COMUNE di QUILIANO

Ufficio Lavori Pubblici

Lavoro :

Progetto Definitivo – Esecutivo per interventi adeguamento idraulico tratto terminale Rio Santo

COMUNE di QUILIANO
PROVINCIA di SAVONA

RELAZIONE GEOLOGICA

Data emissione	Revisione	Note	Tecnico
SETTEMBRE 2021			Dott. Geologo Amedeo GAIEZZA

Tavole:

Tav. 1: - Planimetria geologico geomorfologica con ubicazione indagini geognostiche
Tav. 2: - Sezioni geologiche Stato Attuale
Tav. 3: - Sezioni geologico progettuali

- Stratigrafie sondaggi geognostici
- Rapporto indagini geognostiche M3D srl.
- Report certificati ambientali terre rocce da scavo

Dott. Geologo Amedeo Gaiezza

Studio: Via Roma n. 96 - 17014 Cairo Montenotte (SV)
C.F.: GZZMDA72S16I138D / P.IVA: 01191020096 – GaiezzaAmedeo@libero.it

1. OGGETTO PERIZIA

Il Comune di Quiliano - Ufficio Lavori Pubblici ha incaricato lo scrivente di eseguire studio geologico tecnico comprensivo di indagini geognostiche, di supporto al Progetto Definitivo – Esecutivo per la realizzazione degli interventi di adeguamento idraulico del Rio Santo, in corrispondenza della sua confluenza diretta nel Torrente Quazzola, con innesto al di sotto di Via Tecci.



Ortofoto area in esame

A tale riguardo, il presente studio segue, implementa, integra e completa l'analisi geologica di fattibilità e di inquadramento generale a cura Geol. Costantini emessa nel Marzo 2017 in sinergia e a supporto studio di fattibilità ingegneristica elaborato da Ing. De Salvo – Staiges, cui si rimanda nello specifico e per ogni dettaglio.

Lo studio geologico in essere, in relazione al volume significativo del terreno indagato e all'interazione di questo con le opere a progetto è volto a (cfr. § 3.2.2 - NTC/2018):

- definizione del modello geologico concettuale di riferimento mediante ricostruzione stratigrafica dei principali profili progettuali tramite campagna di indagini geognostiche
- caratterizzazione geotecnica delle principali Unità Geologico-Litotecniche discriminate nel volume significativo e definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo
- fornire classificazione sismica del sito
- elaborare sezioni geologico progettuali significative e di riferimento per le verifiche ingegneristiche e geotecniche e per la stima della stabilità globale degli scavi esecutivi a supporto e sostegno al modello progettuale finale di sistemazione
- fornire consulenza in materia di corretta gestione terre e rocce da scavo e di problematiche ambientali
- supportare con indicazioni esecutive le verifiche e le valutazioni geotecniche sulle fondazioni e sul pericolo e rischio di liquefazione

La campagna d'indagine geognostica in essere, come concordata in itere con studio progettazione ITEC Engineering srl. Ing. Guerreri – Misurale, prevede

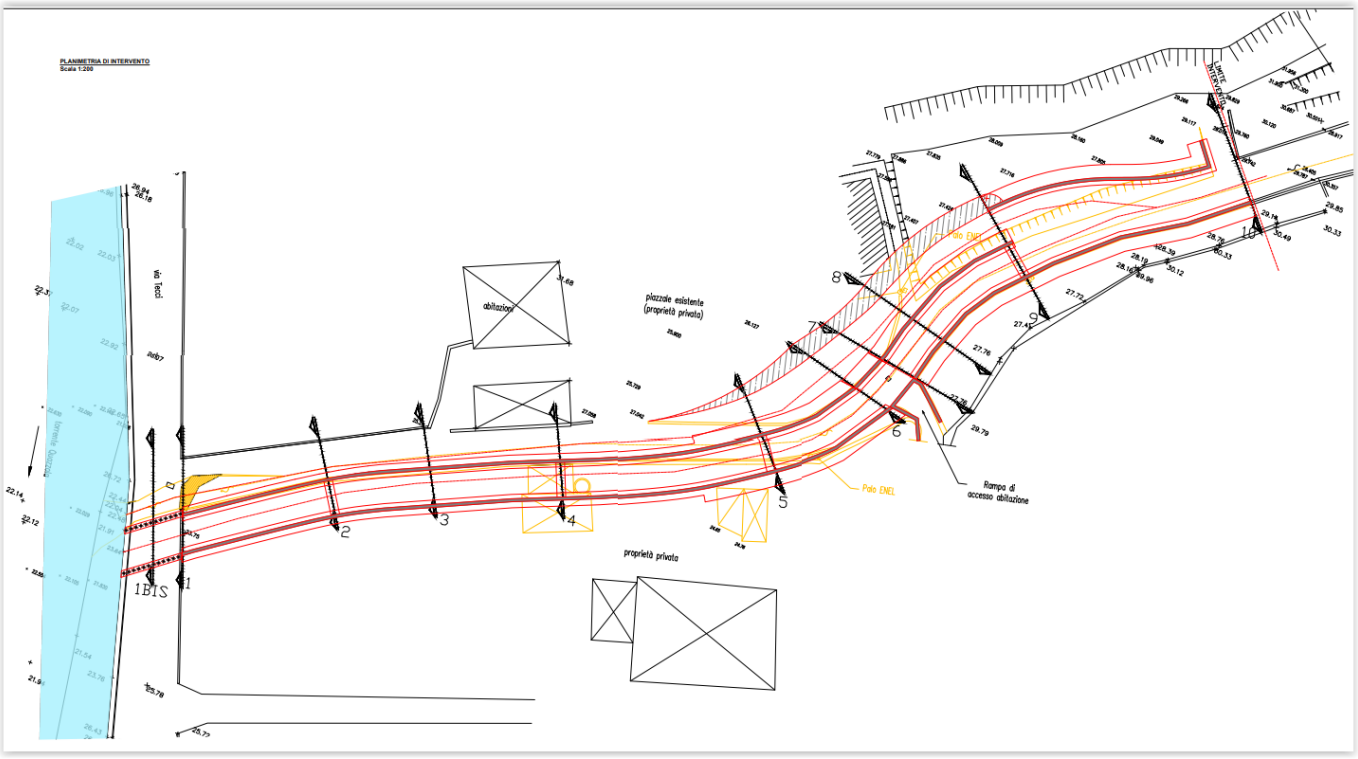
- esecuzione di n. 2 sondaggi a carotaggio continuo (lunghezza 15 m) con:
  - esecuzione di prove SPT inavanzamento;
  - esecuzioneprove di permeabilità in foro

- n. 5 prove DPM
- n. 2 indagini HVSR per corretta classificazione sismica del sito
- prelievo campioni ambientali per analisi Test di Cessione al fine utilizzo e smaltimento ai sensi
  - normativa vigente D.M. 161/2012 "Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo " (G.U. n. 221 del 21/9/2012) e art. 185 comma 1 D. LGS. 152/2006.

- D.P.R 120/2017 "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164."

Allo stato attuale, il Rio Santo ospita una sede stradale soggetta ad allagamenti nei casi di forti piogge. Obiettivo del corrente progetto è quello separare la sede stradale e l'alveo nel tratto terminale del suddetto Rio, canalizzando le acque di deflusso per mezzo di nuovi muri d'argine in calcestruzzo armato fino alla confluenza nel torrente Quazzola.

Come si evince dalla relazione tecnica e illustrativa ITEC Engineering srl, gli interventi a progetto finalizzati alla mitigazione del rischio idraulico e all'adeguamento del tratto terminale del Rio Santo, per uno sviluppo di circa 140 m a partire dalla foce, prevedono lo spostamento del canale nel tratto di valle, in corrispondenza della confluenza con il torrente Quazzola ed il contestuale spostamento della strada nel tratto di monte del rivo stesso. In ragione di quanto esposto è stato modificato il profilo planimetrico del canale, traslandone l'intera sagoma, come detto, nell'attuale cortile della proprietà adiacente.



Raffronto planimetrico

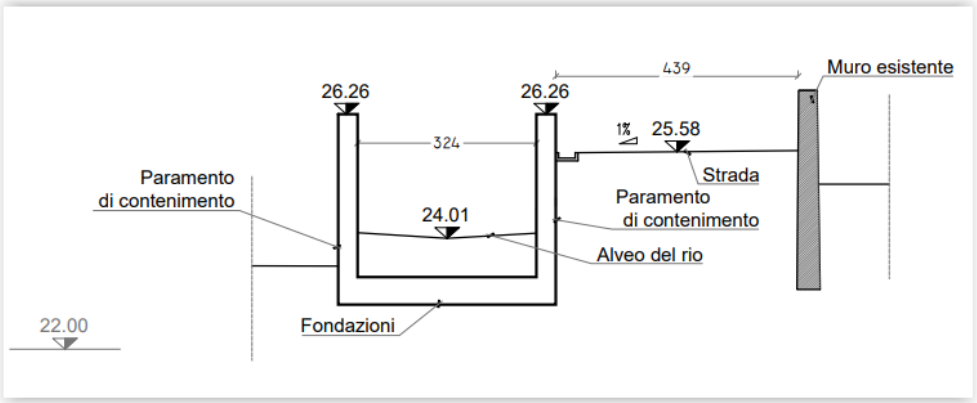
Per poter traslare il canale e lasciare il tratto di strada finale, dal quale si accede a due abitazioni, dovrà essere ricostruito il sottopasso stradale attualmente sottodimensionato.

Il nuovo fornice sotto la Via Tecci sarà realizzato con uno scatolare adeguato alla 200-ennale del rio ma che rigurgita con la piena del Quazzola, mediante opere accessorie costituite da micropali di contenimento, realizzati sotto il profilo della strada, raccordati in testa da un cordolo in C.A. necessario per l'appoggio delle solette. Tali solette, realizzate fuori opera, saranno posate prevedendo lo scavo del tratto di strada interessato e la contestuale posa. Secondo questa procedura sarà possibile ridurre le fasi di cantiere sulla strada e le opere di contenimento stesse.

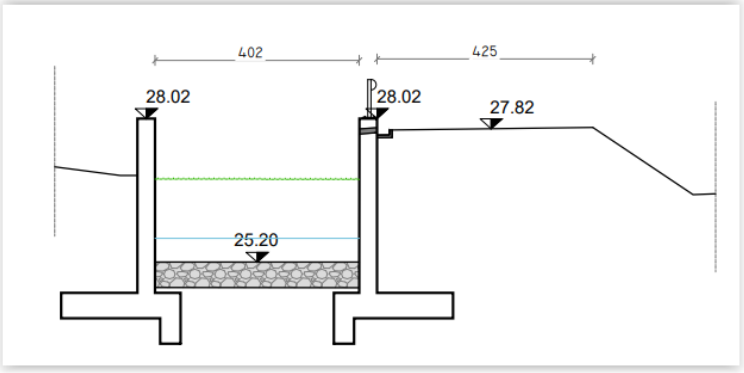
Dalla sezione subito a monte del nuovo fornice fino all'attraversamento da realizzare in prossimità della sezione n.6, la sezione di deflusso verrà eseguita mediante uno scatolare aperto. Tale scelta è funzionale principalmente ad eliminare le problematiche di sifonamento presenti nel tratto finale in quanto il canale, oltre ad essere "pensile", scorre su un terreno ad elevata permeabilità.

Tra le sezioni 6 e 7, verrà realizzato un ulteriore scatolare in calcestruzzo armato necessario per il collegamento alla nuova piattaforma stradale, realizzata in destra del rivo, con una strada di accesso ad abitazioni site in sponda sinistra. Dalla sezione di monte, fino a fine intervento le opere di contenimento del canale saranno costituite da muri di contenimento aventi sezione di parete pari a 35 cm, spessore della fondazione pari a 35 cm, e tacco anti-scivolamento avente altezza pari a 50 cm e spessore s= 40 cm.

In tali sezioni, la scelta di lasciare il fondo naturale nasce dall'assenza di problemi di sifonamento vista la presenza di materiale terroso su ambo i lati e la possibilità di ampliare gli scavi per consentire le lavorazioni sulle opere di fondazione.



Tratto finale intervento con sezione scatolare



Tratto di monte intervento con sezione fondo naturale

Normativa geologico tecnica di riferimento:

- *D.M. 11/03/88*
- *nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 approvate con il D.M. 14/01/2008 , nonché con riguardo alla Circolare n. 617 del 02/02/09 (G.U. n. 47del 26/02/09 – Suppl. Ord. N. 27 "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14/01/08)*
- *Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17/01/2018 (G.U. n. 42 del 20/02/18 – Suppl. Ord. N. 8)*
- *O.P.C.M. n. 3274 /2003 e s.m.i. (G.U. n. 105 del 08/05/2003) "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica";*
- *O.P.C.M n. 3519 /2006 del 28/04/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento delle medesime zone"*
- *D.G.R. n. 216 del 17/03/2017 "Aggiornamento classificazione Sismica del territorio della Regione Liguria"*
- *Regolamento Regionale n. 3 del 14/07/2011 " Regolamento recante disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua"*
- *Norme di attuazione PIANO di BACINO STRALCIO SUL RISCHIO IDROGEOLOGICO (ai sensi dell'art.1, comma 1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998) QUILIANO – come modificato con DdDG 176/2018 - L. 267/1998 Piani di Bacino Stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico- cod. 530*
- *DGR. N. 507/2019 "Reticolo Idrografico Regionale"*

E' stata altresì consultata la cartografia ufficiale tematica quale:

- Carta Geologica d'Italia Fg. n. 92-93"Albenga - Savona"
- Cartografia relativa all'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani (IFFI) tramite portale informatico aggiornato autorizzato dalla Regione Liguria
- Cartografia tematica del Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico – QUILIANO
- Carta geologica con elementi di geomorfologia della Regione Liguria - I lotto sperimentale L.R. 28.03.89 n°7 - Scala 1:25.000 (rilevamenti originari in scala 1:10.000) Fg. 229.3 Vado Ligure"

2. MODELLO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO e IDROGEOLOGICO

L'area in esame interessa il tratto terminale del Rio Santo, (quota media 25 m slmm) che incide e si sviluppa in contesto d'alveo pseudorettilineo, debolmente ondulato e impermeabilizzato ad uso attuale sede stradale, in sinistra idrografica del Torrente Quazzola, con innesto diretto attraverso sezione ad arco al di sotto di Via Tecci (cfr. ortofoto).



I lineamenti geologico – geomorfologici della piana del Torrente Quiliano, nel quale il T. Quazzola confluisce come tributario sinistro, sono legati alla presenza di depressioni tettoniche impostate su un sistema di faglie dirette da riferirsi ad una ripresa della dinamica distensiva del bacino del Mar Ligure (Fannucci & alii., 1987), che ha determinato un'ingressione marina con deposito di sedimenti marini pliocenici disposti in direzione Est- Ovest ascrivibili alla formazione pre-quaternaria delle *Argille di Ortovero*, costituita da argille grigiastre con intercalazioni di sabbie e conglomerati, marne grigio-azzurre, conglomerati minuti con matrice rossastra, argille gialle, marne grigie.

Nello specifico, la Valle di Quiliano può ipotizzarsi come il risultato congiunto di fenomeni di subsidenza sin-sedimentaria e attività tettoniche connesse con il basculamento delle Alpi Liguri (sfenocasma ligure) associato a deformazioni fragili lungo sistemi coniugati di faglie a direttrice complessa, legati ad una ripresa della dinamica distensiva del bacino del Mar Ligure (Fannucci et Alii., 1987) a partire dal Pliocene, come testimoniato dall'allineamento di depositi costieri pliocenici disposti in direzione N-E.

L'area in esame costituisce probabile "depressione " tettonica, impostata su un sistema di faglie N-S coniugate e dirette di origine sin-tettonica, interessata da dinamiche miste e congiunte di tipo fluvio-torrentizio olocenico – quaternario (Torrente Quazzola), con ciclo sedimentario alluvionale discordante su un basamento sepolto, di morfologia complessa, costituito da rocce filladiche carbonifere ("Formazione di Murialdo/Ollano) in discordanza e sovrapposizione tettonica sul rocce prevarisiche del basamento Cristallino Savonese (Ortogneiss I).

Il contatto per sovrascorrimento tettonico pare impostato lungo la mediana della valle a stretto anfiteatro nel quale incide il Rio Santo.

In destra orografica, infatti, affiorano metasedimenti permiani, appartenenti al dominio brianzonese e, in particolare, al *Tegumento permo-carbonifero*, riferibili alla *Formazione di Murialdo* (*Carbonifero superiore*), alla *Formazione di Viola* (*Carbonifero superiore*) e agli *Scisti di Gorra*, in questo settore non cartografabili separatamente. Si tratta di alternanze di filladi scure con vene e lenti di quarzo e di scisti quarzoso micacei e sono caratterizzati da una tettonizzazione molto intensa che pregiudica la qualità dell'ammasso roccioso. In destra orografica rispetto al Rio santo, affiorano, invece, orto gneiss a grana grossa, talora fortemente scistosi di età Cambriano – Siluriano.

L'area in esame si pone in zona intermedia di raccordo (transizione) tra le due formazioni geologiche di basamento, in contesto rurale, debolmente antropizzato e/o rimaneggiato da locali interventi di viabilità minore come quella lungo il quale scorre di fatto il Rio Santo, per poi confluire nel T. Quazzola passando al di sotto di Via Tecci.

Nel tratto terminale dell'area in esame, come da carta geologico geomorfologica con ubicazione indagini geognostiche in Tav. 1, i depositi, (fatta eccezione per i materiali rimaneggiati e di riporto superficiali), sono costituiti, alla luce delle informazioni stratigrafico-geognostiche ricavate e dalle evidenze dirette di rilevamento geologico, da tipica successione sedimentaria fluviale , irregolare, a lenti e plaghe, con variazioni ed eteropie sia tessiturali che granulometriche, laterali e verticali.

Nello specifico si rilevano sequenze di sabbie limose con ghiaia, limi sabbiosi e ghiaie sabbiose con ciottoli e trovantame, disposte a lenti nastriformi, allungate nel senso della paleo corrente fluviale, talora discordanti in profondità per contatto erosivo, sul

basamento cristallino alterato, disgregato e destrutturato, ad assetto caotico con "struttura" tipo granulare con scheletro litico portante costituito da scaglie e frammenti litoidi variamente miscelati ad elementi poligenici ghiaiosi.

