

Dott. Geologo LINDA CORTELEZZI Via Morazzone n. 3/A - 21049 TRADATE (VA)
Tel. e Fax. +39 0331 843568 – cell. +39 338 3613462
e-mail: geostudio1966@libero.it; PEC: linda.cortelezzi@epap.sicurezzapostale.it
P.IVA 02414970125 -CF: CRTLND66R70L319R

Relazione geologica preliminare ed analisi di stabilità di orientamento progettuale per la proposta di P.L. Pratalungo tra le Vie Leoncavallo e Cascina Montechiaro, Tradate (VA)

(Decreto Ministeriale 14/01/2008 – Testo unitario – Norme Tecniche per le costruzioni; Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009).



Committenti:

Sig.ri SPERONI, PONTI, PELLEGATTA

21049 Tradate (VA)

Rif.: 416pl
ottobre 2016

SOMMARIO

1. PREMESSA	3
2. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE DEL TERRITORIO	6
2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	6
2.2 CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE	10
2.2.1 Uso del suolo – estratti DUSAF Regione Lombardia	10
2.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ DEL DEPOSITO	12
2.4 SISTEMA IDROGRAFICO	13
2.5 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	15
2.6 VULNERABILITÀ IDROGEOLOGICA	16
3. PERICOLOSITÀ SISMICA	17
3.1 INTRODUZIONE	17
4. VINCOLI DI ATTINENZA GEOLOGICO-AMBIENTALE	18
5. ANALISI DI STABILITÀ DEL PENDIO	20
5.1 CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DELL'AREA DI PROGETTO	20
5.2 INTRODUZIONE ALL'ANALISI DI STABILITÀ	21
5.3 RISULTATI DELL'ANALISI PRELIMINARE DI STABILITÀ SULLA SEZIONE LONGITUDINALE A – A'	24
6. RIEPILOGO DEI RISULTATI DELL'INDAGINE E DELLE VERIFICHE PRELIMINARI	33
7. CONCLUSIONI E MISURE DA ADOTTARE	34

FIGURE

- Figura 1 – Inquadramento geografico (estratto cartografia CTR 1:10.000)
- Figura 2 – estratto Tav. 15 – Fattibilità geologica (PGT 2014)
- Figura 3 – estratto planimetria di Progetto
- Figura 4 – estratto Carta geologica d'Italia 1:100.000 – Foglio n. 41 "Varese"
- Figura 5 – estratto TAV. 5 sud – pericolosità per frana –PGT vigente
- Figura 6 – estratto DUSAF 4 – 2012
- Figura 7 – l'area di progetto vista dalla Via Montechiaro
- Figura 8 - Valori indicativi del coefficiente di permeabilità
- Figura 9 – estratto Tav. 08 – carta idrografica – PGT vigente
- Figura 10 – estratto Tav. 10 – carta della PSL – PGT vigente
- Figura 11 - Estratto TAV. 13 – carta dei vincoli - PGT vigente
- Figura 12 – ubicazione della sezione di calcolo A-A' – estratto aerofoto comunale
- Figura 13 – traccia della sezione A-A' (area di progetto vista dalla Via C.na Montechiaro)
- Figura 14 – Metodo di Fellenius – superficie con F_s minimo (0,81) – profilo SDF
- Figura 15 – Metodo di Fellenius – superficie con F_s minimo (1,62) – profilo SDP risagomato con opera basale di contrasto

1. PREMESSA

La presente Relazione Geologica richiesta dalla proprietà viene redatta a corredo della proposta di PL Pratolungo compreso tra le Vie Leoncavallo e Cascina Montechiaro in Comune di Tradate (VA) al fine di verificare la compatibilità dell'intervento con le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e sismiche del territorio, nonché individuare le eventuali problematiche di tipo geologico da approfondire nella successiva fase di progettazione.

Con riferimento alla conformazione morfologica dell'area ed alle ipotizzate opere di risagomatura del versante necessarie per l'edificazione ed urbanizzazione del sito, si prevede l'impostazione dell'analisi della stabilità per alcune sezioni rappresentative, tracciate negli elaborati progettuali.

