle relative fondazioni, che sarà rappresentato verosimilmente da terreno naturale non contaminato.

Dalle informazioni fornite dal Progettista, questo materiale verrà gestito interamente come rifiuto, con conferimento ad impianto di recupero, o eventualmente a discarica, nel rispetto della Parte IV del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i..

Nel caso in cui, in un'ottica di risparmio della risorsa terreno, si renda invece disponibile un sito di conferimento autorizzato per il suo riutilizzo come sottoprodotto, prima dell'inizio dei lavori di scavo dovrà essere trasmessa idonea dichiarazione agli Enti competenti che ne attesti i requisiti previsti dalla legge, seguendo le procedure previste dal D.P.R. 13.06.2017 n. 120 per i cantieri di piccole dimensioni (art. 20 e 21), previo accertamento della qualità ambientale dei terreni, come da linee guida nazionali.

Inoltre si ricorda che il riutilizzo di parte delle terre e rocce da scavo nel sito di produzione per il ripristino dell'area interessata dai lavori è un'attività liberamente consentita ai sensi dell'art. 185 del D.Lgs. 152/06 *“Norme in materia ambientale”* e s.m.i., che tra le *“esclusioni dal campo di applicazione”* del Decreto, al comma 1 lettera c) riporta: *“il suolo non contaminato e altro materiale allo stato naturale escavato nel corso di attività di costruzione, ove sia certo che esso verrà riutilizzato a fini di costruzione allo stato naturale e nello stesso sito in cui è stato escavato”*, previa verifica dell'assenza di contaminazione in relazione alla destinazione d'uso del sito, ai sensi dell'art. 24 del D.P.R. 120/2017.

Infine, per una corretta gestione delle terre e rocce da scavo in cantiere, si ricorda che:

- nel caso l'esecuzione degli scavi richieda l'utilizzo di additivi, questi devono essere conformi alle CSC di cui alla Colonna B del D.Lgs. 152/06 e s.m.i.;
- nel caso in cui durante gli scavi si rinvenivano terreni potenzialmente contaminati, questi devono essere caratterizzati ed analizzati con le procedure previste dal D.Lgs. 152/06 e s.m.i.;
- nel caso in cui durante gli scavi si rinvenivano materiali di riporto, dovrà essere verificata la loro assimilabilità alla disciplina delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'art. 4 comma 3 del D.P.R. 13.06.2017 n. 120, ed eseguito un test di cessione sul campione *“tal quale”* ai sensi del D.M. 05.02.1998 per i parametri pertinenti ad esclusione del parametro amianto, con riferimento alle CSC delle acque sotterranee. Nel caso di non assimilabilità o di non superamento del test di cessione questi materiali non potranno restare in sito ma dovranno in ogni caso essere gestiti come rifiuto.

Si ricorda che la normativa ambientale prevede che la responsabilità della corretta gestione dei rifiuti e delle terre e rocce da scavo sia in capo al soggetto che materialmente eseguirà i lavori di scavo.

10. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE CONCLUSIVE SUGLI INTERVENTI IN PROGETTO E INCERTEZZE DEL MODELLO

Il sito d'intervento è ubicato nella piana alluvionale del Fiume Sesia, in un contesto sub-pianeggiante privo di elementi geomorfologici di rilievo, in un'area potenzialmente raggiungibile dalle acque di esondazione del Fiume, anche se solamente in occasione di eventi alluvionali di tipo eccezionale, con tempi di ritorno di cinquecento anni, e per battenti decacentimetrici a ridotta energia.

Appartiene alla *“Classe IIb di idoneità geomorfologica all'utilizzazione urbanistica”*, che individua una moderata pericolosità qui data dalla *“possibilità di allagamenti in caso di laminazione di piene eccezionali (acqua dotate di bassa energia ed altezze < 40 cm)”*, dovuta alla sua appartenenza alla Fascia C del PAI. L'intervento in progetto è compatibile con le NTdA di PRGC per questa classe, previa l'adozione di una progettazione degli interventi tali da garantire la sommersione dei manufatti interrati senza danni.

A questo proposito si sottolinea il fatto che le profondità di scavo di progetto sono tali da poter interferire con il livello della falda superficiale, misurato il 20.09.2021 pari a -2,65 m dal piano campagna. Questo livello è soggetto nel tempo a oscillazioni significative, con generalmente valori massimi (livello idrico basso) tra agosto e settembre, e valori minimi (livello idrico alto) tra marzo e aprile. Per consentire di programmare nel miglior modo possibile i lavori, in corrispondenza del sondaggio eseguito è stato installato un piezometro, che rappresenta un punto di monitoraggio per la misura della soggiacenza, utile per valutare la necessità di prevedere eventuali interventi di aggettamento dalla falda. Sarà inoltre necessario valutare con attenzione prima dell'inizio dei lavori le modalità di sostegno delle pareti di scavo, in quanto gli scavi per la realizzazione dei manufatti interesseranno depositi a prevalente componente ghiaioso-sabbiosa, privi di coesione e potenzialmente saturi.

In corrispondenza dell'area di nuovo intervento affiorano depositi fluvioglaciali del Pleistocene Superiore, a prevalente componente ghiaioso-ciottolosa, ai quali sono stati sovrainposti depositi fluviali più recenti legati alla dinamica fluviale del vicino Fiume Sesia, dove possono comparire anche litotipi essenzialmente sabbiosi o sabbioso-limosi. Questi depositi hanno una potenza media di circa una decina di metri, seguiti da materiali a granulometria più fine (sabbie fini, limi e argille), con spessore anch'essi di una decina di metri circa.

Per indagare nel dettaglio le caratteristiche di addensamento di questi depositi, sono state eseguite specifiche indagini in sito consistenti in n°1 sondaggio a carotaggio continuo della profondità di 12 m dal p.c. con n°2 analisi granulometriche di laboratorio e n°8 prove S.P.T. in foro, successivamente attrezzato nei primi 6 m a piezometro per il monitoraggio del livello di falda.

Le indagini hanno rilevato, fino alla profondità di circa 6 m dal p.c., la presenza di un'unità formata principalmente da ghiaie e sabbie con ciottoli, con caratteristiche di addensamento abbastanza buone ($N_{SPT,medio} = 12$). Questo litotipo, che con riferimento alla classificazione U.S.C.S. (*Unified Soil Classification System*) appartiene alle tipologie GW/SW, rappresenta un valido terreno di fondazione.

Più in profondità si impostano depositi a principale componente fine, costituita da sabbia e, in percentuali ridotte, limo e argilla, con buone caratteristiche di addensamento/consistenza ($N_{SPT,medio} = 31$). Questo litotipo, che con riferimento alla classificazione U.S.C.S. (*Unified Soil Classification System*) appartiene alle tipologie SM/ML, presenta generalmente una bassa plasticità e buone caratteristiche di resistenza.