Più nel dettaglio e nello specifico, sulla base di tutte le risultanze geognostiche di cui oltre, si sono discretizzati i seguenti orizzonti geologico-geotecnici:

- Orizzonte R: depositi alluvionali variamente rimaneggiati in superficie con talora terreni di riporto: sabbia limosa o deb. limosa con pietrame e ghiaia eterometrica subangolare

- Depositi alluvionali Rio Santo / T. Quazzola (Fluviale medio recente)

Si distinguono tre orizzonti specifici e presenti in entrambi i sondaggi, dall'alto verso il basso:

A : sabbia ghiaiosa con ciottoli eterometrici

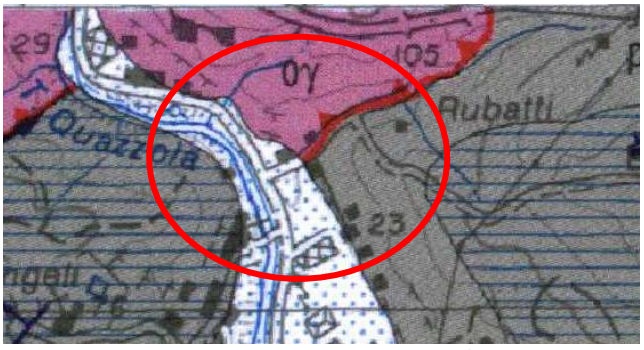
B: sabbia limosa con ghiaia e ciottoli eterometrici

C: sabbia media (talora limosa) con ghiaia e ciottoli eterometrici

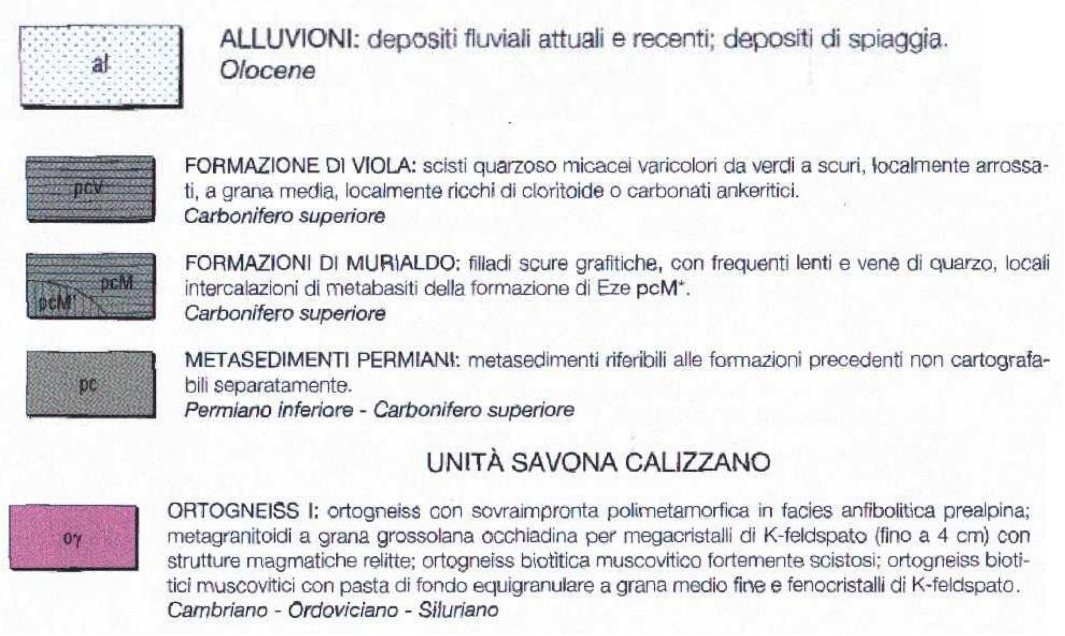
Talora presenti interstrati tipo B1, di ghiaia e ciottoli con trovantame alterato e destrutturato

- Substrato roccioso (orizzonte SR) da alterato a molto fratturato, costituto da scisti micacei-quarzosi grigio verdastri e orto gneiss, in condizioni di argillificazione, sia per condizioni di sottofalda che di deformazione e stress tettonico. Si rinvengono come sabbie limose con scaglie e frammenti litoidi alterati e disarticolati.

Il contatto in discordanza tra i depositi alluvionali e il substrato talora è incerto e discontinuo con passaggio irregolare in ragione di substrato fratturato e disarticolato.



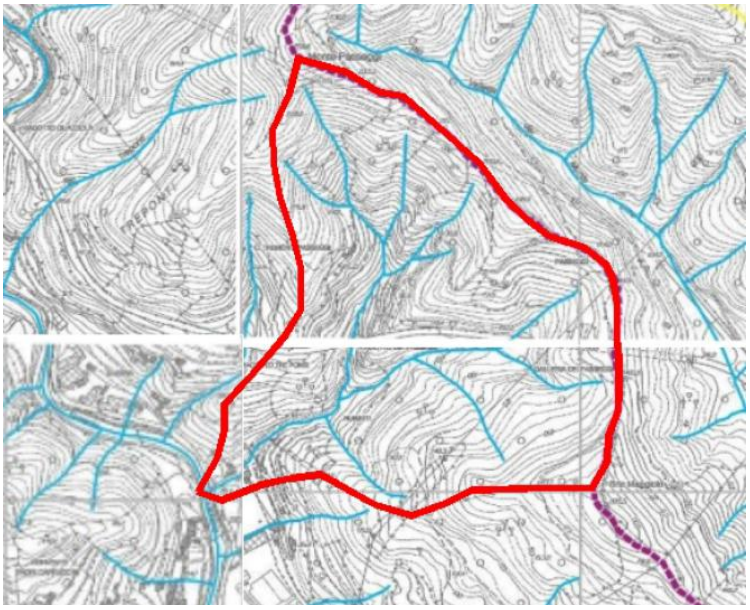
Estratto Carta geologica con elementi di geomorfologica Fg. 229.3 Vado Ligure CARG



Dal punto di vista idrogeologico, le informazioni in possesso indicano nell'area una falda di subalveo, interagente con il T. Quazzola, secondo una struttura del tipo "sistema globale acquifero-fiume", con rapporto diretto tra falda e piana alluvionale con alimentazione garantita e da processi di dispersione in subalveo e in parte dalle ricariche provenienti dai sistemi orografici perimetrali di displuvio. Dai dati a disposizione, indicativamente, il limite superiore della superficie piezometrica libera oscilla tra 6 e 7 m da p.c., suscettibile però di risalita, proprio perché in diretto contatto con il T. Quazzola e il suo conseguente aumento di deflusso superficiale in concomitanza con eventi di intensa piovosità.

L'area interessa infatti il tratto terminale del T. Quazzola, ormai da tempo rettificato e inalveato artificialmente con muri d'argine a causa dell'intensa attività antropica che ne caratterizza entrambe le sponde.

Il Rio Santo altresì scorre in contesto impermeabilizzato su fondo tipo stradale confinato da muri di confine ed opere irregolari e discontinue e costituisce, nella zona d'interesse, tratto d'asta terminale di 3° ordine, di un bacino idrografico di tipo dentritico, che drena un anfiteatro morfologico arcuato tra la spalla destra della dorsale di M. Passeggi e la spalla sinistra del contrafforte di Bric Maggiolo. La morfologia delle aree in esame è pianeggiante, in contesto talora regolarizzato a fasce e/o piccole scarpate in riporto pertinenziali.



Sotto il profilo della permeabilità, in via media e indicativa i terreni interessati dall'opera in progetto hanno caratteristiche molto differenziate:

- fortemente permeabili per porosità sono le coperture alluvionali attuali del Torrente Quazzola, caratterizzate in buona parte da granulometrie medio-grossolane; in linea di massima il coefficiente di permeabilità K può essere assunto non inferiore a 10^{-3} cm/sec;
- il fluviale medio recente, in considerazione sia della condizione di addensamento, sia della marcata presenza di una componente fine, ha una permeabilità più limitata ed il coefficiente K può essere assunto dell'ordine di $10^{-5/7}$ cm/sec;
- praticamente impermeabile è il substrato litoide delle filladi e degli scisti

A tale riguardo, per una definizione più rigorosa sono state eseguite, entro il sondaggio S1 (sponda sinistra) n. 2 prove di permeabilità in foro tipo Lefranc (a carico variabile), entro i livelli di tipo A e B, tra 2 – 5 m da p.c. che hanno evidenziato (vedi oltre) permeabilità del grado di $10^{-6} – 10^{-7}$ m/sec.

Per quanto concerne la falda idrica:

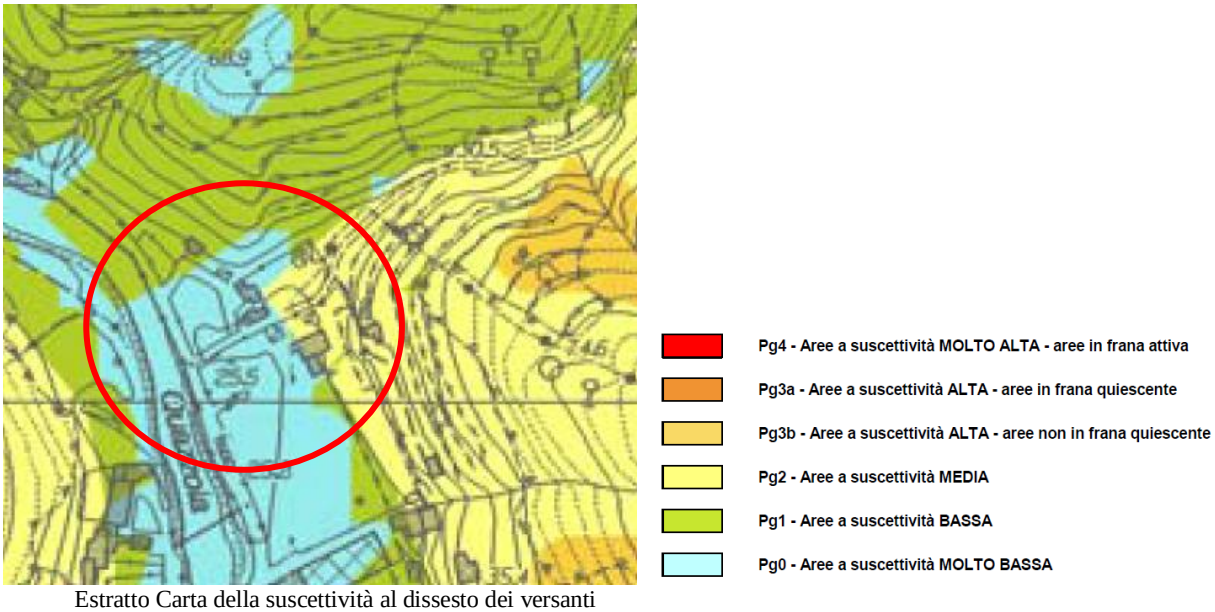
- è di tipo freatico, prodotta da infiltrazioni superficiali;
- è per lo più contenuta all'interno del livello costituito dai materiali alluvionali superficiali, i quali rappresentano l'acquifero.
- è alimentata sia dall'infiltrazione superficiale, sia dalle acque provenienti dal versante che si infiltrano all'interno del materasso alluvionale della piana;

Inoltre, nella piana alluvionale i deflussi di subalveo sono regolati dall'interscambio fiume-falda, con il fiume che agisce da dreno naturale nei confronti della falda ma, durante la stagione secca, tale azione si inverte e il fiume alimenta la falda.

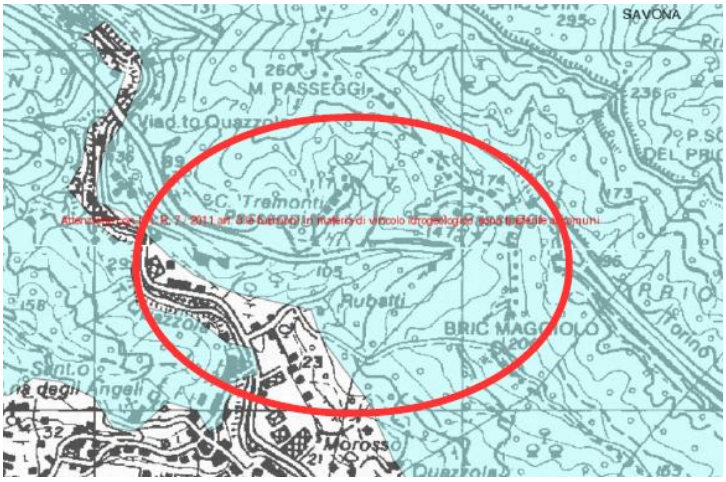
Sulla base delle indagini di dettaglio eseguite e dei livelli di falda registrati nei fori di sondaggio, sia in destra che sinistra alla sede d'alveo del Rio Santo, si ipotizza una circolazione freatica attiva plano parallela all'asta fluviale, suscettibile di oscillazioni anche importanti in concomitanza con eventi pluviometrici intensi.

3. PERICOLOSITA' GEOLOGICA E COMPATIBILITA' PIANO DI BACINO

L'esame della cartografia di analisi del Piano Stralcio sul rischio idrogeologico del bacino del Torrente Quiliano, redatto ai sensi del D.L. 180/98 e s.m.i. e aggiornato ai sensi delle D.d D.G. n. 176/2018, con riferimento alla Carta di Suscettività al Dissesto dei versanti, inserisce il sito in esame in parte classe a suscettività molto bassa al dissesto Pg0 (zona tratto confluenza T. Quazzola), in parte, nel tratto più a monte in zona PG2 (suscettività Media).

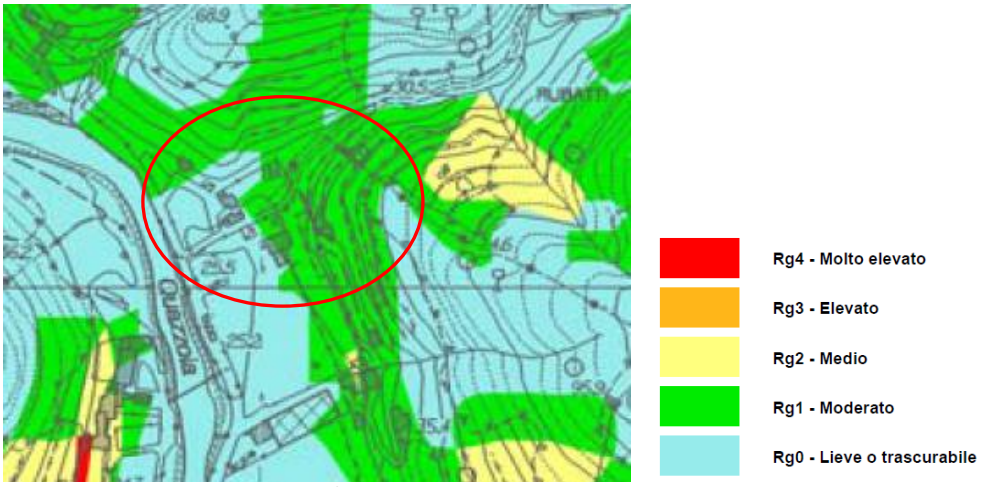


Estratto Carta della suscettività al dissesto dei versanti
PDB Quiliano



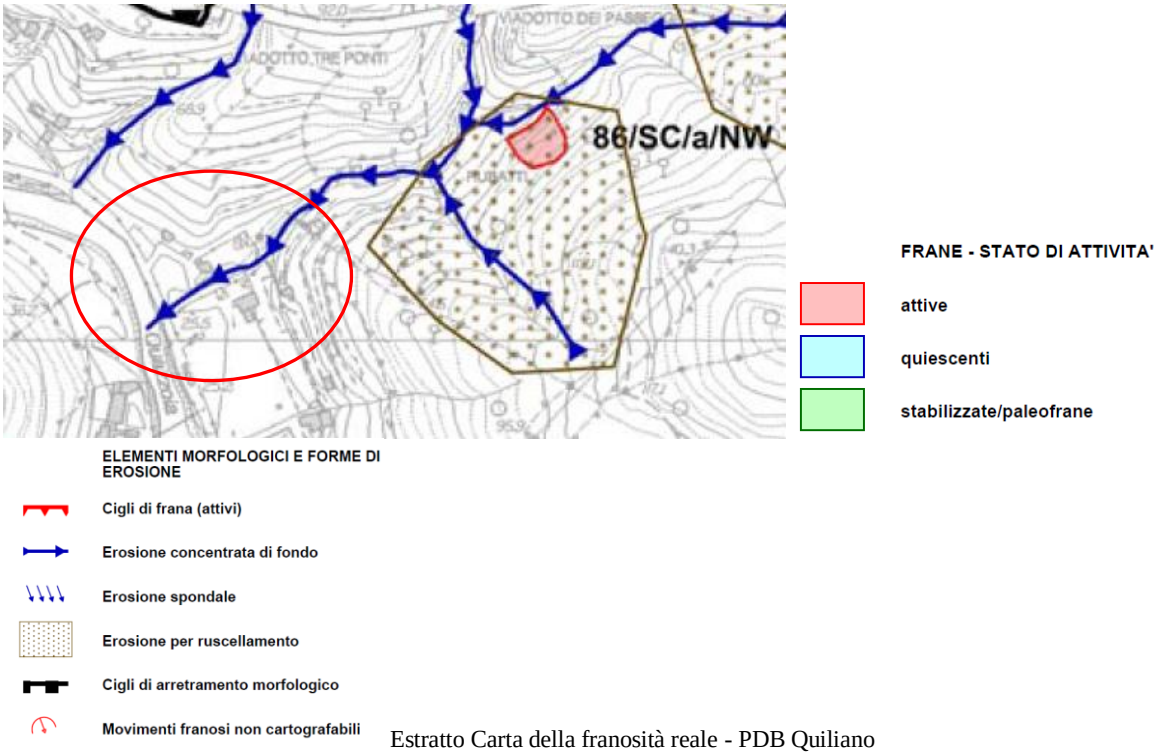
Come da acartografia Geoportale Web Provincia di Savona, l'area altresì, ricade quasi interamente in zona soggetta a vincolo idrogeologico, ai sensi L.R. 4/99 e s.m.i., con T. Quazzola iscritto come rio soggetto a vincolo paesistico.

In accordo con quanto emerso dal rilevamento geologico di dettaglio, relativamente al rischio geomorfologico, la cartografia tematica PdB Quiliano, evidenzia rischi da Lieve/trascurabile RG0 a Moderato (RG1).



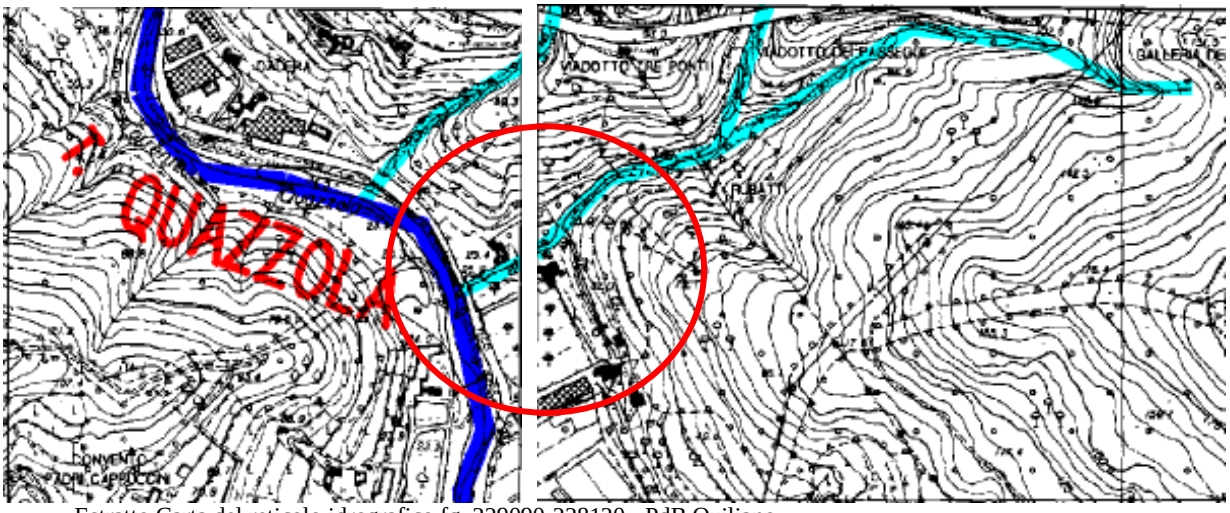
Estratto Carta del Rischio Geomorfologico
PDB Quiliano

In accordo altresì con quanto riportato sul portale web dell'inventario dei Fenomeni Franosi Italiani – Regione Liguria, non si ravvisano fenomeni franosi macrolocali in atto e/o contesti geomorfologici suscettibili di ri-attivazione su larga scala, nonchè relitta riconducibili anche a fratture di trazione macrolocali, tracce di creep corticale e/o avvallamenti da subsidenza. L'area non è, inoltre, prossima ne pertinente a centri di pericolo ambientale quali discariche, siti da bonificare, industrie a rischio, infrastrutture, cisterne, serbatoi o stoccaggio rifiuti, ne risulta interessata da zona di conoide attiva non protetta in evoluzione. Relativamente al grado di protezione dell'acquifero e alla sua vulnerabilità in ragione dell'intervento previsto, non sussistono particolari problematiche d'inquinamento e/o alterazione del regime piezometrico attuale. L'area non è, inoltre, in zona di salvaguardia di captazioni ad uso idropotabile e/o in zone ad elevata vulnerabilità degli acquiferi sfruttati ne presenta fenomenologie attive o latenti carsiche.