La superficie interessata è delimitata dalla Via Leoncavallo a Sud e dalla Via Montechiaro a Nord (Figura 1 – inquadramento geografico), ha sviluppo allungato secondo le direttrici Nord est-Sud ovest ed è distinta dai mappali 1519, 1517 e 4273- Foglio 9 – sez. AB del Comune di Tradate (VA). La proposta di PL prevede la realizzazione di nuovi edifici ad utilizzo residenziale.

Secondo lo Studio geologico, idrogeologico e sismico del vigente PGT, approvato con d.C.C. n. 16 del 21/06/2014 e redatto ai sensi della LR 12/2005 l'area di progetto si trova nelle seguenti *Classi di fattibilità*:

- *3a (area di pianalto)* per quanto concerne la porzione sommitale e mediana
- *3b (area di versante con pendenze blande)* relativamente alla porzione basale.

Nella Classe di fattibilità 3 classe ricadono le aree nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

A seguito dell'entrata in vigore delle NTC (D.M. 14.01.2008), la Regione Lombardia ha modificato la procedura per la valutazione della pericolosità sismica locale in fase di pianificazione, aggiornando i criteri per la redazione degli studi geologici per i PGT con delibera n. 2616 del 2011 "*Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT*"

Si sottolinea che il presente studio geologico non sostituisce le indagini previste dal D.M. 14 gennaio 2008 "*Norme tecniche per le costruzioni*" in fase esecutiva.