Dall'interpretazione statistica dei risultati delle indagini eseguite, sono state attribuite le principali caratteristiche geologico-tecniche dei terreni di fondazione sia in termini di valori medi (tab. 7.2) che di valori caratteristici (tab. 7.3).

La progettazione delle nuove strutture, come detto, dovrà tenere in considerazione il grado di saturazione dei terreni e i manufatti dovranno inoltre garantire la perfetta tenuta dei reflui, al fine di evitare qualsiasi contaminazione della falda, che presenta una elevata vulnerabilità proprio per la sua ridotta soggiacenza. Si suggerisce inoltre, per quanto possibile, di programmare i lavori in

concomitanza con un periodo di alta soggiacenza della falda (livello freatico basso).

Per quanto concerne la valutazione della pericolosità sismica, il Comune di Carpignano Sesia appartiene alla "zona 4", caratterizzata da un grado di pericolosità molto basso; l'analisi di risposta sismica locale ha tuttavia evidenziato la possibilità che si possano verificare amplificazioni di tipo stratigrafico. Con riferimento all'approccio semplificato previsto dal §3.2.2 delle NTC, è possibile attribuire al sito le seguenti categorie:

- categoria di sottosuolo B;
- categoria topografica T1.

L'accelerazione massima attesa al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) allo SLV di progetto è piuttosto bassa ($< 0,1g$), e permette di omettere la verifica alla liquefazione ai sensi del §7.11.3.4.2 delle NTC.

L'incertezza del modello elaborato dipende principalmente dal carattere puntale delle indagini eseguite in sito per la ricostruzione delle caratteristiche geologico-tecniche dei terreni che formano il primo sottosuolo, che andranno valutate in ultima analisi in fase esecutiva con la visione diretta dei terreni.

Le nuove fondazioni dovranno impostarsi in terreni con caratteristiche geotecniche adeguate, sotto lo strato di gelo-disgelo, la cui idoneità andrà verificata in funzione dei carichi di progetto (verifiche geotecniche di sicurezza §6.2.4 NTC).

In fase esecutiva si ricorda che, anche ai sensi della normativa vigente (D.Lgs. 81/08), per scavi con profondità superiore a 1,50 m con permanenza all'interno di operai è necessario provvedere al sostenimento delle pareti di scavo.

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; l'intervento è quindi compatibile con l'assetto geologico ed idrogeologico locale.

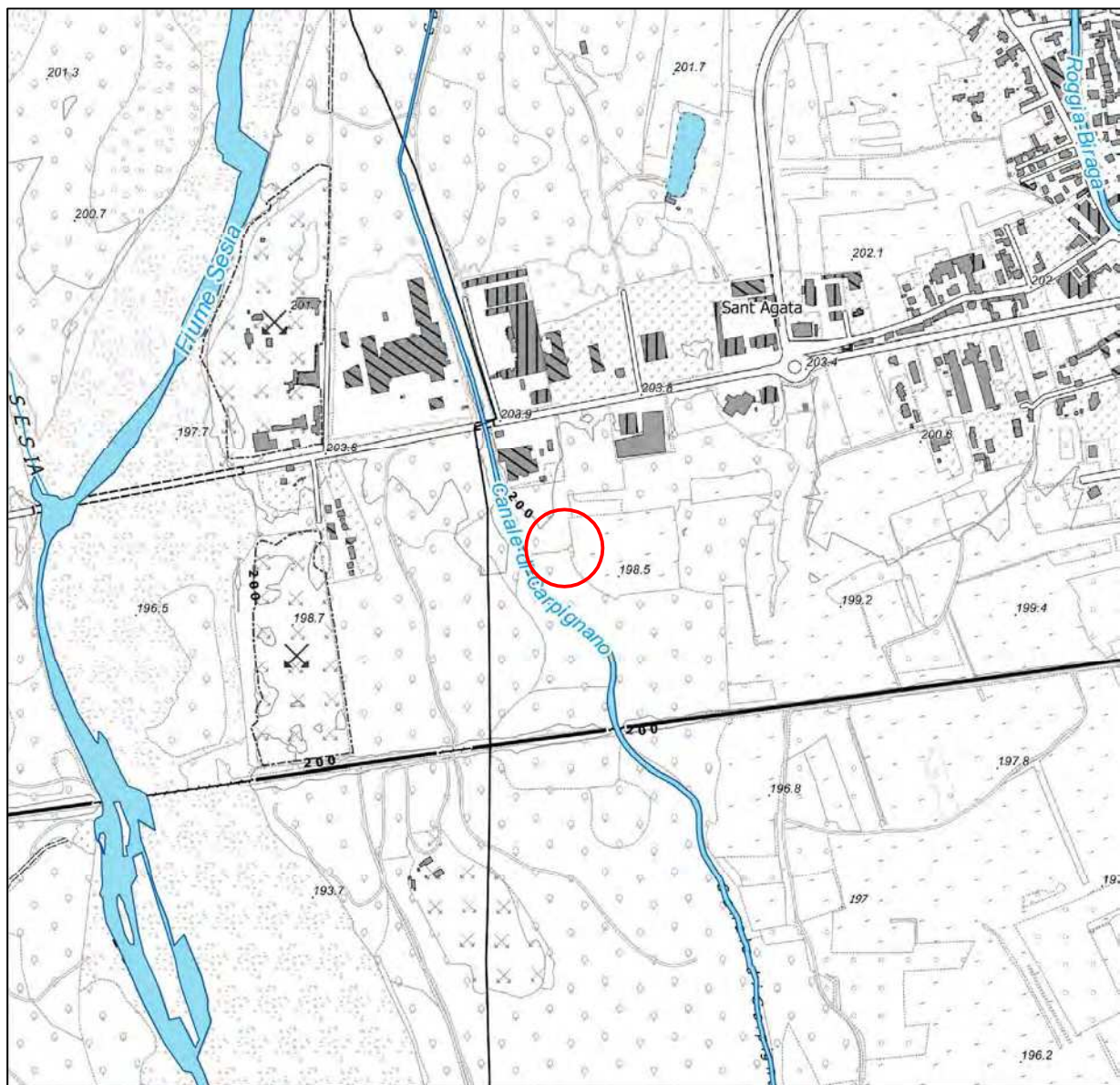
Se durante l'esecuzione dell'opera si dovessero rinvenire condizioni geologiche difformi da quanto previsto in questa relazione sarà opportuno rivedere le conclusioni e contattare il consulente geologo. Inoltre qualsiasi significativa variante che si voglia adottare all'attuale progetto cui si è fatto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