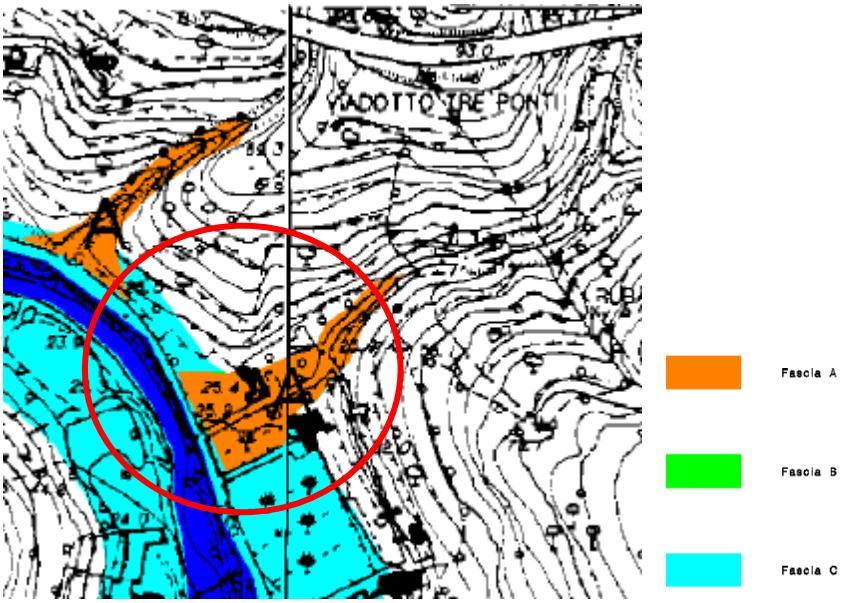
Estratto Carta della franosità reale - PDB Quiliano

Anche la Carta della franosità reale - PDB Quiliano conferma quanto sopra, rilevando solo la problematica di tipo idraulico relativa al deflusso con erosione concentrata di fondo ad opera del Rio Santo in sede d'alveo impermeabilizzata e non regimata, oggetto degli interventi di adeguamento e mitigazione in essere.



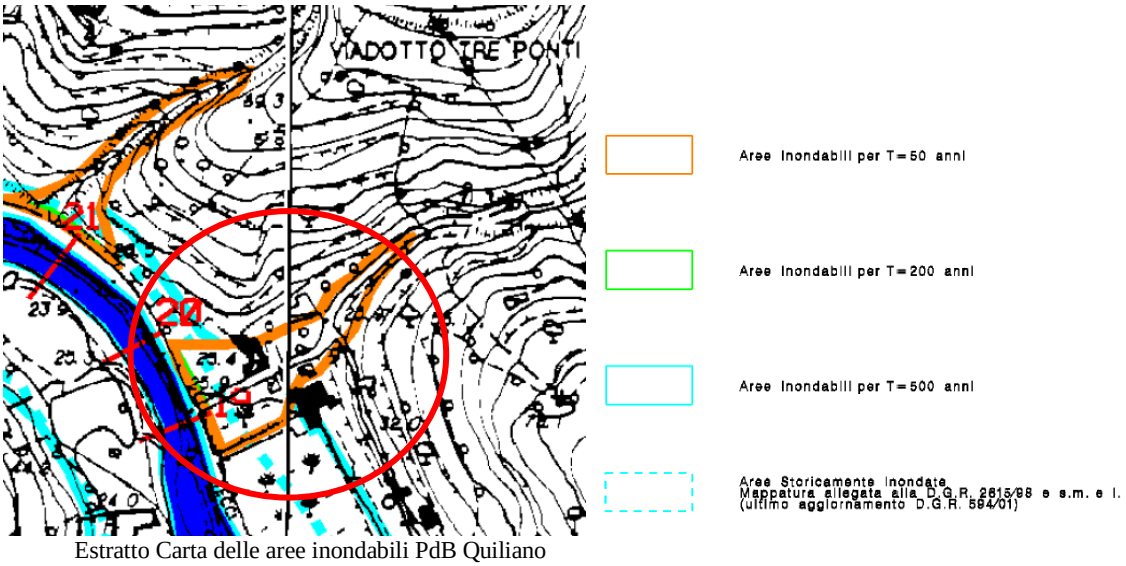
Estratto Carta del reticolo idrografico fg. 229090-228120 - PdB Quiliano

Dalla Carta delle fasce di inondabilità si ricava invece che l'area in esame è soggetta a problematiche di tipo idraulico lungo l'asta mediana e per buona parte delle sue aree di espansione a ventaglio che ricadono in Fascia A. Tale situazione è confermata anche dalla Carta delle aree inondabili, dove la probabilità di inondabilità è prevista con tempo di ritorno di 50 anni (Fascia A – rossa).

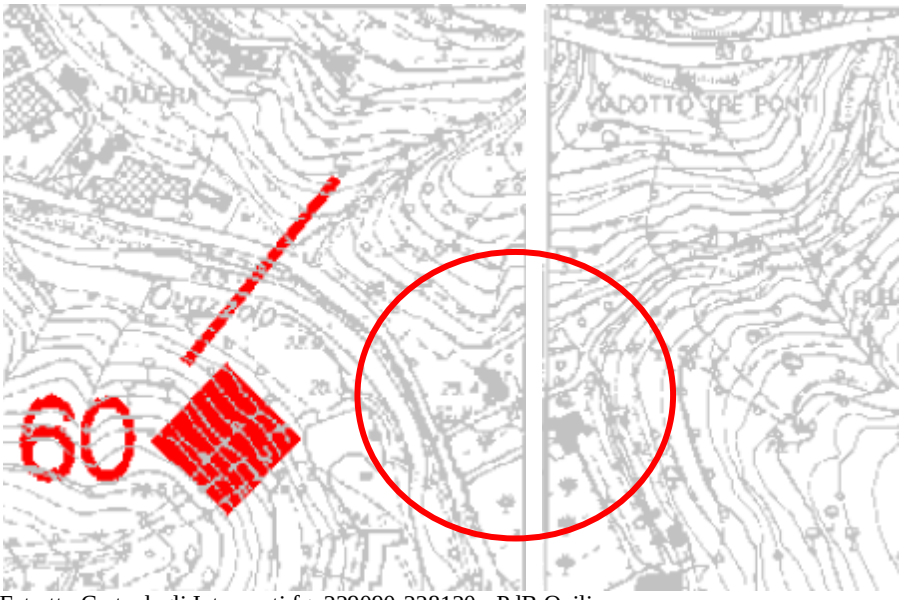


Estratto Carta delle fasce di inondabilità PdB Quiliano

La Carta degli interventi, infine, non mostra ne evidenzia opere e/o interventi di sistemazione ostativi al progetto in essere.



Estratto Carta delle aree inondabili PdB Quiliano



Estratto Carta degli Interventi fg. 229090-228120 - PdB Quiliano

3. PERICOLOSITA' E RISCHIO SISMICO

Nella tabella che segue sono riassunti e riportati gli eventi più importanti riguardanti i dati di sismicità storica relativi al Comune di Quiliano, estratti dal dai cataloghi pubblicati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.).



Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1887	02	23	05	21	50	Liguria occidentale	1511	9	6.27
5	1917	01	07	03	39		Savonese	32	5	4.35
3-4	1917	05	01	08	30		Liguria occidentale	9	4	3.75
4	1993	07	17	10	34	0	Liguria occidentale	336	5	4.34
3	1996	11	25	19	47	2	Liguria occidentale	18		4.01
2-3	2000	08	21	17	14		Monferrato	595	6	4.94
4	2001	02	06	22	28	4	Mar Ligure	47	4-5	4.17





Fotografia satellitare con ubicazione delle zone sismogenetiche delle alpi liguri e dell'Appennino settentrionale

Le zone sismogenetiche che possono manifestare effetti sull'area in studio sono suddivise in tre distretti:

- la provincia di Imperia, il Nizzardo e le limitrofe zone a mare (ZS910);
- le Alpi cuneesi e Brianzonesi (ZS908-909);
- l'Appennino settentrionale e le sue propaggini sotto la pianura padana (ZS911).

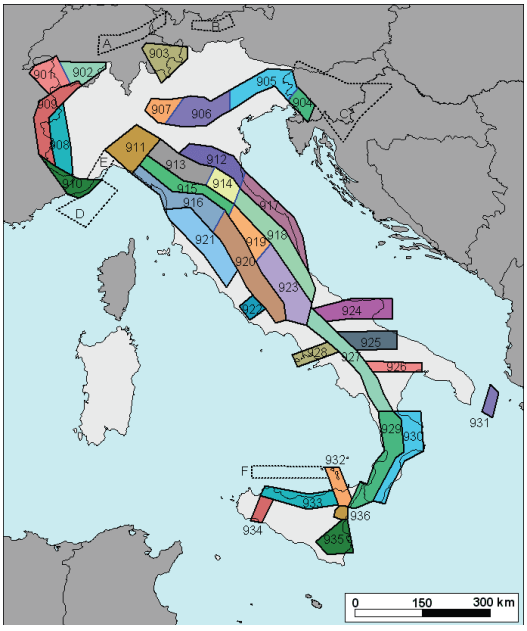
La prima zona costituisce un settore ad elevato rischio sismico esteso fra Diano Marina, la Francia e l'attiguo tratto di Mar Ligure. Studi eseguiti dalla Sezione di Geofisica del DI.S.T.A.V. dell'Università di Genova testimoniano la presenza di una struttura neotettonica costituita da un fascio di faglie che uniscono Saorge con Taggia, lungo la quale si registrano sequenze sismiche di basso livello, anche se in epoca storica è conosciuto un evento di intensità VIII nel 1831. Nel settore a mare si riscontrano 103 scosse di intensità variabile dal IV all'VIII grado della scala MCS, con punte del IX con epicentro a Genova il 10.08.1536. I meccanismi sono attribuiti a sistemi di faglie inverse.

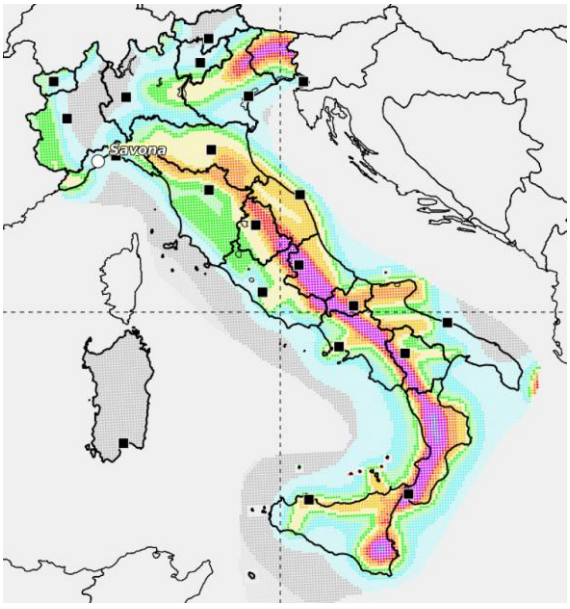
La seconda zona comprende buona parte delle Alpi Marittime, in una fascia compresa fra Limone e Valdieri a sud e Cuneo - Dronero a nord. Gli eventi registrati in questo distretto sono stati complessivamente 150, con intensità fino al VII grado ed ipocentri attestati mediamente sui 30 *km* di profondità con massimi a 60 *km*. La sismicità locale più recente è legata al sistema di faglie NW-SE della *Linea di Bersezio* e della prosecuzione di queste verso Briançon (distretto FRSA001), che mostra una certa attività sul territorio italiano e francese. Gli ipocentri sono localizzati in un intervallo di profondità compreso fra 5 e 20 *km* e sono allineati su piani immergenti fra 250 e 300° con inclinazioni di 60-70°. I meccanismi di questo distretto sono di tipo diretto e trascorrente.

Per quanto concerne l'Appennino settentrionale, il distretto sismogenetico più vicino riguarda il settore tortonese e il cosiddetto *Arco di Pavia*. In tale ambito si sono registrati 235 terremoti con magnitudo massima 4,1 e profondità comprese fra 8 e 12 *km*. I meccanismi focali di questa zona sono riconducibili a faglie trascorrenti.

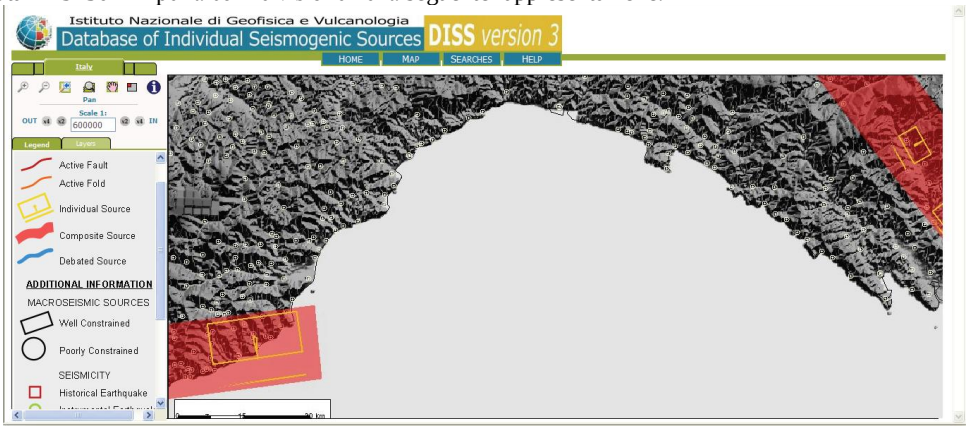
Nella carta probabilistica di pericolosità sismica, redatta dall'INGV (2006), adottata nell'Ordinanza P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006, nel territorio del Comune di Quiliano sono attese accelerazioni al *bedrock* comprese fra 0,05 – 0,075 *g*.

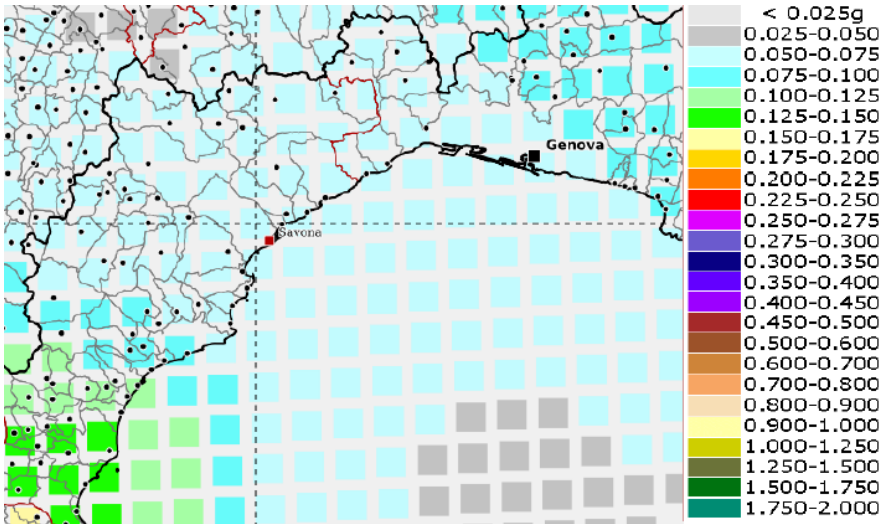
Tali accelerazioni sono calcolate con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, corrispondente allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), come descritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.





Il basso grado di sismicità attesa nella zona di Savona è dato dalla lontananza a strutture sismo genetiche, la più vicina delle quali è denominata ITIS130 - Imperia com'è visibile nella seguente rappresentazione.

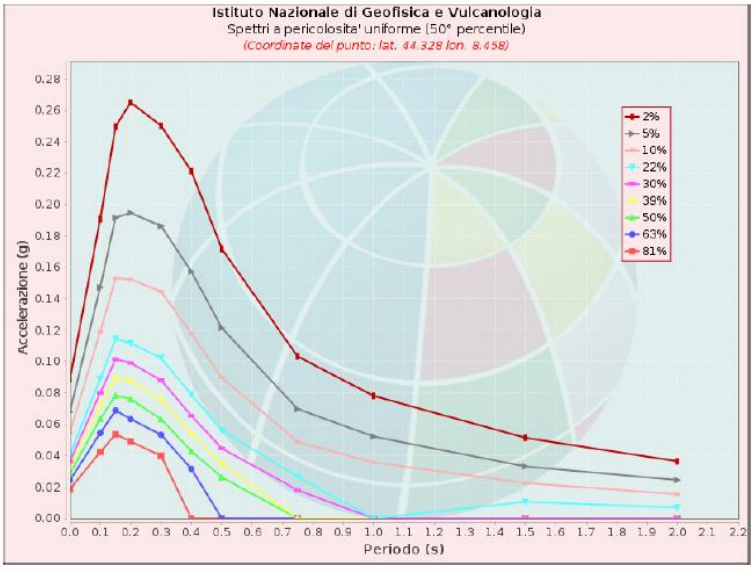


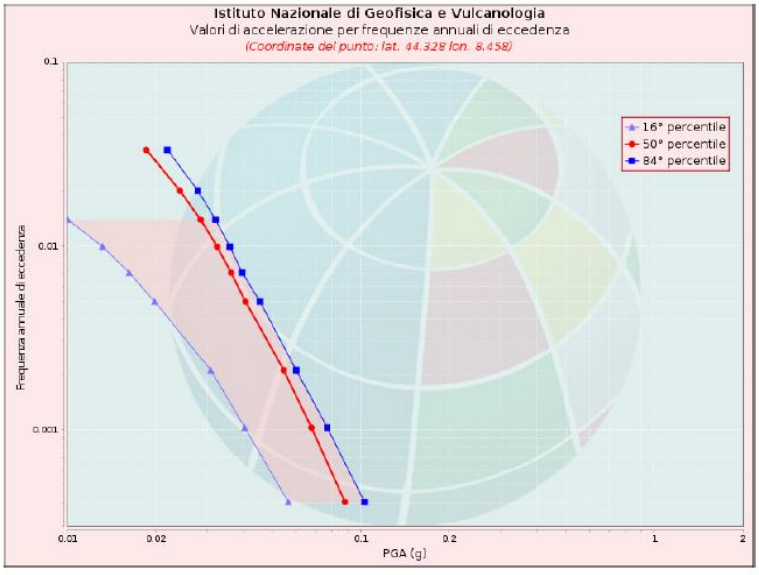


Vengono altresì allegate la curva di pericolosità, ovvero l'insieme dei valori di scuotimento (PGA) per le diverse frequenze annuali di eccedenza, riferiti al valore mediano (50esimo percentile) e le curve dello spettro a pericolosità uniforme.

Da ultimo è riportato l'estratto relativo al grafico di disaggregazione che evidenzia la magnitudo attesa dal sito dell'epicentro in esame, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni e pari a (distanza in km):

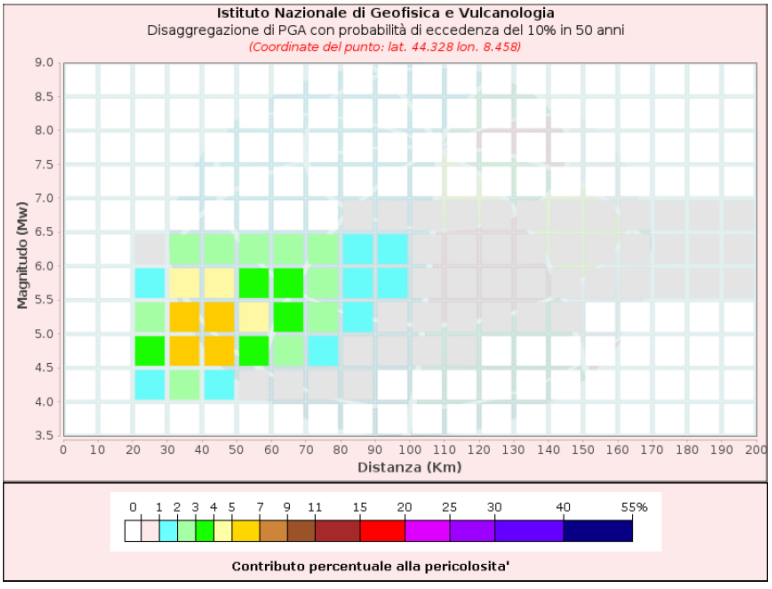
```
Valori Medi: magnitudo = 5.36 ; distanza = 52.9 ; epsilon = 1.23
```





ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Grafico di disaggregazione
Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.
La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.



4. CLASSIFICAZIONE SISMICA DI SITO

Indagine HVSR

Per una corretta classificazione sismica del sito, lo scrivente ha eseguito in sito, n. 2 indagini geofisiche mediante Tromografo ECHO TROMO HVSR 3 della Ambrogeo, con la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) applicata alle onde di superficie (Rayleigh e Love) generate da sorgenti ambientali superficiali (microtremori).

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza degli edifici e/o dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera, ovvero operando classificazione sismica del sito. Nella tecnica HVSR comunemente impiegata nella geologia applicata i microtremori registrati derivano da sorgenti superficiali e sono composti essenzialmente da onde di superficie (Rayleigh e Love). Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali, moto ondoso, perturbazioni atmosferiche, ecc., sia all'azione antropica, traffico veicolare, macchinari, ecc..