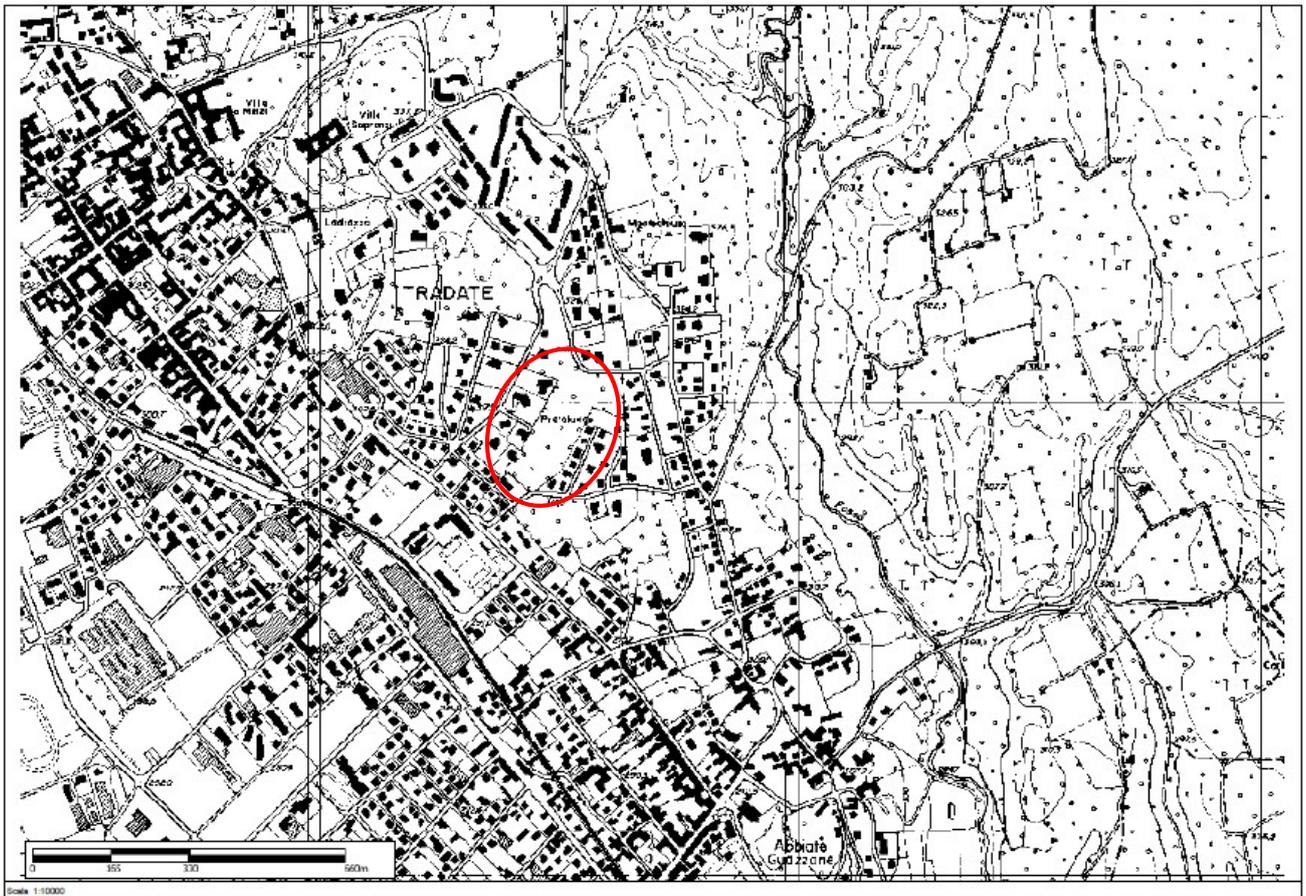
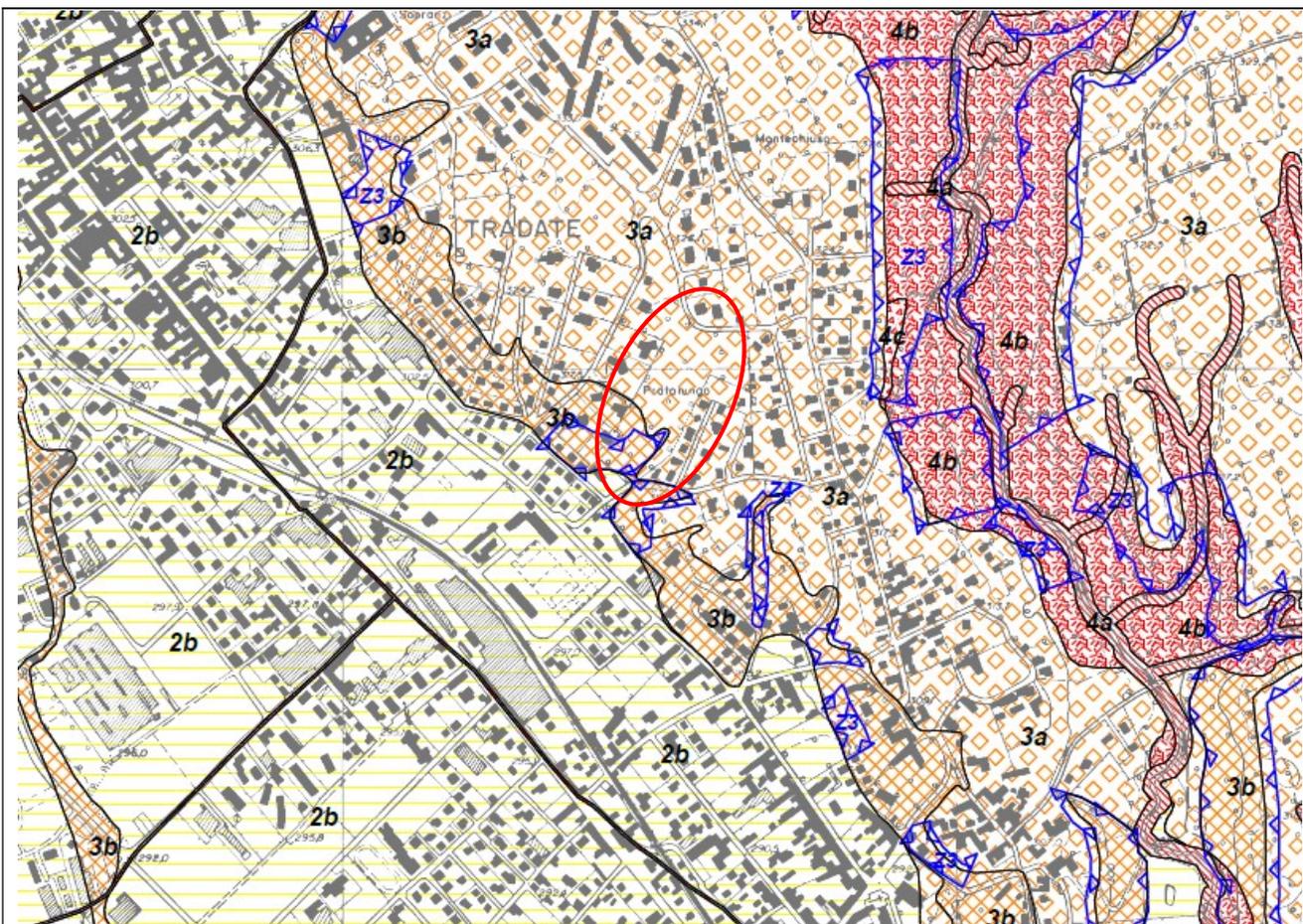