TAVOLE E ALLEGATI

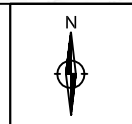
Rif. 1034-21



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



Stralcio BDTRE Regione Piemonte



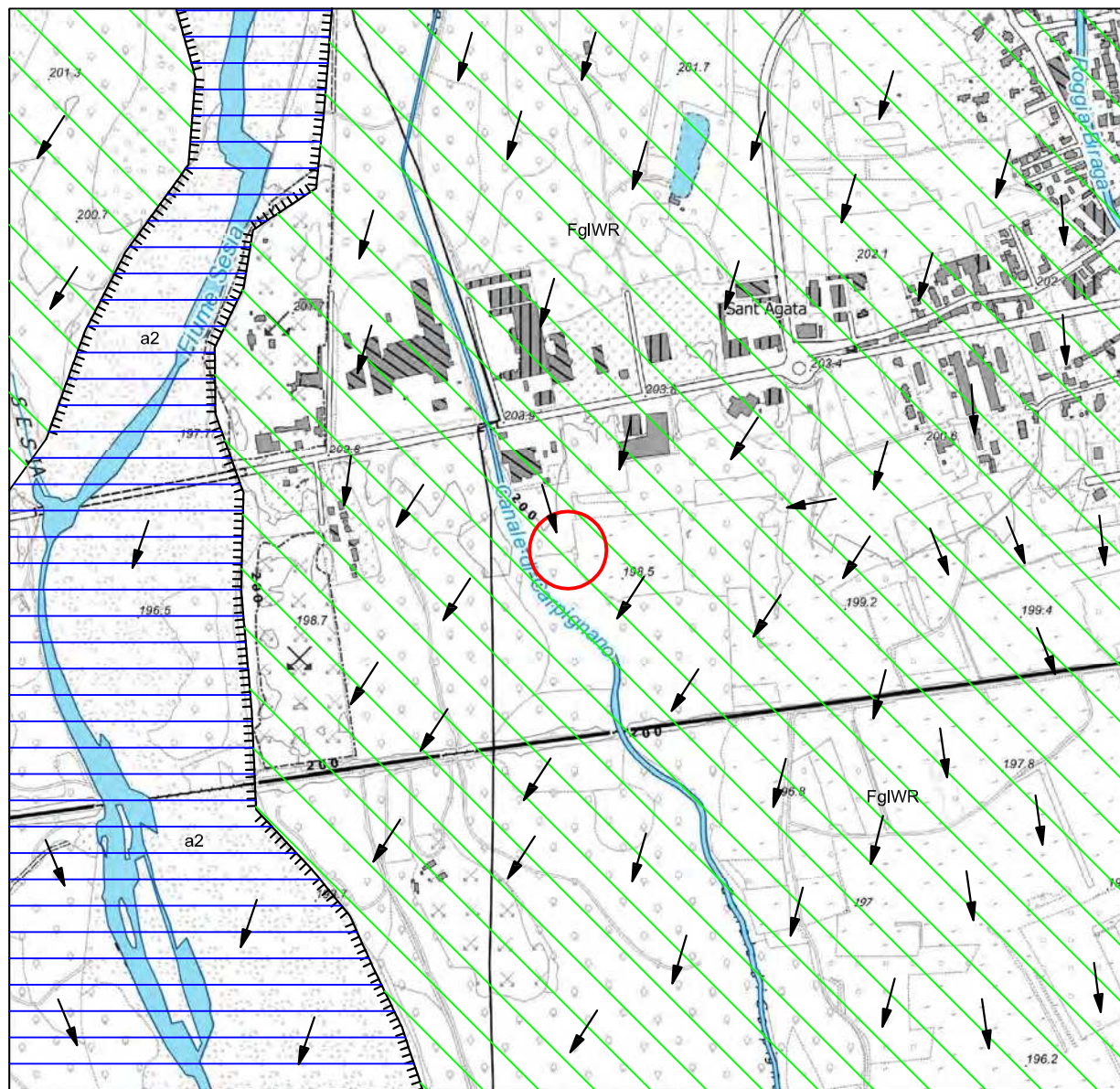
Ubicazione area di intervento

Coordinate geografiche medie:

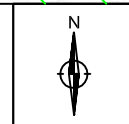
WGS84 lat. 45,529438°
long. 8,404588°

ED50 lat. 45,530378°
long. 8,405666°

 <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: Depuratore Via Torino Comune di Carignano Sesia (No)</p>			
<p>Titolo: Corografia</p>			<p>N. Tavola: 1</p>
<p>Commessa: rif: 1034-21</p>		<p>File: carignano_depuratore_tav1.pdf</p>	
<p>Rev: 00</p>	<p>Data emissione: Ottobre 2021</p>	<p>Foglio: A4</p>	<p>Scala: 1:10.000</p>



Stralcio BDTRE Regione Piemonte



Area di intervento



Pendenza superficie topografica



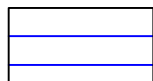
Piana



Terrazzo morfologico



Corso d'acqua



1 a2

Alluvioni ghiaiose recenti ed attuali
degli alvei attivi



FgIWR

Depositi fluvioglaciali wurmiani-rissiani
Pleistocene Superiore



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: **Depuratore Via Torino**
Comune di Carpignano Sesia (No)