Vengono misurate, in certo intervallo di frequenze, solitamente 0.1-100 Hz, le velocità dei microtremori lungo il piano orizzontale e verticale (H e V) e il rapporto fra le due componenti (H/V). I valori di massimo locale (picchi positivi) di H/V ai quali corrispondono minimi locali di V individuano le frequenze di risonanza degli strati di terreno lungo la verticale di misura. Più elevato è il valore del rapporto H/V maggiore è il contrasto di impedenza sismica e quindi la variazione di velocità delle onde S fra livelli stratigrafici contigui.

La tecnica HVSR richiede l'utilizzo di un velocimetro triassiale, cioè di un sismometro a stazione singola in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), in un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 10-20 minuti). Il moto indotto nel terreno viene misurato in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z), secondo il passo di campionamento impostato dall'operatore. Le misure registrate vengono poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, dove H è la media delle misure lungo X e Y) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della frequenza).

Attraverso la tecnica HVSR è possibile:

- valutare in maniera quantitativa gli effetti di sito (risposta sismica locale e suscettibilità alla liquefazione del terreno);
- ricavare il profilo delle velocità delle onde S con la profondità e calcolare il parametro V_{s30};
- analizzare la vulnerabilità sismica degli edifici, esistenti o in progetto.

La valutazione del parametro V_{s30} può essere condotta attraverso l'inversione vincolata dello spettro H/V ricavata con il velocimetro triassiale (Tromografo). In pratica viene utilizzata la relazione che lega la frequenza di risonanza del terreno (f) alla velocità delle onde S nel terreno stesso (Vs):

$$f(Hz) = \frac{Vs}{4h}$$

dove *h* è la profondità della base dello strato. Nota la profondità di un singolo livello stratigrafico, solitamente il primo, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V, modellando la curva sintetica in modo da ottenere la sovrapposizione con quella misurata. La procedura d'inversione comporta la definizione di un modello stratigrafico iniziale e dal successivo calcolo dello spettro H/V che ne deriva. La curva H/V teorica viene confrontata con quella sperimentale e, attraverso un procedimento per tentativi, si modifica il modello iniziale fino a ottenere una soddisfacente sovrapposizione delle due curve. Per tener conto di un comportamento debolmente dissipativo del terreno, i valori di velocità delle onde P e S inseriti nel modello vengono corretti inserendo un fattore di smorzamento uguale a 0,05 per le onde S e uguale a 0,017 per le onde P. Normalmente i picchi alle alte frequenze (>10 Hz) segnalano la presenza di passaggi stratigrafici molto superficiali, quelli alle basse frequenze (<1 Hz) variazioni stratigrafiche molto profonde.

Lo strumento utilizzato è un Tromografo / velocimetro triassiale con geofoni frequenza 4.5 Hz; la lunghezza di registrazione è stata pari a 1200 sec e la frequenza di campionamento pari a 155 Hz. Il file da elaborare prodotto è, conforme allo standard .SAF (SESAME, 2003),. SESAME. Il programma utilizzato per l'elaborazione dei dati è GEOHVSR ver. 1.2 della Program Geo.
L'elaborazione dei dati è stata condotta operando:

A) finestra di campionamento L_w pari a 20 sec

Su queste finestre di durata uguale a L_w secondi viene applicata la trasformata diretta di Fourier allo scopo ricavare l'ampiezza spettrale in funzione della frequenza per ognuna delle tre componenti registrate (EW, NS e Z). Viene quindi visualizzato, in forma grafica (grafico tempo-frequenza), per ognuna delle finestra temporali l'andamento del logaritmo decimale del rapporto fra la media quadratica dell'ampiezza spettrale componenti orizzontali (EW e NS) divisa per l'ampiezza spettrale della componente verticale. Nel programma questa operazione viene eseguita due volte: la prima sui dati di campagna non lisciati, la seconda sugli stessi dati con l'applicazione della funzione di lisciamento di Konno e Ohmachi e di un'eventuale filtro per le ampiezze. Di seguito si riporta il grafico Spettro H/V – Rapporto H/V con la curva H/V teorica in sovrapposizione a quella sperimentale, elaborata utilizzando un modello stratigrafico con deviazione standard 0.02.

B) individuazione dei picchi stratigrafici sui quali vincolare l'elaborazione.

L'individuazione dei picchi stratigrafici avviene attraverso il confronto fra l'andamento dello spettro H/V e lo spettro della componente verticale. I picchi stratigrafici sono quelli per i quali a un massimo locale nella curva H/V corrisponde, alla stessa frequenza, un minimo locale nella curva della componente Z. Nel programma viene visualizzata la tabella riassuntiva delle correlazioni individuate contenente le seguenti colonne:

- frequenza del massimo H/V stratigrafico;
- ampiezza del massimo H/V stratigrafico;
- fattore K_g (vedi Teoria e Normativa);
- altezze degli edifici (H1, H2, H3) che possono andare in doppia risonanza alle frequenze dei picchi H/V individuati
- criteri SESAME per l'attendibilità dei picchi H/V individuati

C) inversione della curva H/V e ricostruzione del modello geofisico del sottosuolo, utilizzando i dati stratigrafici noti ed emersi dalle indagini geognostiche e dal rilevamento geologico di superficie.

La generazione del modello iniziale viene ottenuta attraverso i seguenti passaggi:

- fissato il valore di Vs del primo strato, viene stimata la profondità della base dello stesso con la relazione:

$$H_1(m) = \frac{Vs_1}{4 f_1}$$

  dove f_1 è la frequenza del primo picco H/V stratigrafico individuato, partendo dalle frequenze più alte;
- in alternativa, nota la profondità della base del primo strato (H_1), viene calcolata la velocità delle onde S attraverso la formula:

$$Vs_1(m) = 4 f_1 H_1;$$

- viene valutata la profondità della base del secondo livello stratigrafico con la relazione:

$$H_2(m) = \frac{Vs_1}{4 f_2};$$

  dove f_2 è la frequenza del secondo picco H/V;
- la Vs del secondo livello viene stimata variandone a tentativi il valore numerico e calcolando il corrispondente H/V teorico $(H/V)_T$ che andrà poi confrontato con l'ampiezza del picco H/V misurato $(H/V)_M$; il valore di Vs per cui si ha $(H/V)_T \approx (H/V)_M$ verrà utlizzato per caratterizzare il secondo strato;
- si ripete la procedura fino all'ultimo picco H/V stratigrafico individuato.

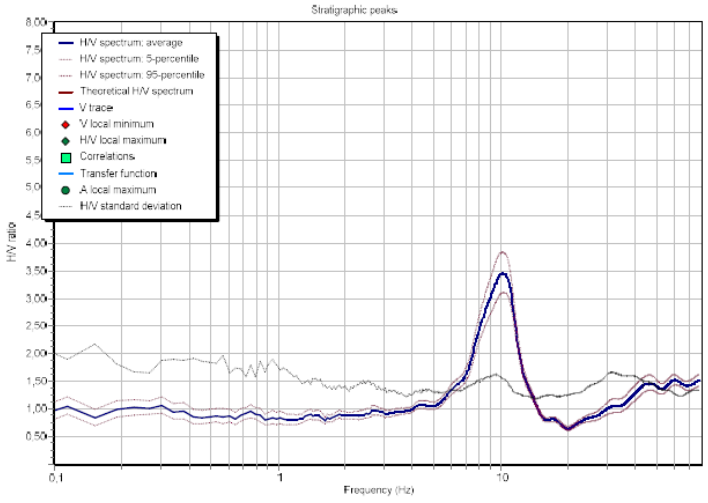
D) Il modello stratigrafico (vincolato dalle informazioni stratigrafiche geognostiche dirette in possesso) utilizzato per il *best fit* del modello geofisico, consente l'elaborazione del profilo andamento delle Vs equivalente in funzione della profondità nonché di determinare la categoria del sottosuolo stimata secondo il D.M.2018.

Come da planimetria in tav. 1, l'indagine HVSR A è stata eseguita in corrispondenza e prossimità del sondaggio S2, l'indagine HVSR B nella zona prossima all'area indagata con il sondaggio S1. Le evidenze emerse dall'indagine HVSR sono correlabili sia con i dati puntuali delle prove DPM che con quelli dei sondaggi a carotaggio.

HVSR A

Il profilo Vs / profondità oltre riportato evidenzia:
- Vs crescente con la profondità
- contrasto impedenza Vs a circa 4.0 m riconducibile con interfaccia orizzonti A/ B
- contrasto impedenza Vs a circa 14 m riconducibile a interfaccia depositi alluvionali e substrato roccioso alterato
- contrasto impedenza Vs a circa 20 m riconducibile a interfaccia substrato roccioso sano

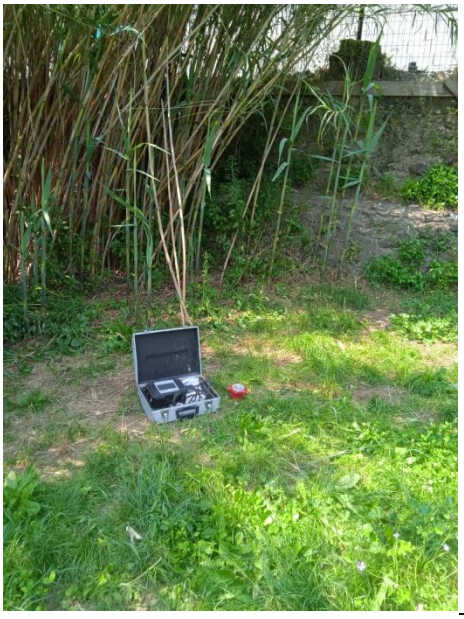


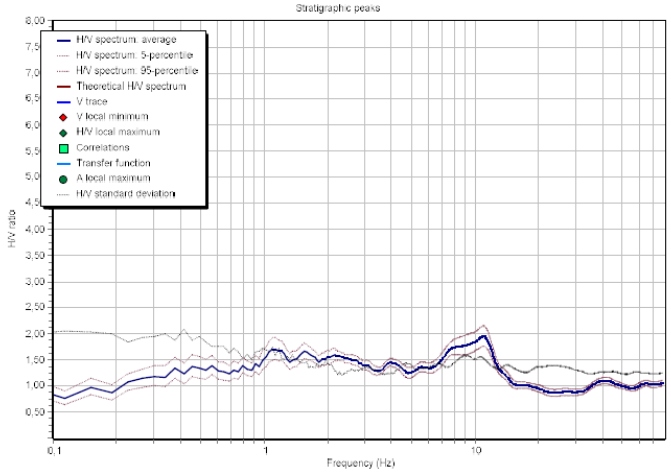


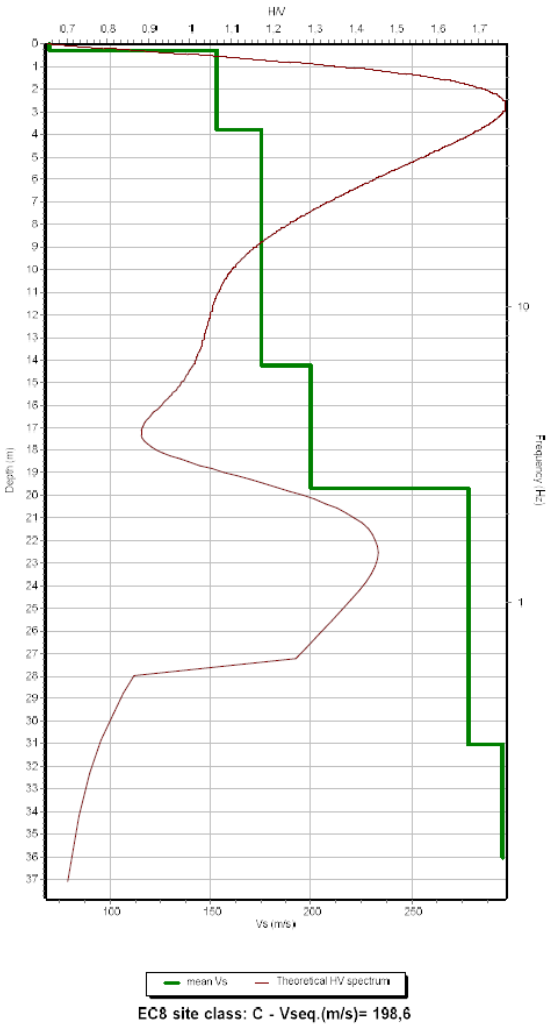
Spettro H/V

HVSR B

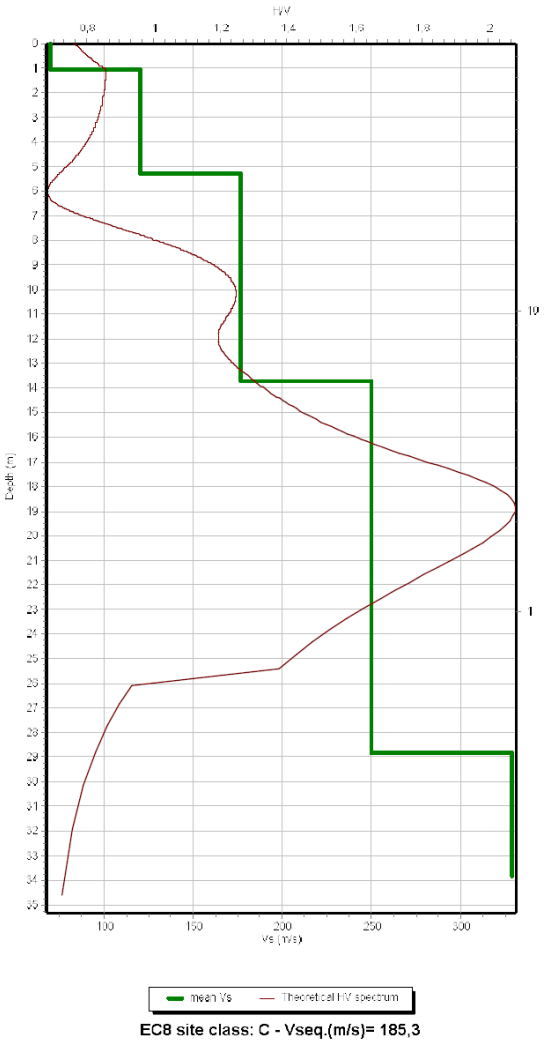
Il profilo Vs / profondità oltre riportato evidenzia:
- Vs crescente con la profondità
- contrasto impedenza Vs a circa 5.0/5.5 m riconducibile con interfaccia orizzonti A/ B
- contrasto impedenza Vs a circa 14 m riconducibile a interfaccia depositi alluvionali e substrato roccioso alterato
- contrasto impedenza Vs a circa 29 m riconducibile a interfaccia substrato roccioso sano







Profilo Vs / profondità HVSR A



Profilo Vs / profondità HVSR B

Sulla base delle informazioni e delle analisi eseguite dal Servizio Sismico Nazionale, il quadro sismotettonico del territorio comunale di **QUILIANO** è caratterizzato da un grado di rischio sismico, quantificato come indicato nel D.G.R. n. 1362 del 19/11/2010 "Aggiornamento classificazione Sismica del territorio della Regione Liguria ai sensi del - *al D.G.R. n. 216 del 17/03/2017 "Aggiornamento classificazione Sismica del territorio della Regione Liguria",* in **zona sismica 3.**

Nello specifico si prevedono accelerazioni di ancoraggio dello spettro di risposta elastico comprese in una fascia di accelerazione stimata con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, compresa tra 0.075 – 0.15 g.

Senza entrare nel dettaglio, lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali è definito da quattro espressioni (periodi T, Tb, Tc, Td), ciascuna delle quali è funzione di alcuni parametri tra cui:

- ag : l'accelerazione di base (che dipende dalla collocazione del sito rispetto alla griglia di accelerazioni INGV);
- η: il fattore di alterazione dello spettro elastico per coefficienti di smorzamento convenzionali diversi dal 5%;
- Fo: il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima (che dipende dalla collocazione del sito all'interno della griglia di accelerazioni);
- Tc: Cc x Tc* il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro (in cui Cc dipende dalle condizioni sismostratigrafiche sel sito - vedi in seguito le categorie di sottosuolo – e Tc* dipende dalla collocazione del sito);
- S: il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione **S = Ss * St** in cui

Ss = coefficiente di amplificazione stratigrafica (funzione della categoria di sottosuolo)
St = coefficiente di amplificazione topografica (che dipende dalla posizione topografica del sito).

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, con le modalità precisate dalle NTC 2018, per tener conto delle modifiche prodotte dalle **condizioni stratigrafiche locali** del sottosuolo nel sito di costruzione e dalla morfologia in superficie. Tali modifiche caratterizzano la **risposta sismica locale (RSL)** , ovvero l'azione sismica prodotta in superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, subite per effetti morfologici o subite trasmettendosi dal substrato rigido attraverso le coperture. I diversi profili sismostratigrafici del sottosuolo, in base alle caratteristiche di spessore e di rigidezza elastica (prodotto della densità per la velocità al quadrato delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base, in funzione della natura, spessore e soprattutto velocità di propagazione delle onde di taglio Vsh (componente orizzontale delle onde di taglio) all'interno delle coperture. A parità di impedenza sismica del substrato (prodotto della velocità delle onde di taglio Vs per la densità ρ), l'amplificazione cresce quanto minore è l'impedenza sismica dei terreni di copertura.

La risonanza si ha per T = Tr = 4H/(n Vs) (con n = 1, 3, 5; H = spessore della copertura e Vs = velocità del primo strato a bassa impedenza). L'assetto superficiale dei terreni ricoprenti il substrato roccioso controlla quindi il fenomeno della risonanza sismica per frequenze critiche, con esaltazione delle frequenze dello spettro all'interno del range di frequenze di interesse ingegneristico (0,5÷10 Hz).

Categorie di sottosuolo

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

- hi spessore dell'i-esimo strato;
- VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

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.

Condizioni topografiche

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove St assume valore unitario. St si utilizza solo se H > 30 m.

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST in funzione delle categorie topografiche definite nel § 3.2.2 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

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°

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

Quadro sismico di progetto:

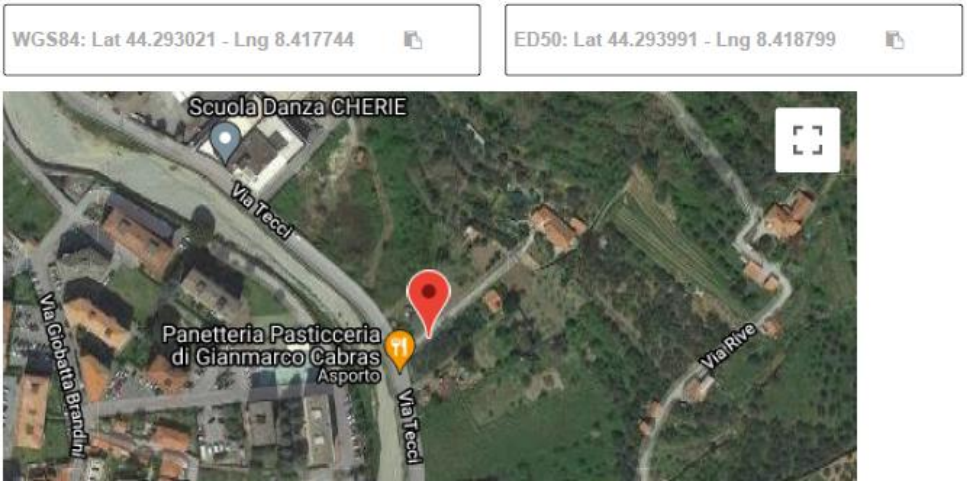
L'elaborazione dell'analisi HVSR eseguita in sito, di cui Sopra, unitamente ai dati geo-stratigrafici e morfologici, consente di classificare il sito in studio, ai sensi dell'Ordinanza citata nel metodo previsto dal D.M. 2018 in:

Categoria di Sottosuolo: **C (E)**
Categoria topografica : **St = 1.0 (T1)**

Con riferimento al punto 2 (Sicurezza e Prestazioni Attese) delle N.T.C. D.M. 2018, l'opera viene individuata come segue:

Opera strutturale di Tipo 2
Vita Nominale Vn > 50 anni
Classe d'uso II
Per quanto riguarda il punto 2.2 delle N.T.C. D.M. 2018 (Azione Simica), si è proceduto a determinare i Parametri Sismici di Progetto del sito al fine di determinare la pericolosità sismica di base.