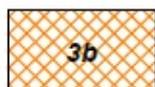
Figura 1 – Inquadramento geografico (estratto cartografia CTR 1:10.000)



CLASSE DI FATTIBILITA' D.G.R. 9/2616/11



3a Aree del pianalto ferrettizzato



3b Area di versante con pendenze blande

**AMBITI SOGGETTI AD AMPLIFICAZIONE SISMICA LOCALE D.G.R. 9/2616/11 All. 5
(TRATTI DALLA TAV. 10 "Carta della pericolosità sismica locale")**



Z3 Zona di ciglio (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica) e zona di cresta e/o cucuzzolo

Figura 2 – estratto Tav. 15 – Fattibilità geologica (PGT 2014)



Figura 3 – estratto planimetria di Progetto

2. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE DEL TERRITORIO

2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Assetto generale

Il territorio comunale di Tradate è posto al limite tra il livello fondamentale della pianura alluvionale che si sviluppa verso Sud e i primi rilievi prealpini posti a Nord.

A Ovest, la valle fortemente incisa del Fiume Olona costituisce un importante elemento morfologico che interrompe la continuità della pianura e determina la separazione tra l'apparato morenico verbano (a Ovest) dagli apparati luganese e lariano-comasco (a Est e Nord-Est).

In tale contesto, il territorio di Tradate è modellato secondo forme caratteristiche di ambiente fluvio-glaciale prossimale, nel quale in posizione frontale rispetto ad ogni lingua glaciale viene a formarsi una piana alluvionale costituita dai sedimenti trasportati dai fiumi di fusione glaciale.

Gli elementi geomorfologici di maggiore rilievo presenti nel territorio comunale sono quindi rappresentati dai terrazzi fluvio-glaciali organizzati in tre ordini principali: Pianalto ferrettizzato della Pineta di Tradate-Appiano Gentile; Terrazzo di Tradate; Piana di Lonate Ceppino.

I terrazzi sono incastonati l'uno nell'altro; i più recenti sono situati a quote inferiori ed hanno tendenza ad ampliarsi verso Sud. Le scarpate a separazione dei terrazzi presentano dislivello variabile (da 5 a 50 m) con graduale aumento verso Nord; l'acclività delle scarpate è maggiore nelle forme più recenti.

Ognuno dei tre ordini di terrazzi comprende a sua volta elementi morfologici di classe minore:

- nell'ambito del Pianalto ferrettizzato è particolarmente sviluppato un reticolato idrografico dendritico evidenziato dalla presenza di sponde in rapida evoluzione, con forte acclività e dislivello spesso superiore a 10-15 m;*
- meno evidenti sono invece gli elementi morfologici nell'ambito del terrazzo di Tradate che si presenta pressoché pianeggiante, con deboli pendenze verso Sud / Sud Ovest evidenziate dalla pendenza di alcuni tratti delle rete viaria cittadina;*
- di origine antropica è invece l'elemento morfologico di spicco nell'ambito della Piana di Lonate Ceppino che è costituito dall'argine artificiale del T. Fontanile presente lungo tutto il suo corso nel territorio tradatese fino a Carbonate.*

Le unità geologiche presenti in affioramento sono di seguito elencate e descritte in ordine stratigrafico, dalla più antica alla più recente:

- CEPPPO (Pliocene Sup. - Pleistocene Inf. Auct.)*
- UNITÀ DELLA PINETA DI TRADATE-APPIANO GENTILE - Assimilabile all'Allogruppo del Bozzente (Glaciale e fluvioglaciale Mindel degli Autori precedenti)*
- UNITÀ DI TRADATE - Assimilata all'Alloformazione di Albizzate - (Fluvioglaciale Riss degli Autori precedenti)*
- UNITÀ DI LONATE CEPPINO - Assimilata ad una Unità dell'Allogruppo di Besnate indifferenziato (Fluvioglaciale Wurm degli Autori precedenti)*
- UNITÀ DEL T. FONTANILE - Assimilata all'Alloformazione di Bodio (Pleistocene Sup.-Olocene) - (Fluvioglaciale Wurm degli Autori precedenti)*
- DEPOSITI LOESSICI oggetto di antiche cave per laterizi.*
- ALLUVIONI RECENTI o attuali con evidenza morfologica (olocene).*