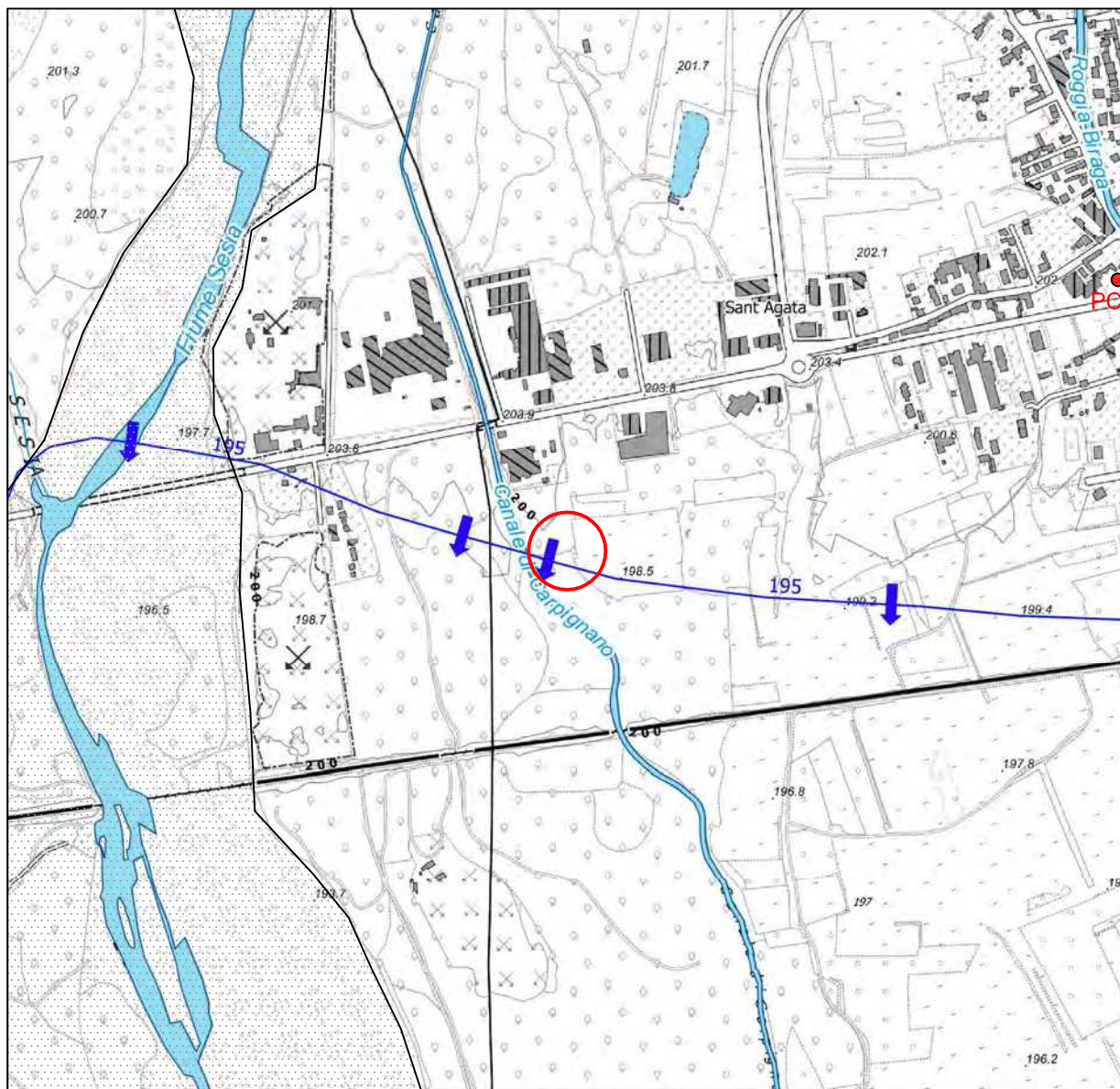
Titolo: Inquadramento geologico e geomorfologico

N. Tavola:

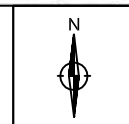
2

Commissa: rif: 1034-21	File: carpignano_depuratore_tav2.pdf
---------------------------	-----------------------------------------

Rev: 00	Data emissione: Ottobre 2021	Foglio: A4	Scala: 1:10.000
------------	---------------------------------	---------------	--------------------



Stralcio BDTRE Regione Piemonte



Area di intervento



Isofreatica con quota in m s.l.m.
(rif. studio Regione Piemonte, 2005)



Elemento idrografico superficiale

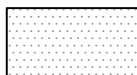


Direzione di flusso

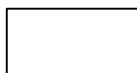


Opera di captazione dell'acquedotto

COMPLESSI IDROGEOLOGICI



Complesso delle alluvioni ghiaiose
recenti e attuali



Complesso dei depositi fluviali e
fluvioglaciali del Wurm-Riss



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: **Depuratore Via Torino
Comune di Carignano Sesia (No)**

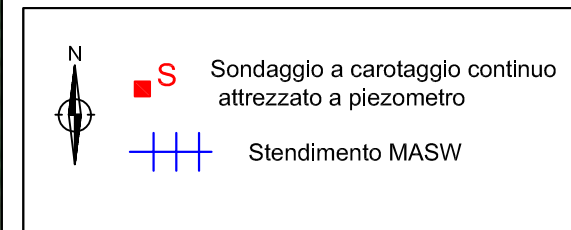
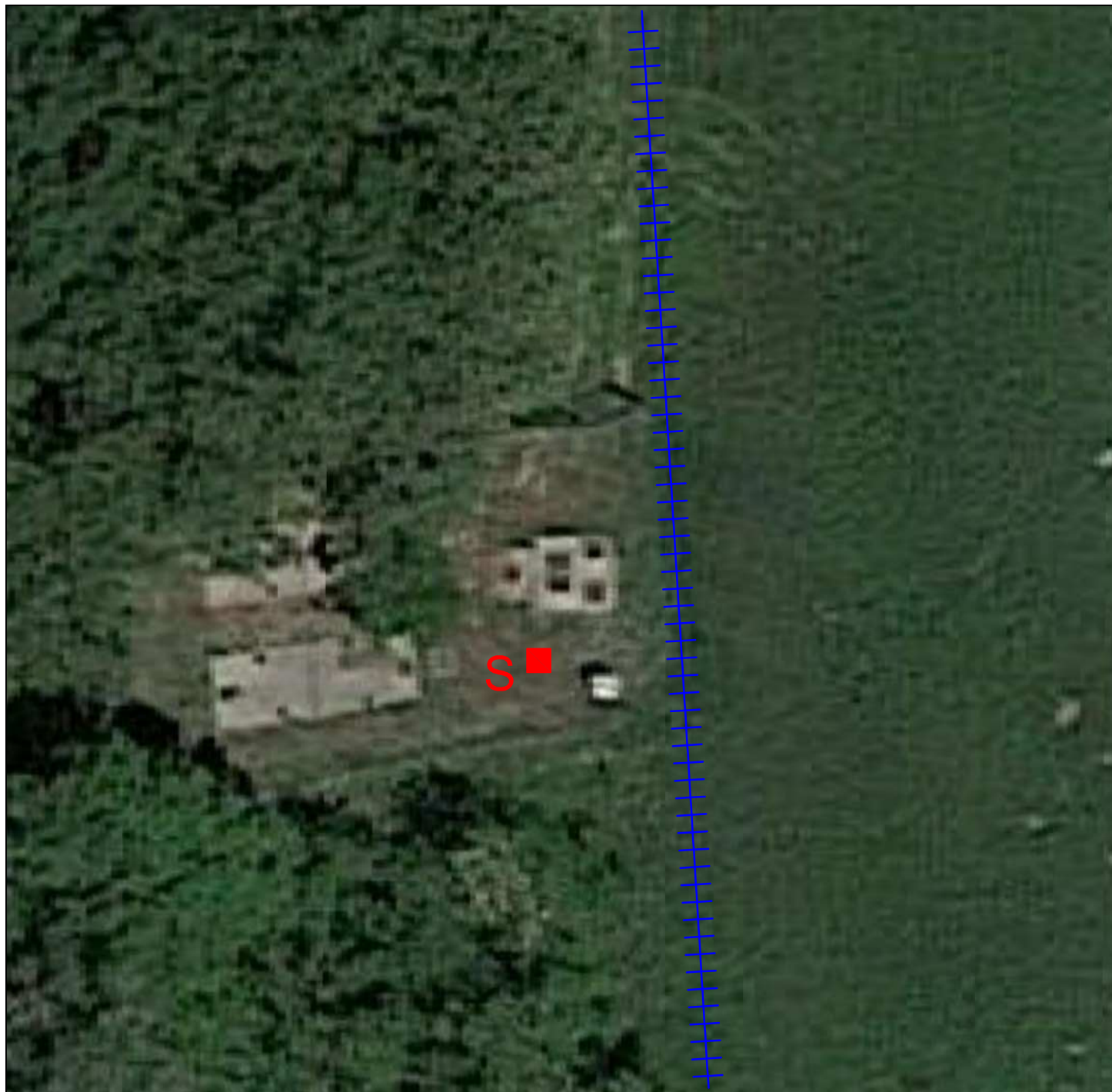
Titolo: **Idrografia e inquadramento
idrogeologico**