Si determina, individuato il sito e interpolando i quattro punti più vicini della maglia di riferimento definita dall'O.P.C.M. 3519/2006, il seguente quadro sismico di progetto: (*sito elaborazione GEOSTRU P.S. 2017*)



Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.019	2.577	0.158
Danno (SLD)	50	0.025	2.542	0.187
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.057	2.611	0.306
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.073	2.653	0.326
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Cat. Sottosuolo: C

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,50
CC Coeff. funz categoria	1,93	1,83	1,55	1,52
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.017	0.033	0.000
kv	--	0.009	0.016	--
Amax [m/s²]	0.274	0.361	0.839	1.071
Beta	--	0.470	0.380	--

5. INDAGINE GEOGNOSTICA

La campagna d'indagine geognostica si è articolata in:
- n. 2 sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT in avanzamento
- n. 5 indagini penetrometriche DPM

L'ubicazione delle indagini è riportata sulla planimetria in Tav. 1.

Nel foro di sondaggio S1 sono state eseguite n. 2 prove di permeabilità tipo Lefranc.

Eseguiti, infine , test di cessione ambientale su campioni di terreno, onde certificare le terre e rocce da scavo.

Il sondaggio S1 è stato eseguito sul mappale 147 (sponda sinistra Rio santo), il sondaggio S2 è stato eseguito sul mappale 117 (sponda destra Rio Santo).

5.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI

La campagna d'indagine dei sondaggi geognostici a carotaggio continuo è iniziata in data 14/6/2021 ed è terminata in data 16/6/2021. I report fotografici delle cassette con carote estratte sono allegati al "Rapporto indagini geognostiche" emesso da M3D srl. con data 22/6/2021, parte integrante della presente relazione geologica (fatta eccezione per le stratigrafie indicative). **Per le stratigrafie infatti, si rimanda a quelle redatte dallo scrivente e allegate alla presente.**

Sul log stratigrafico è riportata la colonna stratigrafica con descrizione granulometrica e sequenza litologica, recupero percentuale totale di carotaggio e recupero R.Q.D., note varie relative a problematiche esecutive e/o a particolari evidenze.

Il report specifica per i terreni semi coesivi e granulari lo stato di consistenza, e il grado di umidità Nel caso di terreni litoidi viene evidenziato il grado di fatturazione, la tipologia delle discontinuità e delle strutture e il grado di alterazione.

La perforazione è stata eseguita utilizzando Sonda Berretta T45 S e carotiere semplice diam. 101 mm, con rivestimento provvisorio diam. 127 mm. In avanzamento sono state eseguite prove SPT (Standard Penetration Test) a punta chiusa.

L'attrezzatura utilizzata per l'esecuzione della prova S.P.T. è stata quella di dimensioni standard (Raccomandazioni A.G.I. per la programmazione e l'esecuzione delle indagini geotecniche, 1977). Il dispositivo di percussione comprende: testa di battitura avvitata sulle aste, un maglio del peso di 63.5 kg (± 0.5 kg), ed un sistema di guida sganciamento automatico del maglio, che assicura una corsa a caduta libera di 75 cm. La prova d'infissione, avvenuta in fondo al foro precedentemente pulito, consiste nel far penetrare il campionatore, in questo caso a punta chiusa, per tratti successivi di 15 cm., registrando ogni volta il numero di colpi necessari (N_1, N_2, N_3). Con il primo tratto, detto di "avviamento", s'intende superare la zona di terreno rimaneggiata in fase di perforazione; se con $N_1 = 50$ colpi l'avviamento è minore di 15 cm., l'infissione deve essere sospesa e la prova si dichiara conclusa, annotando la relativa penetrazione. Se il tratto di avviamento è stato superato, si conteggiano N_2 e N_3 (da 15 a 30 e da 30 45 cm.) fino ad un limite complessivo di 100 colpi ($N_2 + N_3$), raggiunto il quale, "R" Rifiuto, si sospende la prova annotando l'avanzamento ottenuto.

Sono state eseguite complessivamente n. 15 prove SPT.

Tipo di terreno

Le caratteristiche granulometriche del terreno saranno definite con riferimento alla seguente terminologia

Definizione		Diametro dei grani	Criteri di identificazione
Blocchi		> 200	Visibili a occhio nudo
Ciottoli		200-60	
Ghiaia	grossa	60-20	
	media	20-6	
	fine	6-2	
Sabbia	grossa	2 - 0.6	
	media	0.6 - 0.2	
	fine	0.2 - 0.06	
Limo		0.06 ÷0.002	Solo se grossolano è visibile a occhio nudo - poco plastico, dilatante, lievemente granulare al tatto - si disgrega velocemente in acqua - si essicca velocemente - possiede coesione ma può essere polverizzato fra le dita
Argilla		< 0.002	I frammenti asciutti possono essere rotti ma non polverizzati fra le dita -si disgrega in acqua lentamente -liscia al tatto - plastica - non dilatante -appiccica le dita - asciuga lentamente - si ritira durante l'essiccazione
Terreno organico o vegetale			Contiene una rilevante percentuale di sostanze organiche vegetali
Torba			Predominano resti lignei non mineralizzati, colore scuro, bassa densità

La struttura della descrizione sarà conforme alle raccomandazioni AGI (1977), elencando per primo il nome del costituente principale, seguito dal costituente secondario nella forma:
- preceduto dalla congiunzione «con» se rappresenta una percentuale compresa fra il 25 ed il 50%;
- seguito dal suffisso «oso» se rappresenta una percentuale compresa fra il 10 ed il 25%;
- preceduto da «debolmente» e seguito dal suffisso «oso» se rappresenta una percentuale compresa fra 5 ed il 10%.

Della frazione ghiaiosa e ciottolosa occorre specificare il grado di arrotondamento e il diametro massimo della ghiaia e quello dei ciottoli e dei blocchi con riferimento ai sottoelencati termini comparativi:
-Angolare: Nessun smussamento.
- Sub-angolare: Mantiene forma originale con evidenze di smussamenti.
- Sub-arrotondata: Smussamento considerevole e riduzione dell'area di superficie del clasto.
- Arrotondata: Rimozione delle superfici originali, con qualche superficie piatta.
- Ben arrotondata: Superficie interamente compresa da curve ben arrotondate.

Consistenza
Si distinguono terreni coesivi e semicoesivi, granulari e rocciosi.
La consistenza dei terreni coesivi e semicoesivi sarà descritta come di seguito misurando anche la resistenza al penetrometro tascabile sulla carota appena estratta e scortecciata con frequenza di 1 prova ogni 20-30 cm, purché il materiale non sia evidentemente disturbato in forma penetrativa.
- Privo di consistenza: espelle acqua quando strizzato fra le dita (< 0.25 kg/ cmq)
- Poco consistente: si modella fra le dita con poco sforzo; si scava facilmente (0.25÷0.5 kg/cmq)
- Moderatamente consistente: si modella fra le dita con un certo sforzo. Offre una certa resistenza allo scavo (0.5÷1.0 kg/cmq)
- Consistente: non si modella fra le dita. E' difficile da scavare.
- Molto consistente: è molto resistente fra le dita e si scava con molta difficoltà (> 2.0 kg/cmq).

Nel caso di terreni granulari si esprimerà la consistenza in termini di addensamento, come di seguito:

NSPT
0-4: Sciolto: Si scava facilmente con un badile
4-10: Poco condensato: Si scava abbastanza facilmente con badile e si penetra con una barra
10-30: Moderatamente addensato: Difficile da scavare con badile o da penetrare con barra
30-50: Addensato: Molto difficile da penetrare; si scava con piccone
> 50: Molto addensato: Difficile da scavare con piccone

Nel caso di terreni rocciosi, si determinerà la percentuale di recupero modificata (ROD) dove il grado di alterazione non è intenso o elevato, in accordo alla seguente espressione:

$$RQD \quad \frac{\Sigma l_i}{l_t} \bullet 100$$

per:
l_i = singole lunghezze dei pezzi di carota maggiori di 10 cm
l_t = lunghezza totale dei tratto perforato

A necessario complemento della descrizione della consistenza per terreni rocciosi e per definire l'applicabilità delle misure di ROD, si definirà il grado di alterazione con riferimento alla seguente terminologia:
- Assente Nessun segno visibile di alterazione, roccia sana, cristalli lucenti.
- Debole I piani di discontinuità sono patinati e decolorati, con possibili sottili strati di riempimento. La decolorazione può penetrare nella roccia per spessori fino al 20% della spaziatura dei piani di discontinuità.
- Media La decolorazione penetra nella roccia per spessori al 20% della spaziatura dei piani di discontinuità, che possono contenere riempimenti di materiale alterato. Possono essere osservabili parziali aperture dei legami intergranulari.
- Elevata La decolorazione interessa per intero la roccia. che è in parte friabile. L'originale struttura della roccia è conservata, ma i cristalli sono separati fra loro.
- Intensa La roccia è completamente decolorata, decomposta e friabile, con l'aspetto esteriore di un suolo. Intimamente la struttura originale può essere riconoscibile, ma la separazione tra i cristalli è completa

Colore.
II colore sarà descritto scegliendo o combinando i seguenti termini quali rosa, rosso, viola, arancione, giallo, marrone, verde, grigio, nero, precisandone se necessario la tonalità e l'intensità. Si distinguerà il colore dei terreno intatto e quello delle superfici di separazione (fratture. discontinuità), evidenziando ciò che può dare indicazioni sulla presenza di filtrazione idrica.

Struttura
Si definiranno gli elementi significativi della struttura di terreni rocciosi e non rocciosi, intendendo con struttura la presenza o l'assenza di discontinuità con riferimento a quanto di seguito

- Stratificazione

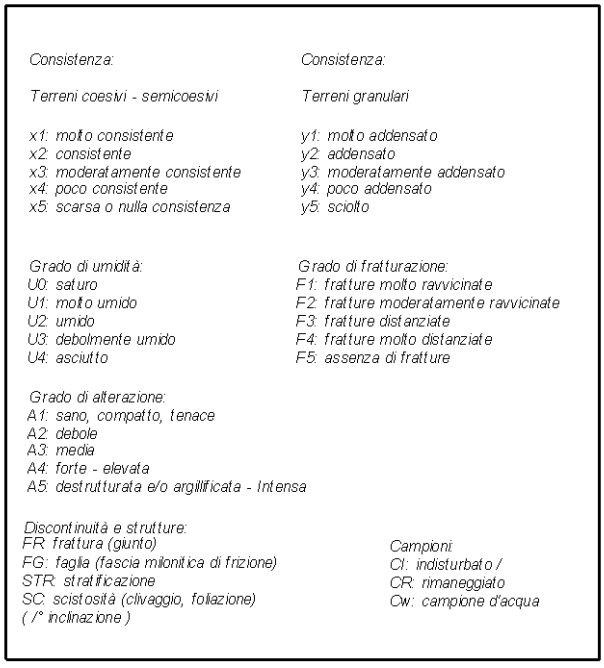
Si indicheranno i piani di strato visibili, precisandone la spaziatura media e l'intervallo di variazione tipico dello spessore degli strati stessi. Si indicheranno anche la presenza di eventuali strutture sedimentarie, quali stratificazione o laminazione incrociate.
Regolari alternanze di diversi tipi litologici (es.: sabbie ed argille, marne e calcareniti) potranno essere definite con il termine di "interstratificazione", precisando la media aritmetica dello spessore dei livelli e descrivendo il ritmo delle alternanze.

 Fratturazione
Si indicherà la spaziatura dei giunti utilizzando definizioni in accordo alla terminologia di seguito specificata:
< 6 cm Fratture molto ravvicinate 6 20 cm Fratture ravvicinate
20 60 cm Fratture moderatamente ravvicinate
60 200 cm Fratture distanziate
>200 cm Fratture molto distanziate
Si specificherà, se possibile, apertura e persistenza dei giunti

 Scistosità, piani di taglio
Si indicherà la presenza, la spaziatura e le caratteristiche della scistosità (orientazione visiva della roccia dovuta a minerali lamellari o prismatici) e di piani di taglio (in terreni coesivi, granulari o rocciosi).

 Strutture particolari
Si indicherà la presenza e le caratteristiche di strutture particolari legati a processi di alterazione o trasporto, quali la presenza di clasti in matrice soffice o isole di materiale poco alterato in matrice profondamente alterata, e simili.

Per una comprensione più immediata si allega la legenda di riferimento per la lettura delle stratigrafie:



Particolarità aggiuntive
Si dovranno indicare tutte le caratteristiche significative ai fini della schematizzazione geotecnica le quali non siano già inserite in qualcuno dei parametri descrittivi già elencati.
Si segnalerà, a titolo di esempio, la presenza di quanto segue:
- radici
- manufatti, riporti, materiali di discarica fossili o residui organici vegetali
- sostanze deperibili, friabili, solubili
- cementazione più o meno regolare e relativo grado.

Litologia ed origine
Il tipo litologico sarà definito nel caso dei clasti di terreni granulari grossolani e nel caso di terreni da semi-litoidi a rocciosi. Sarà cura del responsabile di cantiere indicare, sia pure per categorie principali, la corretta definizione, indicando per le varie categorie di rocce, sedimentarie, intrusive, effusive e metamorfiche, la tipologia litologica di appartenenza nei limiti di quanto desumibile dalla sola osservazione macroscopica di campagna dei materiale. Nel caso di terreni sedimentari, si raccomanda l'impiego di una soluzione acquosa diluita al 5% di HCI per la orientativa definizione della presenza di CaCO3, come costituente principale o secondario della

roccia. Oltre al tipo litologico, quando riconoscibile, potranno essere precisate per tutti i terreni informazioni sull'origine del terreno, distinguendo in modo particolare:
- terreni derivati da trasporto e sedimentazione dei materiali;
- terreni rimasti in sito, specificando se riconoscibili azioni fisico chimiche di alterazione, sostituzione, cementazione.

Più nel dettaglio e nello specifico, sulla base delle risultanze geognostiche di cui oltre (vedi stratigrafia correlata a indagini SPT e sezioni sismostratigrafiche), si sono discretizzati i seguenti orizzonti geologico-geotecnici:

- Orizzonte R: depositi alluvionali variamente rimaneggiati in superficie con talora terreni di riporto: sabbia limosa o deb. limosa con pietrame e ghiaia eterometrica subangolare

Depositi alluvionali Rio Santo / T. Quazzola (Fluviale medio recente). Si distinguono, sulla base della tessitura, della granulometria, della consistenza e del grado di plasticità/coesione e dei dati SPT, tre principali e distinte Unità geologico geotecniche sovrapposte e presenti in entrambi i sondaggi, dall'alto verso il basso:
A : sabbia ghiaiosa con ciottoli eterometrici
B: sabbia limosa con ghiaia e ciottoli eterometrici
C: sabbia media (talora limosa) con ghiaia e ciottoli eterometrici
Talora presenti interstrati tipo B1, di ghiaia e ciottoli con trovantame alterato e destrutturato

- Substrato roccioso (orizzonte SR) da alterato a molto fratturato, costituto da scisti micacei-quarzosi grigio verdastri e orto gneiss, in condizioni di argillificazione, sia per condizioni di sottofalda che di deformazione e stress tettonico. Si rinvengono come sabbie limose con scaglie e frammenti litoidi alterati e disarticolati.

Il contatto in discordanza tra i depositi alluvionali e il substrato talora è incerto e discontinuo con passaggio irregolare in ragione di substrato fratturato e disarticolato.

Rimandando nello specifico ai log stratigrafici, di seguito per ciascun sondaggio si riportano le risultanze principali:

Sondaggio S1

p.c. – 1.5 m: orizzonte R
1.5 – 4.3 m: orizzonte A
4.3 – 8.5 m: orizzonte B
8.5 – 10.0 m: orizzonte B1
10.0 – 13.2 m: orizzonte C
13.2 – 15.0 m: orizzonte SR
Falda a 6.6 m da p.c. (giugno 2021)

Nella tabella che segue sono riportate tutte le risultanze delle prove SPT eseguite in avanzamento:

Profondità SPT (m)	N. colpi Spt	Orizzonte Tipo
1.5 – 1.95	4 / 3+4 = 7	R
3.0 – 3.45	8 / 13+15 = 28	A
4.5 – 4.95	7 / 8+8 = 16	B
6.0 – 6.45	18 / 17+17 = 34	B
7.5 – 7.95	25 / 28+35 = 63	B
9.0 – 9.45	29 / 26+27 = 53	B1
10.5 – 10.95	19 / 18+18 = 36	C

Sondaggio S2

p.c. – 2.0 m: orizzonte R
2.0 – 5.0 m: orizzonte A
5.0 – 9.5 m: orizzonte B
9.5 – 11.5 m: orizzonte B1
11.5 – 14.0 m: orizzonte C
14.0 – 15.0 m: orizzonte SR
Falda a 6.9 m da p.c. (giugno 2021)

Nella tabella che segue sono riportate tutte le risultanze delle prove SPT eseguite in avanzamento:

Profondità SPT (m)	N. colpi Spt	Orizzonte Tipo
1.5 – 1.95	5 / 3+3 = 6	R
3.0 – 3.45	11 / 16+16 = 32	A
4.5 – 4.95	8 / 8+13 = 21	A
6.0 – 6.45	17 / 15+15 = 30	B
7.5 – 7.95	23 / 28+21 = 59	B
9.0 – 9.45	27 / 29+35 = 53	B
12.5 – 12.95	21 / 23+22 = 45	C
14.0 – 14.19	27 / Rif. (4 cm)	SR



Sondaggio S1


Sondaggio S2

Prove di permeabilità tipo Lefranc

Nel sondaggio S1 sono state eseguite n. 2 prove di permeabilità tipo Lefranc, a carico variabile. Le prove consistono nel creare un gradiente idraulico nella colonna di rivestimento in un tratto NON cieco di foro e, quindi, misurare la tendenza al ristabilirsi delle condizioni di equilibrio idraulico.

Di seguito si riporta in fede l'estratto dal rapporto indagini geognostiche M3D srl relativo alle prove Lefranc eseguite:

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

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

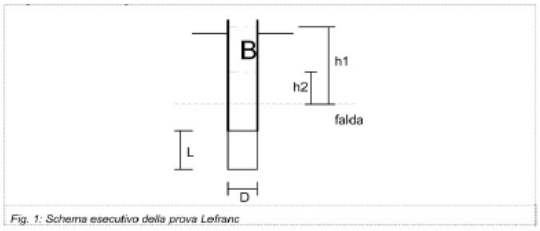


Fig. 1: Schema esecutivo della prova Lefranc

$$K = \frac{A}{C_L \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}$$

dove:

K = coefficiente di permeabilità

A = area di base

$h1$, $h2$ = altezza dei livelli d'acqua nel foro rispetto al livello di falda indisturbata o a fondo foro, ai tempi $t1$ e $t2$

$t1$, $t2$ = tempi nei quali si misurano $h1$ e $h2$

CL = coeff. di forma dipendente dalla configurazione geometrica

$CL = L$ se $L > D$

$CL = 2 \cdot \pi \cdot D + L$ se $L \leq D$

L'immissione degli abbassamenti o delle risalite fa riferimento alle effettive variazioni di livello dell'acqua partendo dal livello iniziale (t = 0), con una successione di letture cumulate da cui tramite opportuno foglio di calcolo si deriva automaticamente i valori complementari di h implementati nella formula in relazione al livello di falda.

Per quanto riguarda le altezze di carico idraulico variabili nel tempo, le NORME AGI affermano che esse sono "altezze rispetto alla falda indisturbata o rispetto al fondo foro"; risulterebbe pertanto che in mancanza di dati relativi alla falda il livello di riferimento può essere indifferentemente anche il fondo foro.

In base a quanto detto il metodo "AGI" permette di ovviare all'introduzione della falda, se non nota, considerando automaticamente il fondo foro come livello di riferimento. Nell'allegato è visualizzato il grafico tempi/abbassamenti in cui viene calcolato un valore di K per ogni tratto della curva tra una lettura e la successiva.

Il coefficiente di permeabilità stimato è quello medio dal punto della curva ove si ritiene che si sia instaurato un regime di flusso permanente (dopo saturazione dei terreni), fino a fine curva. Applicando la formula ai dati rilevati si ottengono i seguenti risultati.