Pericolosità per frana:

Dalla Tavola RIS 3 "Carta della pericolosità frane" del P.T.C.P., si osserva come poco meno della metà del territorio di Tradate sia identificato come potenzialmente franoso, in parte classificato a pericolosità bassa e in parte a pericolosità molto bassa o nulla. Al contrario, la Tavola RIS 4 "Carta della pericolosità frane di crollo" non mostra all'interno del Comune la presenza di alcun versante soggetto a tali fenomeni.

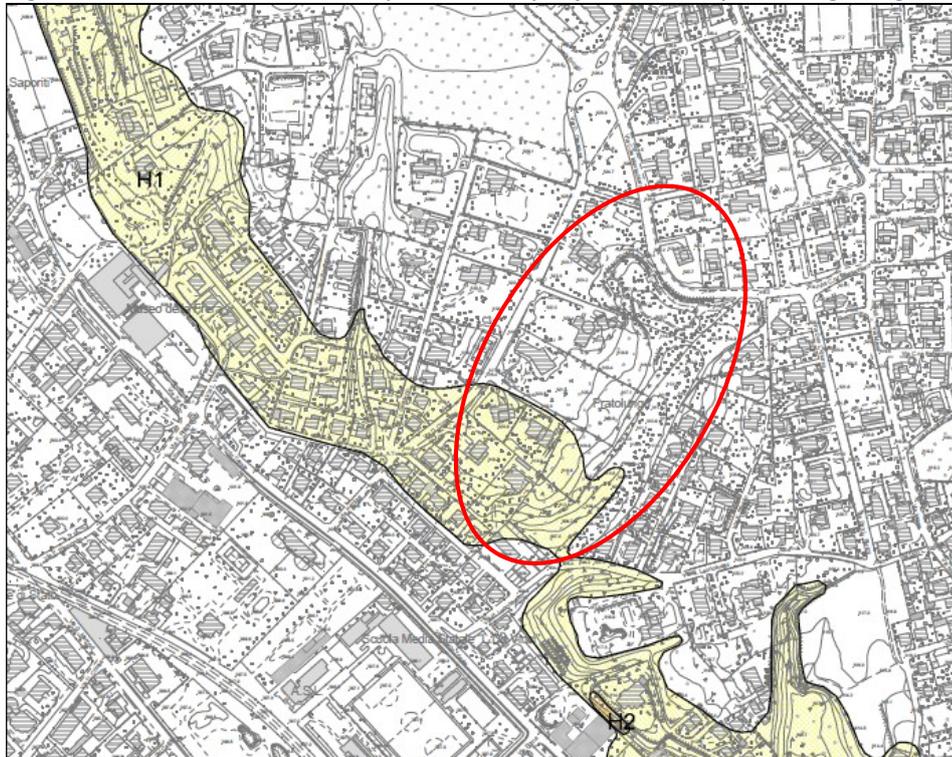
Pertanto, ai sensi degli Art. 82 e 84 del P.T.C.P., il territorio comunale è stato sottoposto ad analisi approfondite per l'attestazione dell'effettiva pericolosità delle aree indicate dalla Tavola RIS 3.

Per mezzo di questo tipo di valutazioni è stato quindi possibile escludere dalle successive analisi di dettaglio diverse aree del territorio di Tradate, classificate dal P.T.C.P. come aree potenzialmente franose. Sulle restanti aree si è quindi proceduto a effettuare le verifiche di stabilità per l'attestazione della sussistenza di tale specifica pericolosità.

Per quanto riguarda la valutazione di dettaglio delle condizioni di effettiva pericolosità dei dissesti già censiti, la fase di attestazione della pericolosità è stata preceduta dall'analisi e dal confronto dei dissesti riportati dall'Inventario frane e dissesti Regione Lombardia (Geolffi) e dalla Carta Censimento Dissesti (Tav.