N. Tavola:

3

Commissa: rif: 1034-21 File: carignano_depuratore_tav3.pdf

Rev: 00 Data emissione: Ottobre 2021 Foglio: A4 Scala: 1:10.000



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: **Depuratore Via Torino**
Comune di Carpignano Sesia (No)

Titolo: **Ubicazione indagini in sito**

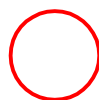
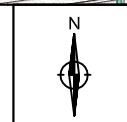
N. Tavola:
4

Commessa: rif: 1034-21 File: carpignano_depuratore_tav4.pdf

Rev: 00	Data emissione: Ottobre 2021	Foglio: A4	Scala: 1:200
---------	------------------------------	------------	--------------



Estratto Carta di Sintesi di PRGC



Area di intervento

**CLASSE DI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA E DI IDONEITA' ALL'UTILIZZAZIONE URBANISTICA
DI APPARTENENZA:**



Classe IIb

Limiti delle fasce Fluviali del P.A.I.

- ■ Limite fascia "A"
- Limite fascia "B"
- ■ Limite fascia "C"
- ● — Limite di progetto tra fascia "B" e fascia "C"

 <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>			
Località: Depuratore Via Torino Comune di Carpignano Sesia (No)			
Titolo: Estratto Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica di PRGC			N. Allegato: 1
Commissa: rif: 1034-21		File: carpignano_depuratore_all1.pdf	
Rev: 00	Data emissione: Ottobre 2021	Foglio: A4	Scala: 1:5.000

ALLEGATO	2
Sondaggio a carotaggio continuo	

Rif. 1034-21



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

SONDAGGIO S1

Committente Acqua Novara.Vco S.p.A.	Cantiere Depuratore di Via Torino - Carpignano Sesia (No)		
Indagine Geologica - Geotecnica	Coordinate X Y	Quota Ass. P.C. 199 m s.l.m.	Inizio/Fine Esecuzione 20/09/2021
Sondaggio Sondaggio a carotaggio continuo diam. 131 - R 152 mm	Impresa A4E S.r.l.	Profondità raggiunta 12 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
-1		GHIAIA CON SABBIA DEBOLMENTE LIMOSA di colore marrone chiaro, con presenza di ciottoli; clasti poligenici, subarrotondati, non alterati, diametro massimo significativo 20cm		9-6-5 -1.50 PC						
-2				9-6-7 -3.00 PC						
-3				10-6-6 -4.50 PC						
-4				18-6-7 -6.00 PC						
-5		SABBIA LIMOSO-ARGILLOSA colore ocra, non plastica	-6.00	-6.00 PC	300	57				
-6		SABBIA LIMOSO-ARGILLOSA beige debolmente plastica	-6.40		250	71				
-7		ARGILLA LIMOSA colore azzurro media plasticità	-6.80		200	51				
-8		ARGILLA LIMOSA colore bluastro media plasticità	-6.90		175	47				
-9		SABBIA LIMOSA CON GHIAIA bruno scuro-nerastro non plastica, debole odore organico	-7.90	9-15-18 -7.50 PC	300					
-10		SABBIA LIMOSO-ARGILLOSA colore ocra non plastica	-8.50		300					
-11		SABBIA grossolana con GHIAIA e CIOTTOLI colore ocra (falda in pressione)	-9.00	3-10-17 -9.00 PC						
-12		SABBIA LIMOSA con GHIAIA colore ocra	-9.40							
-13		SABBIA LIMOSA GHIAIOSA colore ocra	-9.60		350					
-14		SABBIA LIMOSA colore ocra no clasti								
-15		SABBIA LIMOSO-ARGILLOSA colore ocra non plastica	-10.60	9-18-28 -10.50 PC						
-16		ARGILLA LIMOSA-SABBIOSA colore grigio-nocciola mediamente plastica	-11.30		500	73				
-17			-12.00	9-18-18 -12.00 PC		68				
-18										

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

Note:
Falda rilevata da -2,65 m dal p.c. (-2,4 m da bocca piezometro)