	Tipo prova	Tratto prova	K m/sec
S1 P1	Lefranc carico variabile	da 2.00 a 3.00 m	9,60147E-07
S1 P2	Lefranc carico variabile	da 4,00 a 5,00 m	7,89454E-06

m3d costruzioni speciali s.r.l.

PROVA DI PERMEABILITA' TIPO: LEFRANC
- Carico Variabile -

S1 Sondaggio

1 Prova n°

Adeguamento Idraulico tratto terminale Rio Santo — Cantiere

\- — Opera

COMUNE DI QUILIANO — Committente

\- — Appaltatore

Via Tecci, Quiliano SV — Località

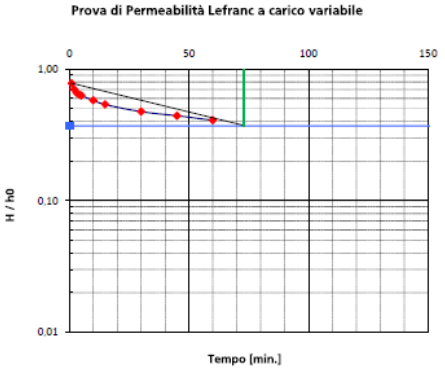
16/06/2021 — Data esecuzione

101 ϕ foro [mm.]	3,00 Prof. foro da p.c. [m.]	101 ϕ tratto prova [mm.]	1,00 Lungh. tratto prova [m.]
127 ϕ rivestimento [mm.]	2,00 Prof. rivest. da p.c. [m.]	0,10 Altezza rivest. da p.c. [m.]	2,59 Altezza acqua in foro [m.]

Descrizione delle grandezze utilizzate

h0 livello [in m.] acqua iniziale sul livello falda / sul fondo foro = **2,69**
hm altezza misurata
H h0 - hm
dh hmsucc. - hmprec.
t tempo
A area della sezione trasversale del rivestimento in cui avvengono le misure del livello [mq.]
F fattore di forma che dipende dalla geometria della prova [m.]
T tempo di riequilibrio [sec.] corrispondente al valore H/h0 = **0,37**

t [min.]	hm [m.]	dh [m.]	H [m.]	H/h0
1,00	0,59	0,00	2,10	0,78
2,00	0,79	0,20	1,90	0,71
3,00	0,91	0,12	1,78	0,66
4,00	0,96	0,05	1,73	0,64
5,00	0,99	0,03	1,70	0,63
10,00	1,13	0,14	1,56	0,58
15,00	1,24	0,11	1,45	0,54
30,00	1,41	0,17	1,28	0,48
45,00	1,50	0,09	1,19	0,44
60,00	1,59	0,09	1,10	0,41



K = A / F T [m. / sec.] permeabilità

A	F	T	K
0,013	2,97	4440	9,60147E-07

R. Falvella - B. Khounar — Operatore

\- — Osservazioni

m3d costruzioni speciali s.r.l.

PROVA DI PERMEABILITA' TIPO: LEFRANC
- Carico Variabile -

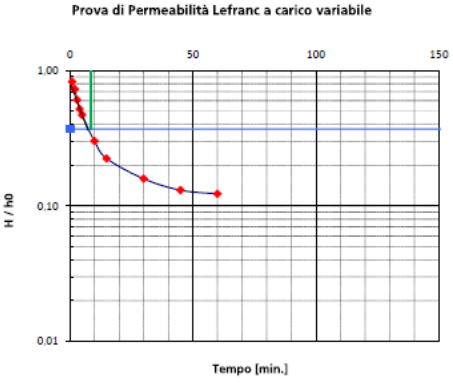
S1 Sondaggio	**2** Prova n°
Adeguamento Idraulico tratto terminale Rio Santo — Cantiere	- — Opera
COMUNE DI QUILIANO — Committente	- — Appaltatore
Via Tecci, Quiliano SV — Località	16/06/2021 — Data esecuzione

101 — ϕ foro [mm.]	5,00 — Prof. foro da p.c. [m.]	101 — ϕ tratto prova [mm.]	1,00 — Lungh. tratto prova [m.]
127 — ϕ rivestimento [mm.]	4,00 — Prof. rivest. da p.c. [m.]	0,15 — Altezza rivest. da p.c. [m.]	4,89 — Altezza acqua in foro [m.]

Descrizione delle grandezze utilizzate

h0 livello [in m.] acqua iniziale sul livello falda / sul fondo foro = **5,04**
hm altezza misurata
H h0 - hm
dh hmsucc. - hmprec.
t tempo
A area della sezione trasversale del rivestimento in cui avvengono le misure del livello [mq.]
F fattore di forma che dipende dalla geometria della prova [m.]
T tempo di riequilibrio [sec.] corrispondente al valore H/h0 = **0,20**

t [min.]	hm [m.]	dh [m.]	H [m.]	H/h0
1,00	0,86	0,00	4,18	0,83
2,00	1,36	0,50	3,68	0,73
3,00	1,98	0,62	3,06	0,61
4,00	2,41	0,43	2,63	0,52
5,00	2,67	0,26	2,37	0,47
10,00	3,52	0,85	1,52	0,30
15,00	3,91	0,39	1,13	0,22
30,00	4,24	0,33	0,80	0,16
45,00	4,38	0,14	0,66	0,13
60,00	4,42	0,04	0,62	0,12



K = A / F T [m. / sec.] permeabilità

A	F	T	K
0,013	2,97	540	7,89454E-06

R. Falvella - B. Khounar — Operatore
- — Osservazioni

5.2 PROVE PENETROMETRICHE DPM

La prova penetrometrica realizzata è del tipo dinamica medio-leggera (DPM ISSMFE tipo "Emilia" - Cestari 1990) e consiste nell'infissione nel terreno di una batteria di aste con punta a sezione conica di area standard di 10 cm^2 a perdere, attraverso l'impatto di un maglio di 30 Kg a caduta ciclica continua (alimentazione a motore) con percussione sulla testa della batteria da un'altezza costante di 20 cm. Alla battuta consegue l'infissione delle aste nel terreno; il numero di colpi necessario per un avanzamento di 10 cm (N_{10}), costituisce dato sperimentale riconducibile alla stratigrafia del terreno attraversato, nonché mediante correlazioni empiriche alla valutazione dei parametri di resistenza al taglio.

Le prove si sono interrotte per rifiuto strumentale tutte in corrispondenza di un livello ad elevato assetto caotico dell'orizzonte A senza evidenziare umidità e/o circolazione idrica.

PROVA P1
- da p.c. a 2.8 m livello tipo Orizzonte R con valore medio dell'indice N_{10} pari a 5 colpi
- da 2.8 a 3.6 m livello tipo Orizzonte A con valore medio dell'indice N_{10} pari a 25 colpi

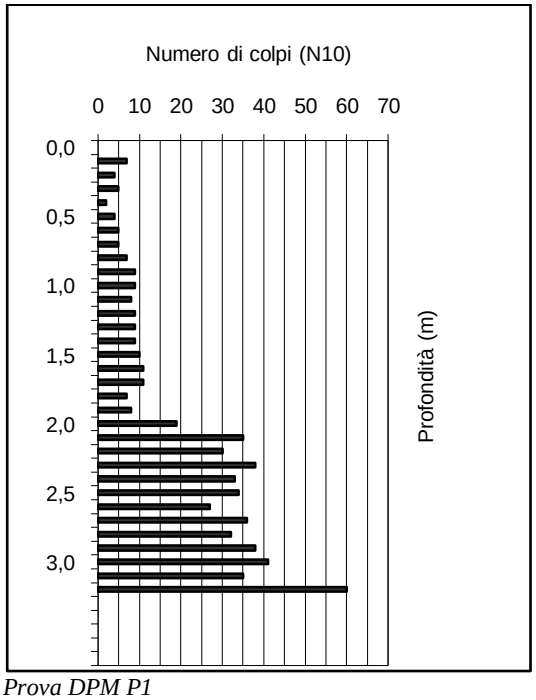
PROVA P2
- da p.c. a 2.2 m livello tipo Orizzonte R con valore medio dell'indice N_{10} pari a 5 colpi
- da 2.2 a 3.3 m livello tipo Orizzonte A con valore medio dell'indice N_{10} pari a 21 colpi

PROVA P3
- da p.c. a 1.7 m livello tipo Orizzonte R con valore medio dell'indice N_{10} pari a 4 colpi
- da 1.7 a 3.0 m livello tipo Orizzonte A con valore medio dell'indice N_{10} pari a 22 colpi

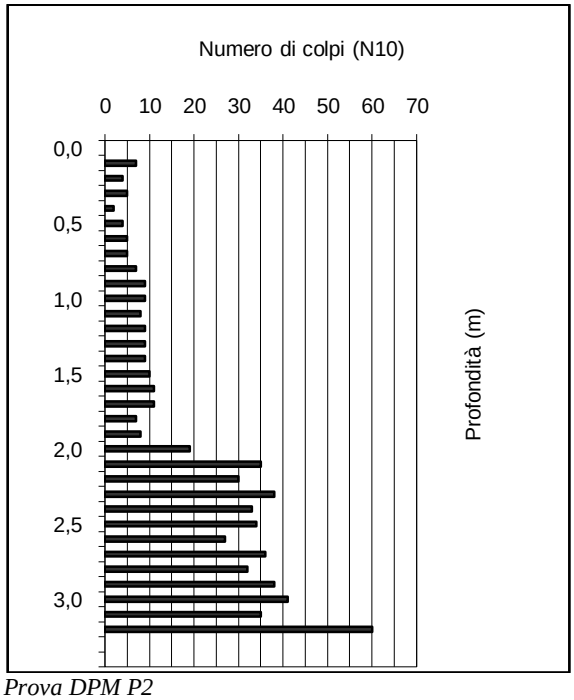
PROVA P4
- da p.c. a 1.5 m livello tipo Orizzonte R con valore medio dell'indice N_{10} pari a 7 colpi
- da 1.5 a 2.9 m livello tipo Orizzonte A con valore medio dell'indice N_{10} pari a 28 colpi

PROVA P5
- da p.c. a 1.9 m livello tipo Orizzonte R con valore medio dell'indice N_{10} pari a 9 colpi
- da 1.9 a 3.2 m livello tipo Orizzonte A con valore medio dell'indice N_{10} pari a 35 colpi

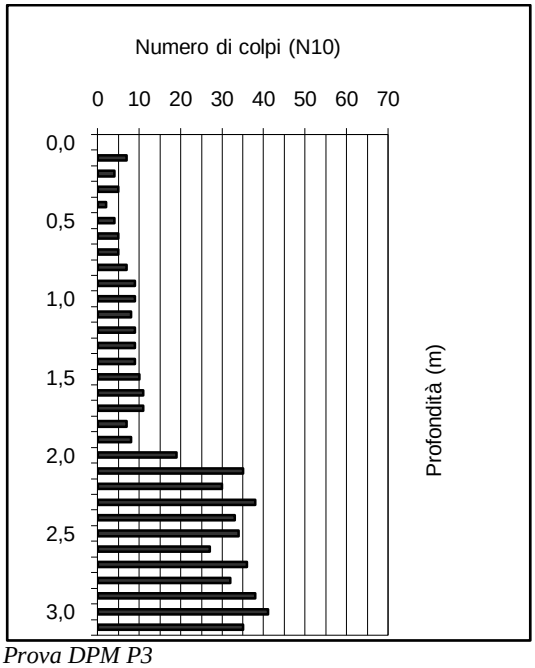
Nessuna evidenza di umidità e/o traccia di falda rilevata nelle prove DPM.



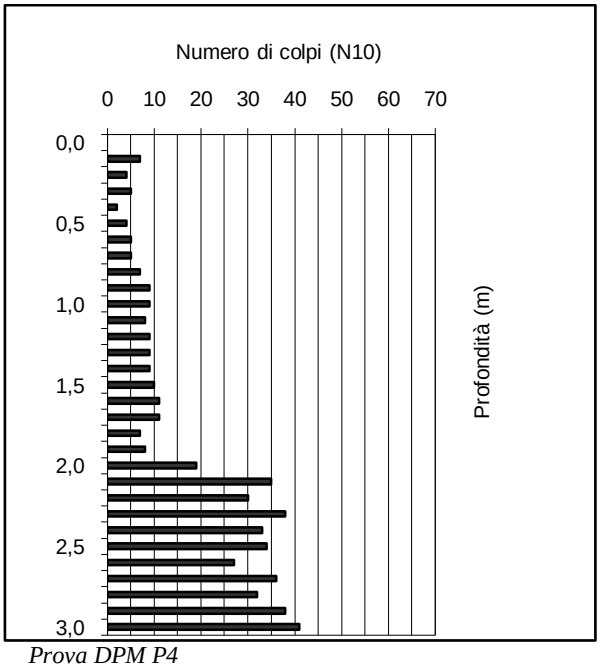
Prova DPM P1



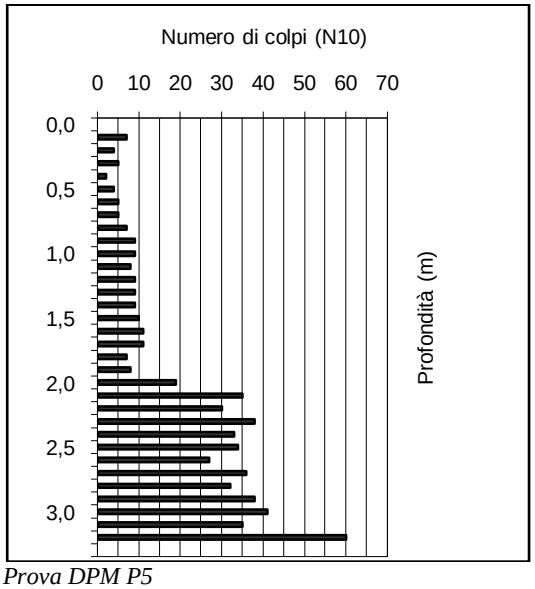
Prova DPM P2



Prova DPM P3



Prova DPM P4



Prova DPM P5



Le prove hanno evidenziato sostanzialmente una condizione media omogenea riconducibile alla presenza di depositi alluvionali medio fini rimaneggiati tipo R, passanti ad alluvioni medio grossolane tipo A, entro le quali si è registrato il rifiuto strumentale.

Oltre documentazione fotografica indagini:









6. ELABORAZIONE DATI e MODELLO GEOTECNICO

Elaborazione statistica dati geognostici

Utilizzando tutti i dati geotecnici sopra discriminati e riportati, si è proceduto nell'interpretazione dei dati SPT, ricavati nell'ambito dei sondaggi, correlandoli e integrandoli con quelli convertiti dalle prove DPM.

A tale riguardo si è utilizzata ed adottata la normalizzazione rispetto a σ' per tenere conto dell'influenza della pressione del terreno sovrastante, mediante l'espressione: N1 = CN*N dove:

N = numero di colpi misurati con la prova standard,

N1 = valore di N riferito ad un valore unitario di σ',

CN = 1/σ'(n) è un coefficiente di correzione dipendente da s', dove n = 0.5 (*Liao e Whitman*, 1985).

Nell'ipotesi di materiali sotto falda, si utilizzano le seguenti correzioni per la presenza della falda (Terzaghi & Peck, 1948), valide per depositi ghiaiosi e sabbioso-ghiaiosi e per le sabbie limose con numero di colpi eccedente 15:

$N_{corretto} = 1.25\ N_{SPT}$

$N_{corretto} = 15 + 0.5\ (N_{SPT} - 15)$

Elaborando la totalità dei dati, si ricavano come valori caratteristici i seguenti dati Nspt:

$N_{spt\ (R)}$ = 5 colpi
$N_{spt\ (A)}$ = 25 colpi
$N_{spt\ (B)}$ = 45 colpi
$N_{spt\ (C)}$ = 40 colpi

Come noto, la misura del grado di sicurezza ai sensi della N.T.C. 2018 si ottiene con il "Metodo semiprobabilistico dei coefficienti parziali" tramite l'equazione: **Rd >= Ed** con:

• Rd valore di progetto della resistenza del terreno;
• Ed valore di progetto dell'azione o degli effetti dell'azione nelle varie combinazioni di carico

che non devono superare i valori di Rd in un intervallo di tempo rapportato alla vita di riferimento dell'opera progettata.

Per la definizione del grado di sicurezza di una struttura, le N.T.C. 2018 prevedono un approccio di tipo semiprobabilistico (livello 1) adottando il concetto di stato limite che necessita dei valori caratteristici dei parametri geotecnici ai quali è associata una probabilità di non superamento del 5% che il valore reale adottato sia inferiore a quello caratteristico.

Il valore caratteristico è quindi dato dalla:
Vk = Vm (1 – 1.645 Vf) dove
Vk = valore caratteristico
Vm = valore medio
Vf = coeff. di variazione definito come il rapporto tra lo scarto quadratico medio e Vm.

Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito.

Modello geotecnico

In ragione delle evidenze geognostiche di cui sopra viene fornita una parametrizzazione geotecnica dei terreni, previo definizione delle principali e prevalenti caratteristiche chimico-fisiche e meccaniche degli orizzonti relativi al volume geologico significativo e di interesse per le verifiche geotecniche e ingegneristiche delle opere da progettare.

Per la caratterizzazione geotecnica si utilizzano sia i dati Nspt mediante correlazioni inverse, sia i valori di Vs ricavati con l'indagine HVSR. Nello specifico si utilizzano le seguenti relazioni con metodo inverso:

- OHTA & GOTO (1978): il valore di V_s è valutato in funzione del numero di colpi, della profondità dal piano campagna, di un coefficiente f_a funzione dell'età geologica del deposito e di un coefficiente f_g funzione della granulometria.

f_a	Olocene (attuale)	Pleistocene (circa 1,8 Ma)
	1,0	1,303

f_g	Ghiaie	Sabbie ghiaiose	Sabbie grosse	Sabbie medie	Sabbie fini	Argille
	1,45	1,15	1,14	1,09	1,07	1,00

$$V_s = 54{,}33 \cdot (N_{SPT})^{0.173} \cdot \left(\frac{z}{0.303}\right)^{0.199} \cdot f_a \cdot f_g$$

- YOSHIDA & MOTONORI (1988): il valore di V_s è valutato in funzione del numero di colpi, della tensione verticale efficace e di un fattore geologico β funzione della litologia del terreno.

β	Qualunque terreno	Sabbia fine
	55	49

$$V_s = \beta \cdot (N_{SPT})^{0.25} \cdot \sigma'^{0.14}_{vo}$$

La parametrizzazione geotecnica dei terreni in esame viene condotta utilizzando le seguenti formule:

Densità relativa (Meyerhof (1967)): $Dr\ \% = 21\ (N/\sigma_v + 0.7)^{0.5}$

Angolo di resistenza al taglio:
(Shioi & Fukuni- Road Bridge Specificationo (1982)) $\phi = 15 + (15\ Nspt)^{0.5}$
(Shioi & Fukuni- Japanese National Railway (1982)) $\phi = 20 + 0.3\ Nspt$
(De Mello) $\phi = 19 - 0.38\ \sigma'_{vo} + 8.73\ Log\ Nspt$

Coesione non drenata Cu:
(*DM – 7 (design Manual for Soil Mechanichs)* $Cu = 0.038\ Nspt$
(Shioi – Fukuni) $Cu = 0.025\ Nspt$

Modulo Elastico E: (*Stroud, 1989*) $E = 0.5 – 1.0\ Nspt$ *(per terreni sabbiosi)*
$E = 3 - 5\ Nspt$ *(per terreni ghiaioso sabbiosi)*

E' opportuno, inoltre, sottolineare come le valutazioni geotecniche hanno reso necessario l'adeguamento del profilo geologico di base, in quanto, oltre, alla descrizione stratigrafica derivante dai sondaggi si è fatto riferimento ai risultati delle prove SPT, attribuendo talvolta anche sabbie limose con ghiaia all'orizzonte più grossolano in funzione del numero di colpi $N_{spt.}$

Dal punto di vista geotecnico, nonché tessiturale e granulometrico, gli orizzonti B e C quasi totalmente sotto falda, sono uniti in un'unica Unità geotecnica.