RIS 2 – P.T.C.P. Varese). L'analisi non ha rilevato dissesti di sorta nel territorio in esame. Gli esiti della valutazione sono stati riportati nella tavola 11 della componente geologica del PGT

Figura 4 – estratto TAV. 5 sud – pericolosità per frana – componente geologica PGT (2014)



Classi di pericolosità divise per:

Aree potenzialmente franose

- Pericolosità molto bassa o nulla
- Pericolosità media
- Pericolosità bassa
- Pericolosità alta

Criteri di assegnazione delle classi e dei livelli di pericolosità		
FS>2.00	Pericolosità molto bassa o nulla	H1
1.7<FS<2.00	Pericolosità molto bassa o nulla	H2
1.4<FS<1.7	Pericolosità bassa	
1.3<FS<1.4	Pericolosità bassa	H3
1.2<FS<1.3	Pericolosità media	
1.1<FS<1.2	Pericolosità media	H4
1.0<FS<1.1	Pericolosità alta	
FS<1.0	Pericolosità alta	H5

Aree a pericolosità molto bassa o nulla (H1) individuate con criterio geomorfologico, generalmente stabili ma con possibile interessamento ed innesco di locali fenomeni di dissesto gravitativo soprattutto a seguito di azioni di scavo e sbancamento non adeguatamente condotte. Tali aree comprendono anche le aree di possibile espansione dei dissesti nei settori a pericolosità più elevata.

Area di progetto

L'area di progetto è situata nel settore Orientale del Comune di Tradate (VA). Dal punto di vista geologico è caratterizzata da depositi Quaternari pre-wurmiani ferrettizzati secondo quanto riportato nella cartografia ufficiale (Foglio n. 41 "Varese" del Servizio Geologico d'Italia).

Si tratta di materiali molto potenti di carattere alluvionale composti da elementi di provenienza alpina (rocce cristalline massicce e scistose) e prealpina (porfidi, anageniti, calcari e dolomie) dovuti a conoidi di antichi torrenti alpini. La porzione superficiale è diventata una crosta alluvionale rossastra completamente decalcificata (ferretto) con ciottoli cristallini originari privi di qualsiasi consistenza ancora riconoscibili.

Il settore in esame è contraddistinto da morfologia blandamente inclinata verso Sud-sud ovest e con altitudine compresa tra 305 e 318 m s.l.m.

Come è possibile osservare dal rilievo topografico celerimetrico allegato alla proposta di PL, la porzione del lotto adiacente la Via Leoncavallo mostra una ripidità moderatamente accentuata traducibile con una pendenza media rappresentativa attorno all'8% e pericolosità da frana molto bassa o nulla, mentre la restante superficie edificabile si attesta mediamente attorno al 4-5%.