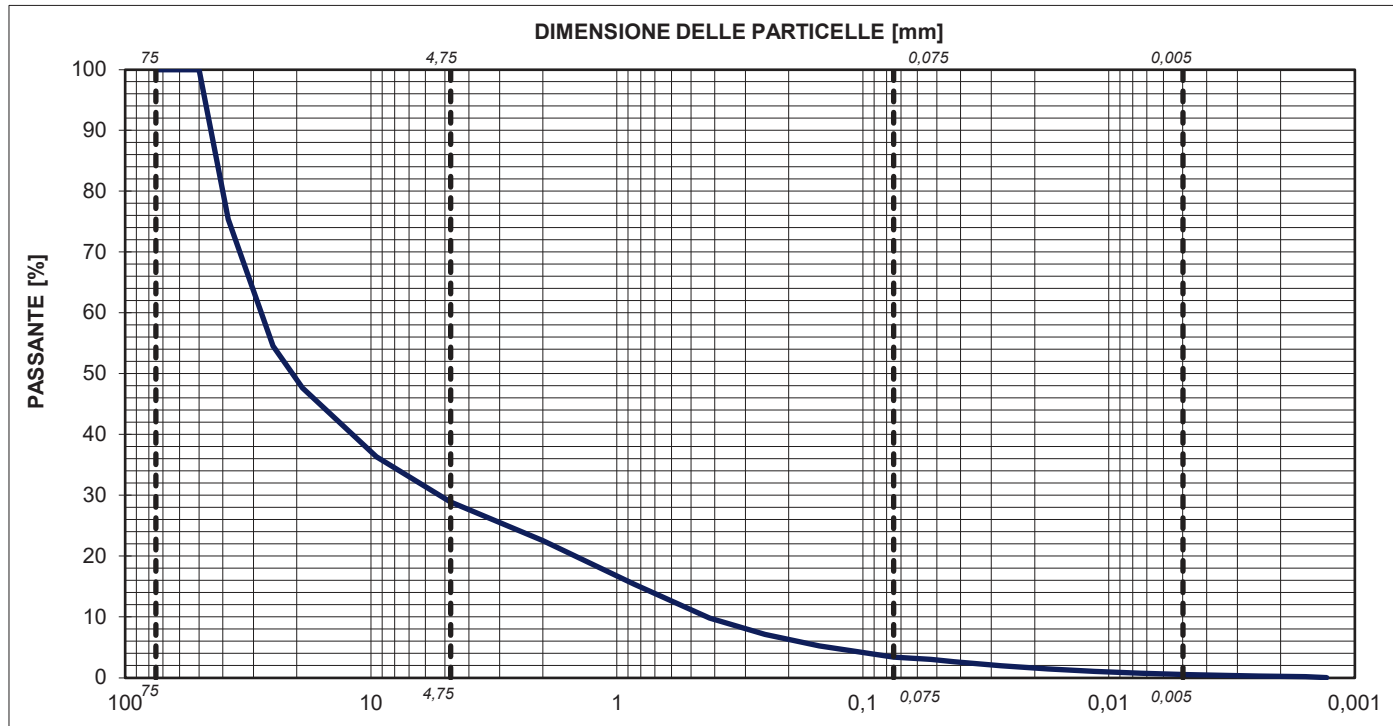
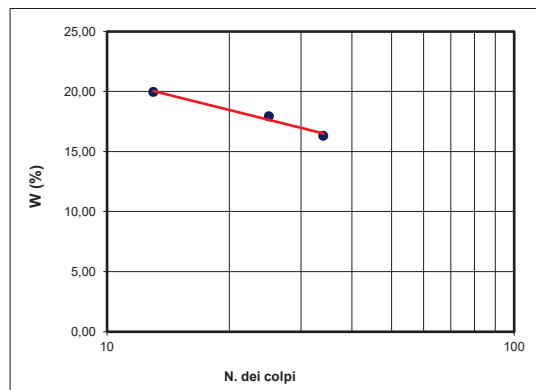


Certificato n. 4004	del 07/10/2021	Accettazione n. 2906	del 21/09/2021
----------------------------	-----------------------	-----------------------------	-----------------------

SETACCIATURA - SEDIMENTAZIONE (ASTM D2487-D422-D6913)	data inizio prova	21/09/2021	data fine prova	29/09/2021
LIMITI DI CONSISTENZA (ASTM D4318)	data inizio prova	21/09/2021	data fine prova	04/10/2021

COMMITTENTE:	A4E SRL		
COMMESSA:	-		
LOCALITA':	CARPIGNANO SESIA, VIA TORINO		
SONDAGGIO :	-	CAMPIONE:	C1 IN CLASSE Q3
		PROFONDITA' :	3,50-4,00 m

ANALISI PER SETACCIATURA				ANALISI PER SEDIMENTAZIONE				LIMITI DI CONSISTENZA				
Peso iniziale	2043		g	Peso iniziale	50		g	Limite Liquido (WL)	17		%	
Diametro massimo	70		mm	Diametro massimo	0,075		mm	Limite Plastico (WP)	np		%	
Diametro minimo	35		mm					Indice di Plasticità (IP)	nd		%	
Contenuto d'acqua	-		%					Indice di Consistenza (IC)	-		%	
	mm	Set. in. - No.	Percentuale passante	Diametro	u.m.		Percentuale					
Passante	75,0	3	100,00 %	0,0529	mm		2,99 %					
Passante	50,8	2	100,00 %	0,0394	mm		2,56 %					
Passante	38,1	1 1/2	75,41 %	0,0293	mm		2,08 %					
Passante	25,4	1	54,55 %	0,0216	mm		1,65 %					
Passante	19,0	3/4	47,66 %	0,0158	mm		1,33 %					
Passante	9,5	3/8	36,35 %	0,0118	mm		1,06 %					
Passante	4,75	No. 4	28,89 %	0,0085	mm		0,84 %					
Passante	2,0	No. 10	22,56 %	0,0061	mm		0,58 %					
Passante	0,850	No. 20	15,38 %	0,0044	mm		0,41 %					
Passante	0,425	No. 40	9,83 %	0,0031	mm		0,36 %					
Passante	0,254	No. 60	7,13 %	0,0022	mm		0,25 %					
Passante	0,150	No. 100	5,22 %	0,0016	mm		0,15 %					
Passante	0,075	No. 200	3,39 %	0,0013	mm		0,04 %					
Ghiaia g	(19-75)		52,34 %	ASTM CLASSIFICATION GW AASHTO M 145-82 -								
Ghiaia f	(4,75-19,0)		18,77 %									
Sabbia g	(2-4,75)		6,33 %									
Sabbia m	(0,425-2)		12,73 %									
Sabbia f	(0,075-0,425)		6,44 %									
Limo+argilla	(< 0,075)		3,39 %									
Limo	(0,005-0,075)		2,92 %									
Argilla	(< 0,005)		0,47 %									