Orizzonte R:

- Peso di volume γR= 18.0 – 19.0 KN/m^3
- Angolo di attrito ϕR_k = 22° -24°
- Densità relativa DrR = 70 - 90%
- Coesione efficace: C'R_k : 0.05 kg/cmq
- Coesione non drenata: CuR_k : 0.15 kg/cmq
- Modulo Elastico E (R) : 15 – 30 MPa

Orizzonte A:

- Peso di volume γA = 18.5 – 19.5 KN/m^3
- Angolo di attrito ϕA_k = 32° - 34°
- Densità relativa DrA = 80 - 90%
- Coesione efficace: C'A_k : 0.0 kg/cmq
- Modulo Elastico E (A) : 70 – 100 MPa

Dal punto di vista geotecnico, nonché tessiturale e granulometrico, gli orizzonti B e C quasi totalmente sotto falda, sono uniti in un'unica Unità geotecnica.

Orizzonte B+C:

- Peso di volume $\gamma BC = 19.5 – 21.0$ KN/m^3
- Angolo di attrito $\phi BC_k = 38° - 42°$
- Densità relativa DrBC = 85 - 90%
- Coesione efficace: $C'BC_k$: 0.0 kg/cmq
- Modulo Elastico E (BC) : 150 – 200 MPa

Substrato roccioso tipo SR poco fratturato:

Anche se non significativi ai fini della progettazione, sono stati eseguiti rilievi strutturali sugli scisti gneissici affioranti a monte sito. Si determina:

RMR: 51 / GSI: 46
RMR: 49 (Ic = - 2 / favorevole) Ammasso di qualità III Discreta
Coesione C' Roccia: 200 kPa
Angolo di attrito ϕRoccia : 31°

Misure sclerometriche con martello di Schmidt in sito, su roccia tenace e sana hanno rilevato resistenza a compressione variabile da 40 a 65 MPa.

Analizzando i dati con il criterio di Hoek – Brown, (Rock Lab Program) e mediando i dati si determina:
Angolo di attrito: ϕRoccia = 34.8° / Coesione C'Roccia = 550 kPa

Si ricavano i seguenti **valori caratteristici:**

Angolo di attrito: ϕRoccia = 32° - 34°
Coesione C'Roccia = 1.25 - 1.5 Kg/cmq (a favore di sicurezza)
Peso di Volume : 23 - 27 KN/mc
Densità relativa Dr Roccia : 90-100%

7. INDAGINE AMBIENTALE E COMMENTO RISULTANZE ANALITICHE

Relativamente la corretta gestione della risulta da scavo che verrà prodotta in sede di scavi esecutivi, si rimanda alla normativa vigente di riferimento data da:

- D.M. 161/2012 "Regolamento recante la disciplina dell'utilizzazione delle terre e rocce da scavo " (G.U. n. 221 del 21/9/2012
- T.U. Ambiente D. Lgs. 152/06 art. 185 comma 1
- D.G.R. n. 89/2013 "Approvazione indirizzi operativi per la applicazione del Regolamento Terre e rocce di scavo. D.M. 161/2012"
- D.G.R. n. 1423 "Aggiornamento degli indirizzi operativi per la gestione delle terre e rocce da scavo ai sensi del DM 161/2012 e del D.L. 69/2013 convertito in L. 98/2013".
- *D.P.R 120/2017 "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164."* (G.U. n. 183 del 7/8/2017)

nonché alle risultanze analitico ambientali di tipo chimico di cui oltre.

La normativa vigente (art. 1 DPR 120/2017) riguarda la corretta gestione delle terre e rocce da scavo qualificate come sottoprodotti, ai sensi dell'articolo 184 *-bis* , del D.Lgs. n. 152/2006, provenienti da cantieri di piccole dimensioni, di grandi dimensioni e di grandi dimensioni non assoggettati a VIA o a AIA, compresi quelli finalizzati alla costruzione o alla manutenzione di reti e infrastrutture, nonché alla disciplina del deposito temporaneo delle terre e rocce da scavo qualificate rifiuti, all'utilizzo nel sito di produzione delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti e alla gestione delle terre e rocce da scavo nei siti oggetto di bonifica. Sono esclusi dall'ambito di applicazione del DPR. 120/2017 rifiuti provenienti direttamente dall'esecuzione di interventi di demolizione di edifici o di altri manufatti preesistenti, la cui gestione è disciplinata ai sensi della Parte IV del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

In sintesi l'approccio normativo può prevedere:

Soluzione A) Utilizzo nel sito di produzione delle terre e rocce escluse dalla disciplina rifiuti ai sensi del Titolo IV art. 24 del DPR. 120/2017. A tale riguardo, ai fini dell'esclusione dall'ambito di applicazione della normativa sui rifiuti, le terre e rocce da scavo devono essere conformi ai requisiti di cui all'articolo 185, comma 1, lettera *c)* , del D. lgs. n. 152/2006, e devono essere necessariamente utilizzate nel sito di produzione. Fermo restando quanto previsto dall'articolo 3, comma 2, del decreto-legge 25 gennaio 2012, n. 2, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 marzo 2012, n. 28, la non contaminazione è verificata ai sensi dell'allegato 4 del DPR. 120/2017 (PROCEDURE DI CARATTERIZZAZIONE CHIMICO-FISICHE E ACCERTAMENTO DELLE QUALITÀ AMBIENTALI).

Il riutilizzo delle terre e rocce da scavo dovrà essere INTEGRALE e senza trasformazione in sito (al di là delle attività di "normale pratica industriale" di cui art. 2 e l'allegato 3 DPR. 120/2017 (NB)), nonché funzionale all'opera in progetto (livellamenti e reinterri pertinenziali e perimetrali al fabbricato oggetto di ampliamento e ristrutturazione, sistemazione a verde ecc…).

In tal caso, la gestione del materiale di scavo non rientra nella fattispecie di cui all'art. 41bis ed è esclusa a priori dalla part IV del D.Lgs. 152/2006 se e solo se rispetta quanto previsto dall'art. 185 comma 1 lettera c) ovvero se *"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"* .

In conseguenza di ciò non si applica il D.M. 161/2012 e la terra è da considerarsi materia prima e non rifiuto. Poiché l'art. 185 c. 1 lettera C) esclude il "suolo non contaminato", la D.L. e la committenza possono asseverare la non sussistenza di inquinamento in sito in ragione della "storia d'uso e utilizzo" dell'area o, eseguire opportune analisi di laboratorio a campioni. In ogni caso il deposito temporaneo della risulta dovrà essere interno al cantiere. Se invece il materiale, pur riutilizzato nello stesso sito, viene allocato temporaneamente in un deposito intermedio fuori dai confini del sito, in questo caso dovrà essere presentata una dichiarazione sostitutiva di atto di notorietà ai sensi dell'art. 41bis del D.L. 69/2013.

Nel caso poi, specifico, che le terre e rocce da scavo provengano da affioramenti geologici naturali contenenti amianto in misura superiore al valore determinato ai sensi dell'articolo 4, comma 4 DPR. 120/2017, le stesse possono essere riutilizzate ai sensi art. 24 comma 2 DPR. 120/2017 esclusivamente nel sito di produzione sotto diretto controllo delle autorità competenti. A tal fine il produttore ne dà immediata comunicazione all'Agenzia di protezione ambientale e all'Azienda sanitaria territorialmente competenti, presentando apposito progetto di riutilizzo. Gli organismi di controllo sopra individuati effettuano le necessarie verifiche

Soluzione B) Riutilizzo non integrale di cui al punto A, con "avanzo" da "smaltire" come o sottoprodotto o rifiuto, o inutilizzo totale della volumetria prodotta. In questi casi, la risulta di scavo potrà essere gestita in due maniere:

B1: gestione della risulta come **Rifiuto**, con esecuzione test di cessione e individuazione della discarica appropriata dove conferire la terra e roccia da scavo (invio in impianto di recupero/discarica con formulario)

B2: conferimento della risulta di scavo in altro cantiere autorizzato, da gestire come "**Sottoprodotto**" inteso e come indicato in attuazione dell'articolo 184 *-bis* , comma 1 e ai sensi dell'articolo 183, comma 1, lettera *qq* del D.lgs 152/2006 e dell'art. 4 del DPR . 120/2017. 5. Tale procedura dovrà essere attestata tramite predisposizione e trasmissione della dichiarazione sostitutiva di atto

di notorietà resa ai sensi dell'articolo 47 del decreto del Presidente della Repubblica 28 dicembre 2000, n. 445, di cui all'articolo 21 DPR. 120/2017, nonché della dichiarazione di avvenuto utilizzo in conformità a quanto ivi indicato e ai sensi art. 7 DPR. 120/2017.

Nel caso, invece, che le Terre e rocce da scavo siano qualificate come rifiuti (codice CER 17.05.04 o 17.05.03) si rimanda nello specifico per il loro deposito temporaneo, a quanto indicato al Titolo III art. 23 del DPR. 120/2017,"*Disciplina del deposito temporaneo delle terre e rocce da scavo qualificate rifiuti".*

Nello specifico, ai fini ambientali e in ragione della storia nota e pregressa e storica del sito in esame, sono stati prelevati n. 2 campioni per analisi di tipo chimico; i campioni sono prelevati dal sondaggio S1 (zona di scavo principale) e sono rappresentativi dei primi 3 m da p.c. in modo da indagare, indicativamente, tutta l'altezza del fronte massimo di scavo esecutivo preventivato a progetto.

L'indagine ambientale preliminare è stata condotta al fine di individuare il superamento o meno delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) nella matrice ambientale suolo dell'area in esame.

In merito alla storia di utilizzo del sito, invece, le informazioni raccolte evidenziano quanto segue:

- il mappale 117 costituisce area incolta , oggetto in passato di temporaneo deposito attrezzi e macchinari
- il mappale 147 costituisce area ad uso agricolo coltivo e, in parte incolto e, sul suo fondo, non è stata mai oggetto di insediamenti artigianali e/o industriali.

Non ci sono altresì informazioni di elementi potenzialmente contaminanti (centri di pericolo), tipo serbatoi, cisterne interrate e/o reti sottoservizi tubature attive e/o dismesse, coperture eternit e/o aree di discariche abusive.

I campioni sono stati prelevati a mezzo omogeneizzazione e quartatura.

Le procedure di caratterizzazione ambientale delle terre e rocce ha fatto riferimento all'articolo 2, comma 1, lettera *c) , ovvero alle* PROCEDURE DI CARATTERIZZAZIONE CHIMICO-FISICHE E ACCERTAMENTO DELLE QUALITÀ AMBIENTALI (ARTICOLO 4).

Il set di parametri analitici da ricercare è definito in base alle possibili sostanze ricollegabili alle attività antropiche svolte sul sito o nelle sue vicinanze, ai parametri caratteristici di eventuali pregresse contaminazioni, di potenziali anomalie del fondo naturale, di inquinamento diffuso, nonché di possibili apporti antropici legati all'esecuzione dell'opera. Il set analitico minimale da considerare è quello riportato in Tabella 4.1 (DPR. 120/2017).

I campioni sono stati prelevati in data 22/06/2021 e consegnati al Laboratorio di Analisi chimiche "Analytica srl" Tecnologie Chimiche di Cairo Montenotte (SV). Le analisi sono state effettuate sulla frazione granulometrica inferiore ai 2 mm e i risultati sono espressi in mg/Kg sulla sostanza secca.

I rapporti di prova sono allegati come fascicolo esterno alla relazione e riguardano i:

- Cod. 508/21 – Cod. Analytica 358.06.21 sul quale sono state eseguite:

  - **Oggetto: Classificazione rifiuto in base alla legge 116/2014, Decisione 2014/955/UE, Regolamento 1357/2014/UE – Regolamento UE 2016/1179 – Regolamento UE 2017/997- Caratterizzazione Vs rifiuto codice CER 17 05 04**
  - **Oggetto: Test di Cessione all'All. 3 al D.M. Amb. 05.02.1998 modificato dal Decreto del Ministero dell'Ambiente del 5 Aprile 2006, n. 186**

- Cod. 509/21 – Cod. Analytica 358.06.21 sul quale è stata eseguita:

  Oggetto: Caratterizzazione terra e roccia da scavo in ottemperanza al DPR N° 120 del 13/06/2017 "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164.

Relativamente al campione Cod. 509/21, la Caratterizzazione ai sensi DPR. 120/2017 rileva:

ANALYTICA SrL
Tecnologie Chimiche

Azienda certificata
ISO 9001 n° 411

RAPPORTO DI PROVA Cod. 509/21 - N. 02 del 07/09/2021
INTEGRAZIONE AL RAPPORTO DI PROVA
Cod. 508/21 N. 01 del 07/09/2021

Prova *Metodo*	Unità di misura	Risultato	Valori Limite *Dlgs 152/06 tab. A limiti per verde pubblico e residenziale*	Valori Limite *Dlgs 152/06 tab. B limiti per commerciale ed industriale*
Residuo a 105 °C *UNI EN 14346:2007*	%	**94,2**	--	--
Arsenico *APAT CNR IRSA 3080 A*	mg/Kg ss	**6,11**	20	50
Cadmio *EPA 3050 B 1996 + EPA6010 C 2007*	mg/Kg ss	**< 0,1**	2	15
Cromo totale *EPA 3050 B 1996 + EPA6010 C 2007*	mg/Kg ss	**36,0**	150	800
Cromo VI *CNR IRSA 16 Q 64 Vol 3 1986*	mg/Kg ss	**< 1**	2	15
Mercurio *APAT CNR IRSA 3200 A1*	mg/Kg ss	**0,24**	1	5
Nichel *EPA 3050 B 1996 + EPA6010 C 2007*	mg/Kg ss	**31,0**	120	500
Piombo *EPA 3050 B 1996 + EPA6010 C 2007*	mg/Kg ss	**84,0**	100	1000
Rame *EPA 3050 B 1996 + EPA6010 C 2007*	mg/Kg ss	**87,0**	120	600
Cobalto *EPA 3050 B 1996 + EPA6010 C 2007*	mg/Kg ss	**15,0**	20	250
Zinco *EPA 3050 B 1996 + EPA6010 C 2007*	mg/Kg ss	**141,0**	150	1500
Idrocarburi n-C10 ÷ n-C40 *EPA 8270D 2007*	mg/Kg ss	**< 1**	50	750
Amianto *Metodo interno*	mg/Kg ss	**< 1000**	1000	1000

Giudizio:
Tutti i parametri analizzati rispettano i limiti indicati dalla colonna A – limiti per verde pubblico e residenziale - della tabella 1 dell'allegato 5 della parte IV del D.Lgs. 152/06.

Analytica Srl

Dott. MARIO NORDERA N. 1945

Sede Legale: 17014 Cairo Montenotte (Sv) - Via Roma n° 57
Sede Operativa: 17014 Cairo Montenotte (Sv) - Via Italia n° 38 Frazione Ferrania
Tel. 019 504872 - E-mail: analytica@libero.it - PEC: analyticasrl@legalmail.it
C.F./P.IVA: 01148010091

Relativamente al campione Cod. 508/21, la Classificazione Rifiuto/ Codice CER rileva:

ANALYTICA SrL
Tecnologie Chimiche

Azienda certificata
ISO 9001 n° 411

RAPPORTO DI PROVA Cod. 508/21 - N. 01 del 06/09/2021

GIUDIZIO CHIMICO in base ai criteri previsti dagli allegati D e I alla parte IV del D.Lgs. 152/06 com modificati dalla legge 116/2014, Decisione 2014/955/UE, Regolamento 1357/2014/UE Regolamento UE 2016/1179, Regolemento UE 2017/997 e le indicazioni riportate nel parere dell'Istituto Superiore di Sanita' n° 36565 del 05/07/2006, in base ai risultati analitici ottenuti sul campione esaminato e alle informazioni acquisite (ciclo produttivo, materie prime utilizzate), il presente rifiuto è da classificarsi come:

SPECIALE NON PERICOLOSO

CLASSE DI PERICOLOSITA': **NESSUNA**

CODICE CER ASSEGNATO: **17 05 04**

TRANSCODIFICA: **TERRE E ROCCIE DIVERSE DI CUI ALLA VOCE 17 05 03**

Relativamente al campione Cod. 508/21, il Test di Cessione rileva:

ANALYTICA SrL
Tecnologie Chimiche

Azienda certificata
ISO 9001 n° 411

RAPPORTO DI PROVA Cod. 508/21 - N. 01 del 06/09/2021

Prova *Metodo*	Unità di misura	Risultato	Valori Limite *D.M. 186/2006*
pH *CNR IRSA 1 Q 64 Vol3 1985 + APAT CNR IRSA 2060 Man 29 2003*	Unità di pH	7,12	5,5÷12
Floruri *APAT CNR IRSA 4020*	mg/l	0,57	1,5
Cloruri *APAT CNR IRSA 4020*	mg/l	25,11	100
Nitrati *APAT CNR IRSA 4020*	mg/l	10,13	50
Solfati *APAT CNR IRSA 4020*	mg/l	108,19	250
Cianuri *Metodo interno*	µg/l	< 10	50
Cu *APAT CNR IRSA 3010+3020*	mg/l	< 0,001	0,05
Ni *APAT CNR IRSA 3010+3020*	mg/l	0,004	0,01
Cr *APAT CNR IRSA 3010+3020*	mg/l	0,015	0,05
Zn *APAT CNR IRSA 3010+3020*	mg/l	0,03	3
Pb *APAT CNR IRSA 3010+3020*	mg/l	< 0,001	0,05
Cd *APAT CNR IRSA 3010+3020*	mg/l	< 0,001	0,005
Co *APAT CNR IRSA 3010+3020*	mg/l	< 0,001	0,25
As *APAT CNR IRSA 3080A*	mg/l	< 0,005	0,05
Hg *APAT CNR IRSA 3200 A1*	mg/l	< 0,001	0,001
Ba *APAT CNR IRSA 3010+3020*	mg/l	0,02	1
Be *APAT CNR IRSA 3010+3020*	µg/l	< 1	10
V *APAT CNR IRSA 3010+3020*	µg/l	< 1	250
Se *APAT CNR IRSA 3010+3020*	µg/l	< 1	10
COD *Metodo interno*	mg/l di O2	19	30
Amianto *Metodo interno*	mg/l	< 1	30

Giudizio finale: In base ai dati riscontrati, il materiale non supera le concentrazioni limite previste dal Decreto Ministeriale e pertanto può essere riutilizzato mediante procedure semplificate nei limiti previsti dalla legge.

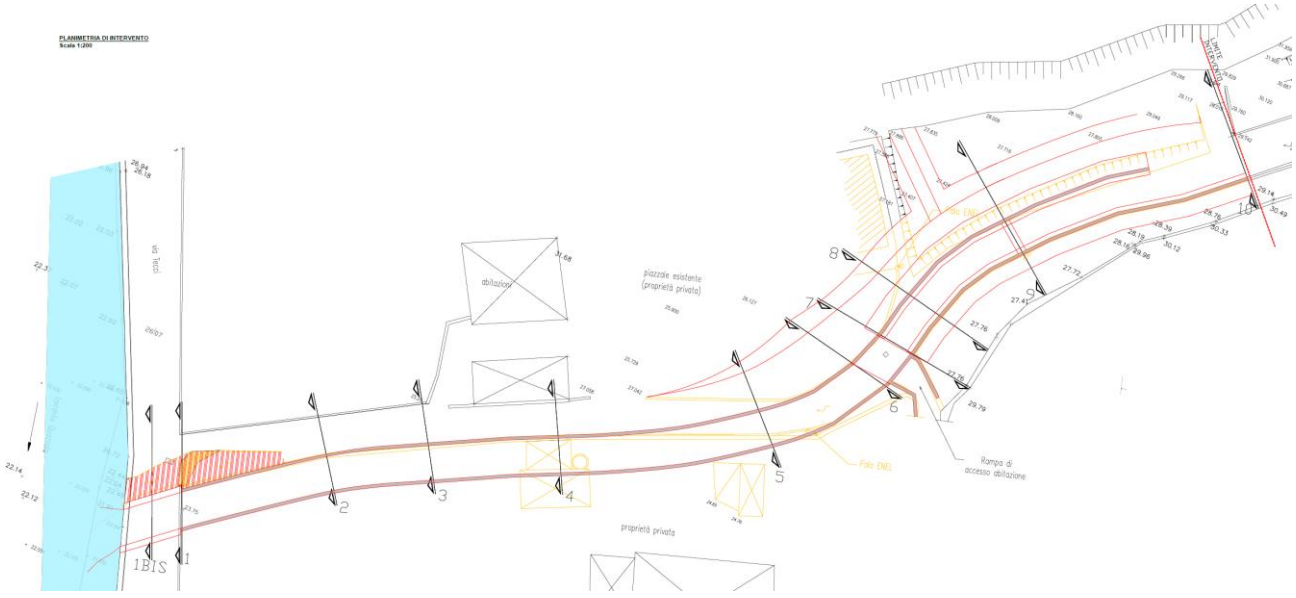
Analytica Srl

Sede Legale: 17014 Cairo Montenotte (Sv) - Via Roma n° 57
Sede Operativa: 17014 Cairo Montenotte (Sv) - Via Italia n° 38 Frazione Ferrania
Tel. 019 504872 - E-mail: analytica@libero.it - PEC: analyticasrl@legalmail.it
C.F./P.IVA: 01148010091

8. INDICAZIONI GEOLOGICO TECNICHE - PROGETTUALI

I dati geognostici e le stratigrafie geologico progettuali elaborate costituiscono supporto tecnico per il progettista nella fase di progettazione DEFINITIVA-ESECUTIVA, scelta, calcolo e dimensionamento delle opere di fondazione, onde verificare la funzionalità, l'idoneità statica e la durabilità di tutti gli interventi e i manufatti in progetto.