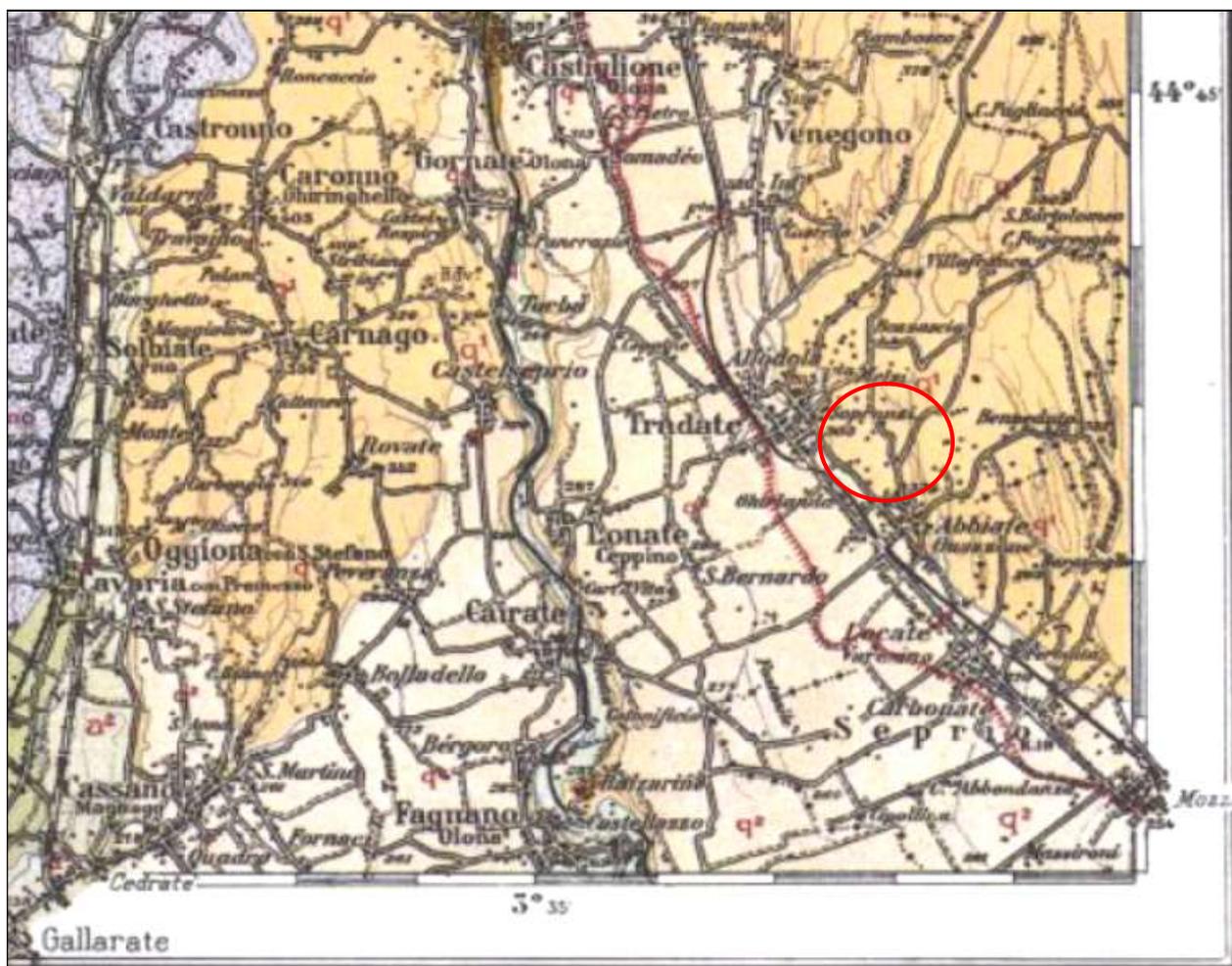


Figura 5 – estratto Carta geologica d'Italia 1:100.000 – Foglio n. 41 "Varese"

2.2 CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE

Le caratteristiche pedologiche dell'area di progetto sono illustrate dagli elaborati redatti da *ERSAF (Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste)*. Nel seguito si riassumono le peculiarità dell'unità cui appartiene il contesto in studio.

SISTEMA R

Terrazzi subpianeggianti rilevati rispetto al livello fondamentale della pianura, costituenti antiche superfici terrazzate risparmiate dall'erosione e comprendenti la maggior parte dei rilievi isolati della pianura. Essi sono costituiti da materiali fluvioglaciali grossolani molto alterati attribuiti al Pleistocene inferiore, generalmente ricoperti da sedimenti eolici e/o colluviali. Sono diffusi suoli antichi (paleosuoli) con orizzonti induriti a fragipan.

Unità cartografica 45 – L'unità occupa le superfici maggiormente rilevate e stabili del terrazzo di Tradate. La superficie è lievemente ondulata con pendenze inferiori al 5% e con rischio di erosione lineare debole; il substrato è costituito da sedimenti non calcarei prevalentemente limosi, profondamente alterati e pedogenizzati, con presenza di orizzonti induriti a fragipan.

I suoli, privi di scheletro, sono profondi o molto profondi; la tessitura è da media a fine. Il drenaggio è mediocre, per la presenza di falde sospese a contatto con il substrato a fragipan.

Capacità d'uso: III classe. Limitazioni molto severe che riducono sensibilmente la scelta delle colture e richiedono consistenti interventi di miglioramento. In questa classe le limitazioni sono ascrivibili a: presenza di orizzonti poco permeabili (fragipan) a limitata profondità (80-100 cm), basso livello di fertilità, drenaggio lento, pendenza moderata e rischio di erosione debole.