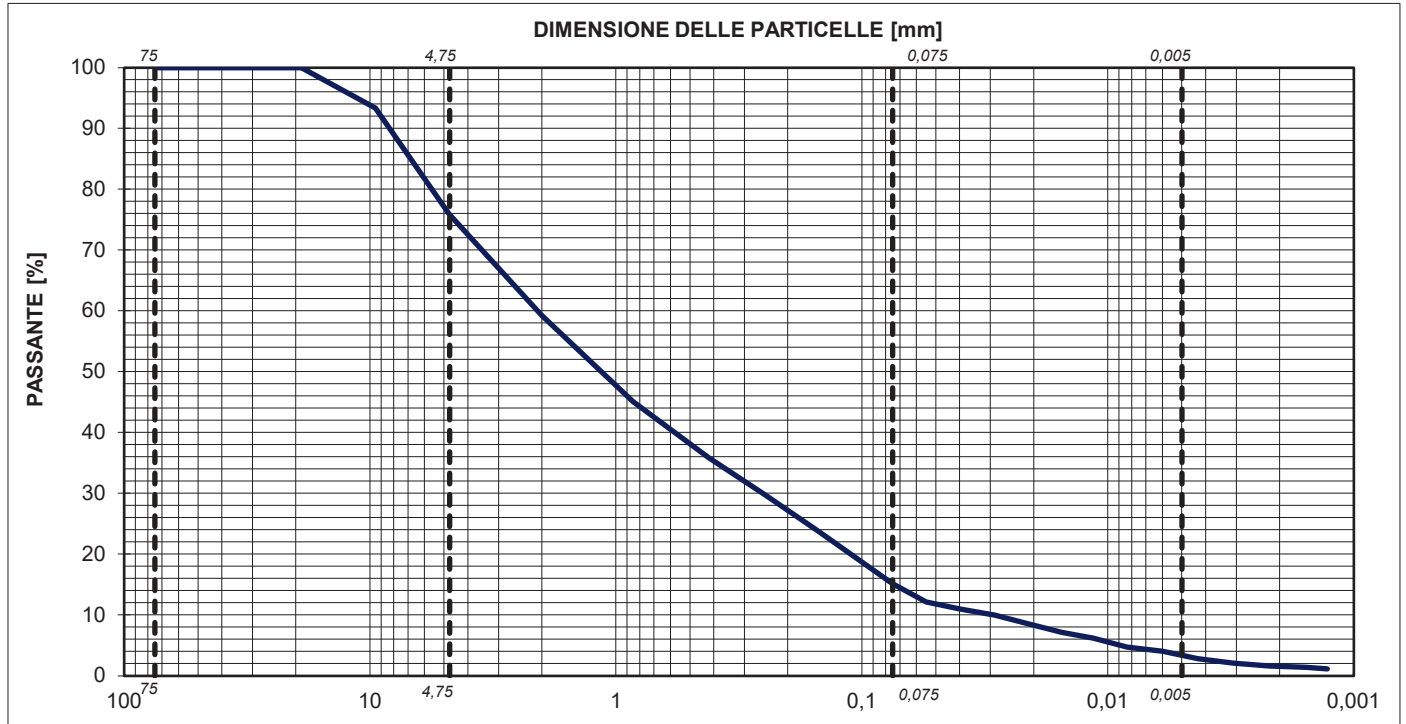
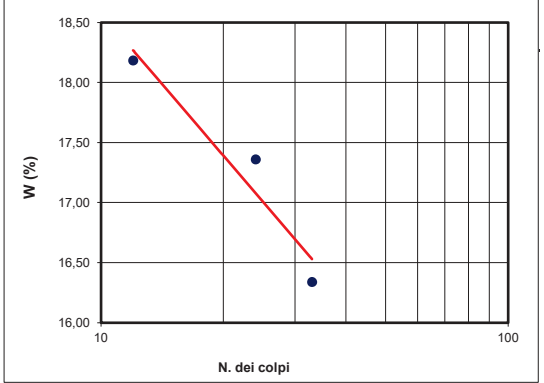


Certificato n. 4005	del 07/10/2021	Accettazione n. 2906	del 21/09/2021
----------------------------	-----------------------	-----------------------------	-----------------------

SETACCIATURA - SEDIMENTAZIONE (ASTM D2487-D422-D6913)	data inizio prova	21/09/2021	data fine prova	29/09/2021
LIMITI DI CONSISTENZA (ASTM D4318)	data inizio prova	21/09/2021	data fine prova	04/10/2021

COMMITTENTE:	A4E SRL		
COMMESSA:	-		
LOCALITA':	CARPIGNANO SESIA, VIA TORINO		
SONDAGGIO :	-	CAMPIONE:	C2 IN CLASSE Q3
		PROFONDITA' :	7,00-7,40 m

ANALISI PER SETACCIATURA					ANALISI PER SEDIMENTAZIONE					LIMITI DI CONSISTENZA				
Peso iniziale	434,1			g	Peso iniziale	50			g	Limite Liquido (WL)	17		%	
Diametro massimo	25			mm	Diametro massimo	0,075			mm	Limite Plastico (WP)	np		%	
Diametro minimo	10			mm						Indice di Plasticità (IP)	nd		%	
Contenuto d'acqua	-			%						Indice di Consistenza (IC)	-		%	
	mm	Set. in. - No.	Percentuale passante	%	Diametro	u.m.	Percentuale							
Passante	75,0	3	100,00	%	0,0546	mm	12,14	%						
Passante	50,8	2	100,00	%	0,0398	mm	10,94	%						
Passante	38,1	1 1/2	100,00	%	0,0288	mm	9,99	%						
Passante	25,4	1	100,00	%	0,0211	mm	8,55	%						
Passante	19,0	3/4	100,00	%	0,0154	mm	7,12	%						
Passante	9,5	3/8	93,34	%	0,0114	mm	6,16	%						
Passante	4,75	No. 4	75,88	%	0,0083	mm	4,72	%						
Passante	2,0	No. 10	59,23	%	0,0060	mm	4,00	%						
Passante	0,850	No. 20	45,06	%	0,0043	mm	2,81	%						
Passante	0,425	No. 40	35,84	%	0,0031	mm	2,09	%						
Passante	0,254	No. 60	29,88	%	0,0022	mm	1,61	%						
Passante	0,150	No. 100	23,75	%	0,0016	mm	1,37	%						
Passante	0,075	No. 200	15,13	%	0,0013	mm	1,13	%						
Ghiaia g	(19-75)		0,00	%	ASTM CLASSIFICATION SM AASHTO M 145-82 -									
Ghiaia f	(4,75-19,0)		24,12	%										
Sabbia g	(2-4,75)		16,66	%										
Sabbia m	(0,425-2)		23,38	%										
Sabbia f	(0,075-0,425)		20,71	%										
Limo+argilla	(< 0,075)		15,13	%										
Limo	(0,005-0,075)		11,83	%										
Argilla	(< 0,005)		3,30	%										



Committente: Acqua Novara.Vco S.p.A.	Sondaggio: Diametri C131 – R152 mm
Indagine: Sondaggio a carotaggio continuo	Data: 20/09/21
Impresa: A4E S.r.l.	Pagina: 1/2
Cantiere: Depuratore di Carpignano Sesia (No) – Via Torino	



Cassetta catalogatrice 0 – 5 m



Cassetta catalogatrice 5 – 10 m

Dott. Geol. Mattia Bertani
Casale Tabuloni, 32 – 28021 Borgomanero (No)
www.studiobertani.it

S1

Committente: Acqua Novara.Vco S.p.A.	Sondaggio: Diametri C131 – R152 mm
Indagine: Sondaggio a carotaggio continuo	Data: 20/09/21
Impresa: A4E S.r.l.	Pagina: 2/2
Cantiere: Depuratore di Carpignano Sesia (No) – Via Torino	



Cassetta catalogatrice 10 – 12 m

ALLEGATO	3
Report stendimento sismico MASW	

Rif. 1034-21



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

**REPORT
STENDIMENTO SISMICO MASW**

Committente: *Acqua Novara VCO S.p.A.*

Località: *Carpignano Sesia (NO)*
Via Torino c/o Depuratore comunale

L'indagine sismica secondo la metodologia MASW permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh, che rappresentano più di due terzi dell'energia sismica generata nel corso di una prova.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

1. acquisizione dei dati di campo rappresentati dalle onde superficiali;
2. costruzione della curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
3. inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale che descrive la variazione di v_s con la profondità.