In ragione della planimetria progettuale Stato raffronto e a sostegno supporto delle indicazioni geologico tecniche, vengono elaborate (cfr. Tav. 3) sezioni geologico progettuali in corrispondenza dei profili esecutivi principali e più significativi.



Planimetria progettuale Stato raffronto

Nello specifico sono state elaborate le sezioni geologico progettuali 2/4/5 e 7 sulla base dei dati raccolti e in ragione dei raffronti architettonici progettuali forniti, dove si evince un modello geologico del sito costituito, con riferimento al volume geologico significativo, da

- Orizzonte R: depositi alluvionali variamente rimaneggiati in superficie con talora terreni di riporto: sabbia limosa o deb. limosa con pietrame e ghiaia eterometrica subangolare

- Depositi alluvionali Rio Santo / T. Quazzola (Fluviale medio recente)

Si distinguono tre orizzonti specifici e presenti in entrambi i sondaggi, dall'alto verso il basso:
A : sabbia ghiaiosa con ciottoli eterometrici
B: sabbia limosa con ghiaia e ciottoli eterometrici
C: sabbia media (talora limosa) con ghiaia e ciottoli eterometrici
Talora presenti interstrati tipo B1, di ghiaia e ciottoli con trovantame alterato e destrutturato

- Substrato roccioso (orizzonte SR) da alterato a molto fratturato, costituto da scisti micacei-quarzosi grigio verdastri e orto gneiss, in condizioni di argillificazione, sia per condizioni di sottofalda che di deformazione e stress tettonico. Si rinvengono come sabbie limose con scaglie e frammenti litoidi alterati e disarticolati.

Il contatto in discordanza tra i depositi alluvionali e il substrato talora è incerto e discontinuo con passaggio irregolare in ragione di substrato fratturato e disarticolato.

Il modello geologico geotecnico rivela e presume interfacce pressochè tabulari, con locali ondulazioni e spessori variabili degli orizzonti discriminati. Nel dettaglio, sulla base altresì dei raffronti progettuali architettonici di cui gli elaborati ITEC Engineering, lo scrivente evidenzia relativamente a pressoché tutte le sezioni progettuali, esclusa la 1 bis su Via Tecci, quanto segue:

- lo strato superficiale dell'orizzonte di riporto e terreno rimaneggiato "R", presenta spessori variabili che eccedono, (fatta eccezione nel tratto di monte sez. 7/8/9) il piano di posa del nuovo scatolare. Tale orizzonte geotecnico non costituisce però, a rigore, idoneo strato di fondazione in ragione di potenziali eteropie spaziali e granulometriche, e/o lenti e plaghe con differente stato addensamento con rischio di potenziali assestamenti e/o distorsioni angolari.

- le sottostanti alluvioni medio grossolane (Orizzonte A), costituiscono invece, idoneo terreno di fondazione diretta, essendo depositi fluviali sabbioso ghiaiosi con ciottoli, sopra falda, caratterizzati da buona capacità portante e ottima resistenza al taglio. Possibili locali e potenziali eteropie laterali e presenza di plaghe e/o livelli isolati di materiale fine coesivo e plastico argilloso.

La tipologia fondazionale di tipo diretto appare funzionale e idonea salvo verificare quindi, l'esistenza di problematiche relative a potenziali eteropie granulometriche laterali che possono condizionare la stabilità del manufatto con rischio di intercettare e "caricare" settori caratterizzati da plaghe, lenti e sacche di materiale fine/coesivo ad elevata plasticità e conseguente elevata suscettibilità a cedimenti, assestamenti differenziali notevoli per distorsione angolare che, nei depositi alluvionali ad assetto caotico spesso si rinvengono senza apparente logica o regola. A tale riguardo, pertanto, fondazioni dirette su tale orizzonte geotecnico necessiteranno di verifiche e valutazioni dirette a cura D.L., circa l'esigenza o meno di interventi di sostituzione e "bonifica", dei livelli più coesivi, in modo da minimizzare e/o eliminare tutte le criticità legate a potenziali cedimenti progressivi e differenziali; la D.L dovrà quindi, in fase esecutiva, accertare che l'orizzonte "fondazionale" sia caratterizzato da assenza di tali livelli, salvo intervenire in loco o con approfondimento o con miglioramenti puntuali e/o areali quali sostituzione con materiale arido a maggior addensamento e, quindi, con minore suscettibilità al cedimento progressivo e/o ad effetti di assestamento sul lungo termine.

Problematica (remota) da verificare in corso d'opera potrà inoltre essere rappresentata dall'interferenza della falda con gli scavi esecutivi in virtù della potenziale presenza della superficie freatica suscettibile di oscillazioni.

A tale riguardo, si raccomanda altresì, in ragione della presenza della falda suscettibile di oscillazioni verticali, sia la messa in opera di un materasso drenante sotto le fondazione che il dimensionamento con verifica al galleggiamento, in associazione a sistema di intercettazione con vespaio da realizzare lungo i muri a camicia perimetrali contro-terra per l'intercettazione delle acque di infiltrazione con abbattimento della spinta idrostatica.

Relativamente ai fronti di scavo operativi, in ragione delle soluzioni ipotizzate nei raffronti progettuali, si evidenzia in via preliminare e nel caso più critico di intervento con fondazioni dirette, un fronte di altezza max dell'ordine dei 3.0 m (sez. 7 e oltre), da realizzarsi in toto con escavatore a sterrare terreno limoso sabbiosi e argillosi, coesivi e/o ghiaioso sabbiosi con resistenza al taglio variabile e condizioni di sopra falda, in contesto anche prossimo a edifici esistenti (sez. 4) e/o a muri di confine.

In ragione di quanto esposto, le problematiche esecutive relative agli scavi riguardano rischi potenziali per la stabilità degli stessi e dei manufatti al contorno, sia e anche in ragione di eventuali scavi al di sotto delle fondazioni esistenti e/o di modifiche degli stati tensionali indotte dagli sbancamenti.

Ulteriori problematiche sono da imputarsi a:

- decadenza sul medio-lungo termine dei fronti in materiali sciolti
- potenziale presenza servizi sepolti e interrati
- rischio vibrazioni o cedimenti e locali subsidenze

Il valore dell'altezza critica del fronte di scavo viene verificato mediante il Metodo di Taylor, valido per terreni coerenti (quali quelli in esame, cautelativamente tipo Orizzonte R), che prevede e ipotizza superfici di rottura lungo slittamenti pseudo curvi preceduti da fratture di trazione e fessurazioni sul piano sommitale dell'area di scavo.

In caso di rottura incipiente, con fs pari a 1 si ha:

$$Fs = N\ cu / \gamma\ H$$

con

N pari a fattore di stabilità Taylor (1948)
Cu pari a coesione non drenata
H pari a altezza fronte di scavo
γ pari a peso dell'unità di volume del terreno

Nel caso in studio, applicando i coefficienti parziali previsti al punto 6.8 delle NTC vigenti e verificando il fronte a breve scadenza, (condizione non drenata con angolo di attrito = 0° e coesione = cu) si ha, con riferimento al paragr. 3.2:

Orizzonte R Parametri di progetto

- Peso di volume	$\gamma = 18.5\ KN/m^3$
- Angolo di attrito	$\phi_p = 10°$ (cautelativo)
- Coesione non drenata	Cu_p : 0.14 Kg/cmq = 14 KN/ m^2 (a favore di sicurezza)

Ipotizzando un fronte di scavo con angolo di scarpata pari a 50°, si ricava, come da fig. 1, per ϕ pari a 15°

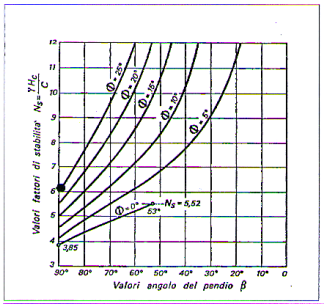


Fig. 1

Metodo di Taylor $H_c = N_s \cdot c/g$

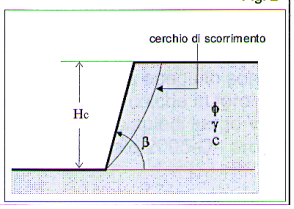


Fig. 2

con N = 7 un fronte di altezza critica pari a : Hc = 5.3 m da cui
Altezza Critica Ammissibile HCa = Hc / γR = 5.3/1.1 = 4.8 m
Poiché il fronte di scavo in progetto avrà altezza massima pari e non eccedente a ca. 3.0 m, si ha:

Rd / Ed = 4.8/ 3.0 = 1.6 Verificato

Si raccomanda e prescrive, pertanto e in ogni caso, un fronte di scavo in condizioni di sicurezza a breve termine e in condizione di SOPRA FALDA solo con inclinazione massima pari a 50°, escludendo ovviamente eventi meteorici intensi e prolungati causa di improvviso crollo delle caratteristiche geotecniche dei terreni esaminati. A tale riguardo si raccomanda altresì:

- durante le fasi di scavo i fronti temporanei dovranno essere preservati con teli impermeabilizzanti nei periodi transitori ai lavori di avanzamento, avendo cura di non caricare il ciglio di scavo con mezzi e materiali di risulta
- contestualmente a tale riprofilatura dovrà prevedersi anche una cunetta di raccolta e intercettazione a monte della scarpata di cantiere, che eviti il ruscellamento delle acque libere sul fronte durante gli eventi meteorici intensi e prolungati
- verifica preliminare e controllo mappatura sottoservizi
- realizzazione eventuali sistemi di agottamento falda

Qualora si rendessero necessarie pendenze di fronte esecutive maggiori di quelle raccomandate, lo scrivente ravvisa la necessità, onde preservare l'incolumità delle maestranze, di realizzare delle opere provvisorie di contenimento da progettare e prevedere in fase esecutiva a cura e responsabilità del progettista incaricato sulla base anche del rapporto di vigilanza e coordinazione alla sicurezza del Direttore Lavori. Tale accorgimento è da valutarsi utile soprattutto in corrispondenza sez. 4.

Come da relazione ITEC, i sottoservizi interferenti con le opere di progetto sono ubicati nel tratto focivo del Rio Santo, in corrispondenza dell'intersezione della strada di progetto con Via Tecci. Nella fattispecie, i sottoservizi presenti nell'area di intervento sono:

- • ENEL bassa tensione
- • ENEL media tensione
- • Rete fognaria
- • Acquedotto
- • Gas

Tutti i sottoservizi sopracitati corrono longitudinalmente a Via Tecci. Tra questi, la rete fognaria, acquedottistica e le linee di media e bassa tensione ENEL deviano sul sedime dell'attuale Rio Santo per raggiungere le utenze che affacciano sulla strada di servizio.

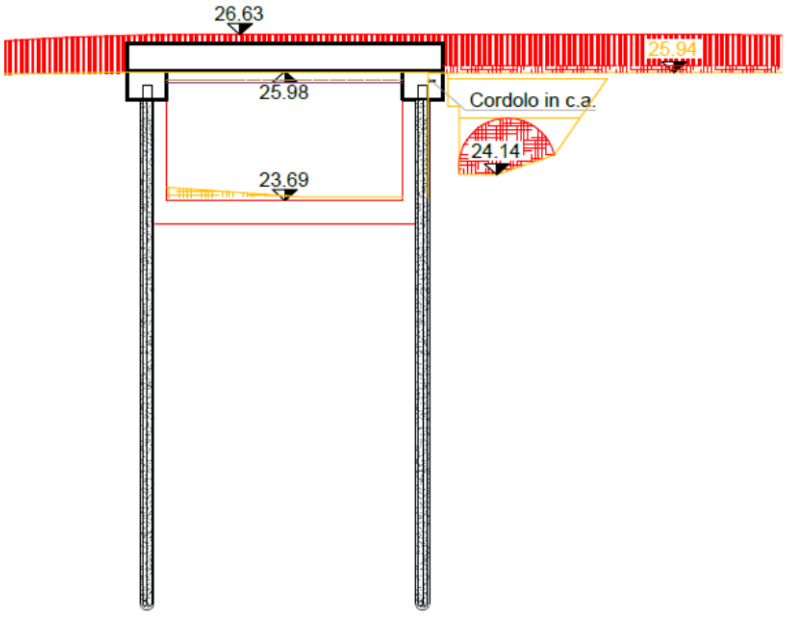
La deviazione dei sottoservizi verrà operata in Via Tecci, in corrispondenza dell'intersezione con la strada di progetto e del nuovo tratto focivo del Rio Santo, realizzato attraverso un fornice impostato su micropali e coperto da una soletta in C.A., opportunamente sagomata a livello intradossale per poter alloggiare le condotte dentro apposite intercapedini.

La rete fognaria in subalveo sul sedime del Rio Santo verrà invece deviata verso la sponda destra del canale, in ombra alla strada di progetto parallela al rivo.

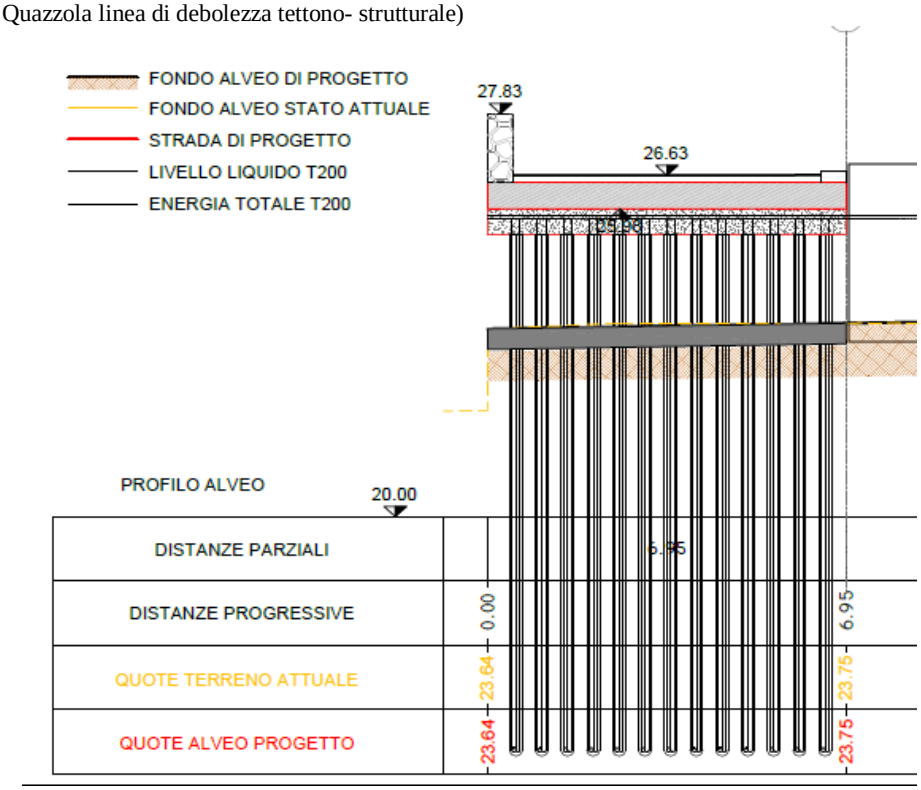
In fase pre-esecutiva lo scrivente consiglia altresì la realizzazione di indagine georadar atta alla verifica dell'esatta posizione dei sottoservizi in potenziale interferenza con le opere.

L'adozione di fondazioni dirette dovrà altresì considerare la corretta gestione delle terre e rocce da scavo come indicato nel paragrafo di consulenza ambientale (vedi paragrafo 7)

Relativamente alla sezione progettuale su Via Tecci di cui oltre (sez. 1 bis), si evidenzia quanto segue:



- Prolungando le informazioni geologico stratigrafiche note e a disposizione. come da sezione longitudinale Stato Attuale in Tav. 2, il substrato roccioso è indicativamente ubicato a profondità > 15 m (tra i 16 – 20 m ipotizzando l'alveo del T. Quazzola linea di debolezza tettono- strutturale)



- Relativamente allo scavo esecutivo per la realizzazione dello scatolare di nuova sezione alveo in attraversamento Via Tecci, si raccomandano fasi di sbancamento successive alla realizzazione della "doppia" berlinese di cintura laterale prevista.

Relativamente ai tratti in rilevato, previsti a progetto, si raccomanda e consiglia l'uso di materiali idonei appartenenti ai gruppi e sottogruppi A-1 della classificazione HRB –AASHO (CNR. UNI 10006).

Nel dettaglio si raccomandano modalità operative che prevedano la corretta gestione terre e rocce da scavo e loro riporto sistematico evitando il più possibile zone di stoccaggio e accumulo provvisorio in sito. A tale riguardo dovrà individuarsi una zona di stoccaggio provvisorio idonea e sicura. Dovrà operarsi con stesa basale di uno strato granulare con funzione anticapillare, costituito da materiale arido di cava (40-70 mm di pezzatura). La stesura dovrà eseguirsi con sistematicità, gli strati dovranno essere adeguatamente rullati e vibrati con mezzi meccanici al fine di minimizzare cedimenti differenziali, fino al raggiungimento della quota di progetto, utilizzando fusi granulometrici misti, con assortimento granulometrico vario sia a media pezzatura che fine coesivo e plastico, ogni 0.5 m in elevazione, contestuale a verifica del grado di umidità e saturazione ottimale raggiunto (densità secca non inferiore a 95% della densità secca modificata AASHO). Consigliata eventuale verifica a cura D.L. e secondo capitolato del modulo di deformazione Md previo prove di carico su piastra.

CONCLUSIONI

Gli aspetti geologico tecnici più significativi per la realizzazione delle opere in progetto sono sostanzialmente quelli legati alla fattibilità ingegneristica delle sezioni progettuali e alle corrette modalità esecutive degli scavi con corretta gestione delle terre e rocce da scavo.

Sulla base delle elaborazioni e delle indagini geognostiche eseguite, lo scrivente, in ragione:

- della ricostruzione geologico – stratigrafica e idrogeologica eseguita
- della modellazione geotecnica elaborata
- della classificazione sismica del sito individuata
- del livello fondazionale indicato da raggiungere
- della morfologia e topografia pianeggiante, in assenza di cigli e/o segni di dissesto e instabilità latenti e/o quiescenti

e fatte salve(i)

- la salvaguardia ambientale connessa con la stabilità dei fronti di scavo temporanei e loro interferenza con la viabilità stradale e gli edifici al contorno e in aderenza al lotto
- il ripristino in miglioramento dell'assetto idrogeologico esistente
- le prescrizioni geologico esecutive e di salvaguardia operativa indicate nella perizia in oggetto
- l'ammissibilità da verifiche geotecniche –ingegneristiche come da normativa vigente, ovvero la tollerabilità degli assestamenti del nuovo manufatto in ragione della verifica di sicurezza sia agli SLU che agli SLE con riguardo alla portanza dei terreni.
- gli accorgimenti di polizia idraulica a difesa dai rischi potenziali di esondabilità del sito
- l'assoluta osservanza delle norme di sicurezza e dei vincoli ambientali vigenti

ribadisce l'ammissibilità geologica e la fattibilità dell'intervento.



Cairo Montenotte, Settembre 2021

Dott. Geologo Amedeo Gaiezza