Per ottenere un profilo della velocità delle onde sismiche di taglio (v_s) bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarli minimizzando il rumore. Le onde di superficie sono state generate tramite una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico posta ad una distanza compresa tra m 5 e 10 dai geofoni esterni dello stendimento effettuando più energizzazioni; per la registrazione sono stati utilizzati geofoni da 4,5 Hz collegati ad un sismografo GEA24 a 24 canali della PASI.

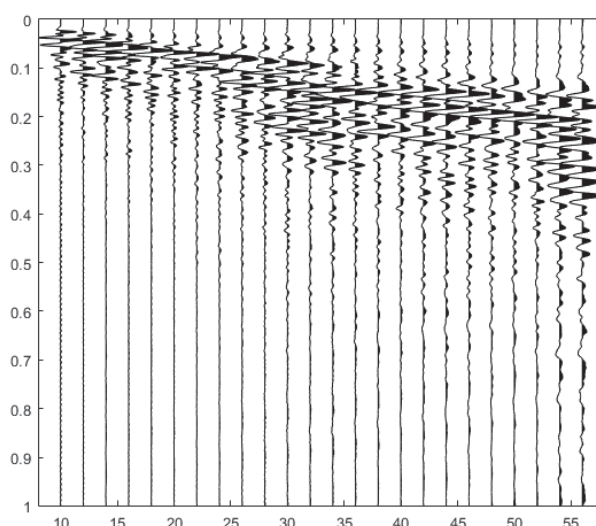
L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 2,0 m.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

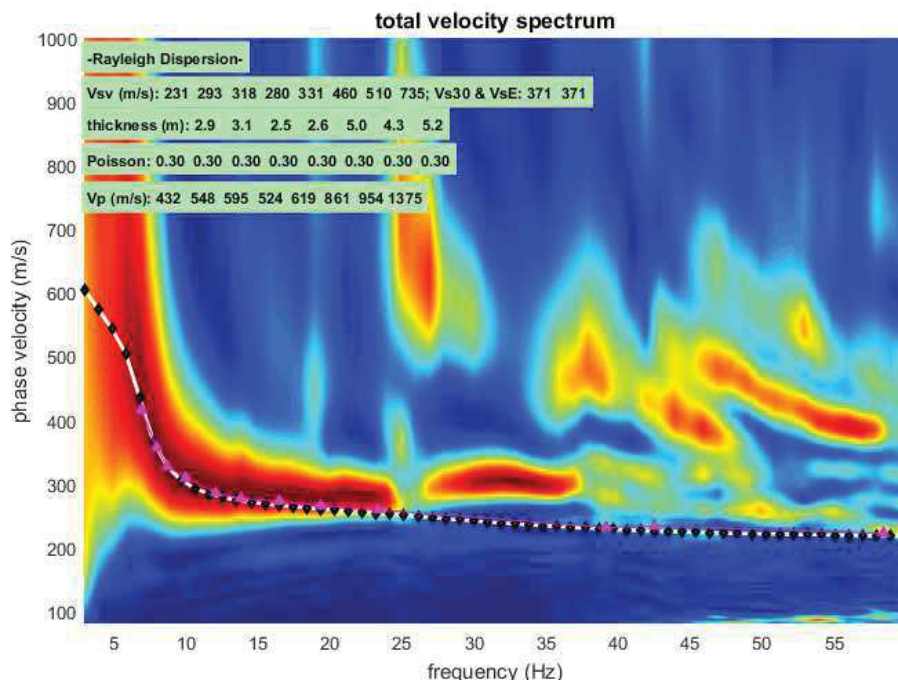
Per ottenere il profilo verticale della v_s dalla curva di dispersione viene stimato un valore di densità del terreno sulla base della tipologia dei materiali attraversati.

Elaborazione dati e risultati

Data	20/09/2021
N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2000,0
Interdistanza geofoni [m]	2,0
Periodo di campionamento [msec]	0,5



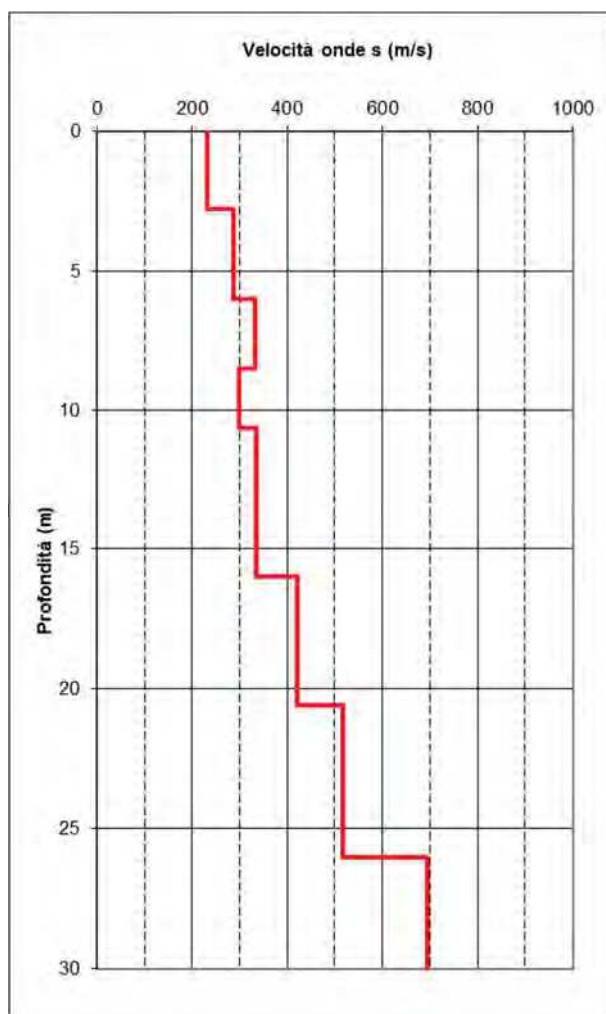
Curva di dispersione e inversione



L'analisi sismica con metodologia MASW ha permesso la costruzione di un modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Dall'inversione delle curve di dispersione ricavate dallo stendimento sismico si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità.

Strato	Profondità [m]		Spessore [m]	Vs [m/s]
	da	a		
1	0,0	2,8	2,8	232
2	2,8	6,0	3,2	287
3	6,0	8,5	2,5	332
4	8,5	10,6	2,1	298
5	10,6	16,0	5,4	334
6	16,0	20,6	4,6	421
7	20,6	26,0	5,4	516
8	26,0	∞	∞	694



Vista stendimento sismico MASW.