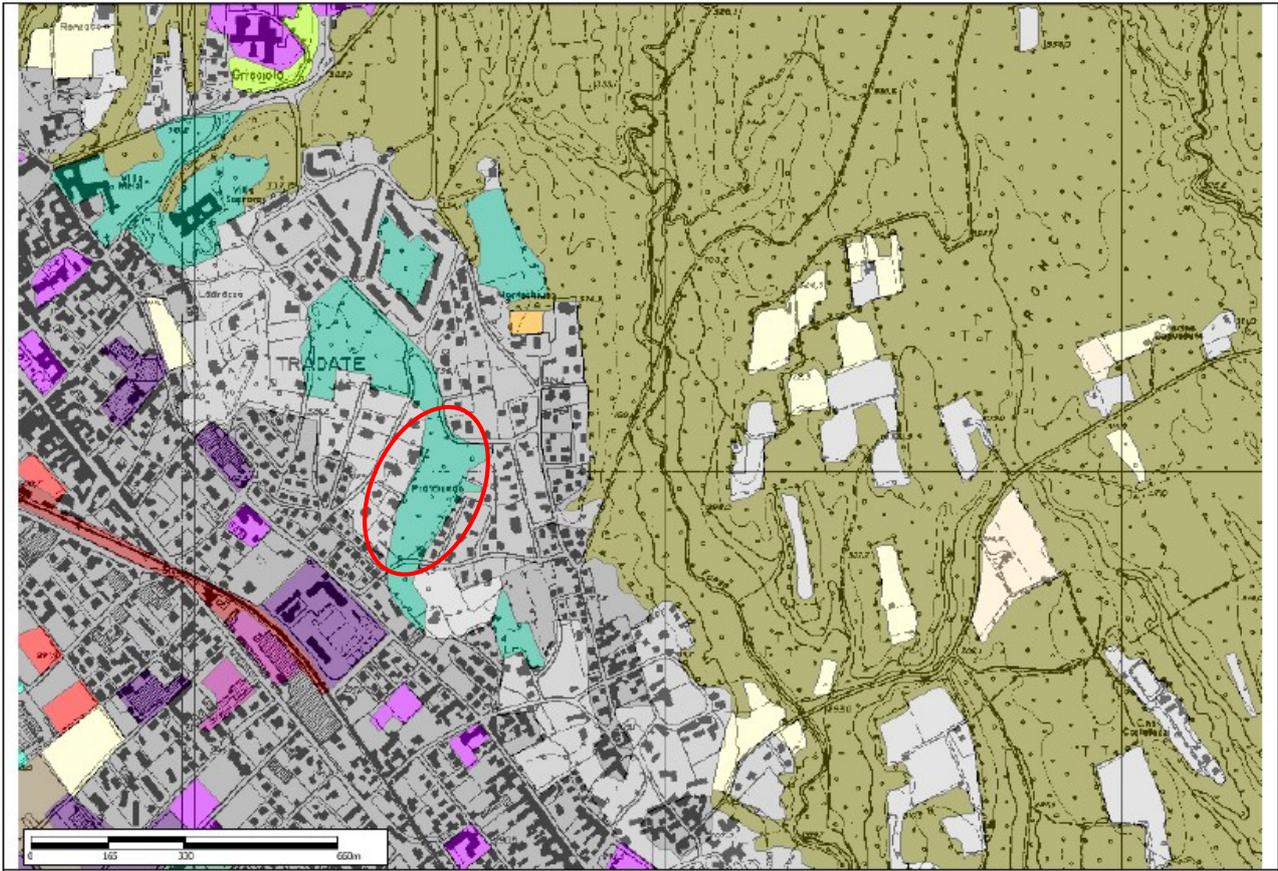
2.2.1 Uso del suolo – estratti DUSAF Regione Lombardia

Gli estratti cartografici di seguito riportati sono tratti dalla banca dati del geoportale Regione Lombardia, disponibile sul sito internet per vari periodi storici.

Per quanto riguarda lo specifico utilizzo dei terreni dell'area di progetto nella storia recente, emerge:

- nell'anno 2000 – DUSAF 1.0, nell'area di progetto è indicata la tipologia 141 *"Aree verdi urbane"*, circondata a monte e a valle dalla tipologia 1122 *"Tessuto urbano discontinuo"*
- In tempi più recenti (2010) DUSAF 3, nell'area di progetto è individuata la tipologia 1411 *"parchi e giardini"* contornata in ogni direzione dalla tipologia 1122 *"Tessuto residenziale rado e nucleiforme"*. Le condizioni illustrate non cambiano nel più recente DUSAF 4 (anno 2012) (Fig. 5).

Figura 6 – estratto DUSAF 4 – 2012



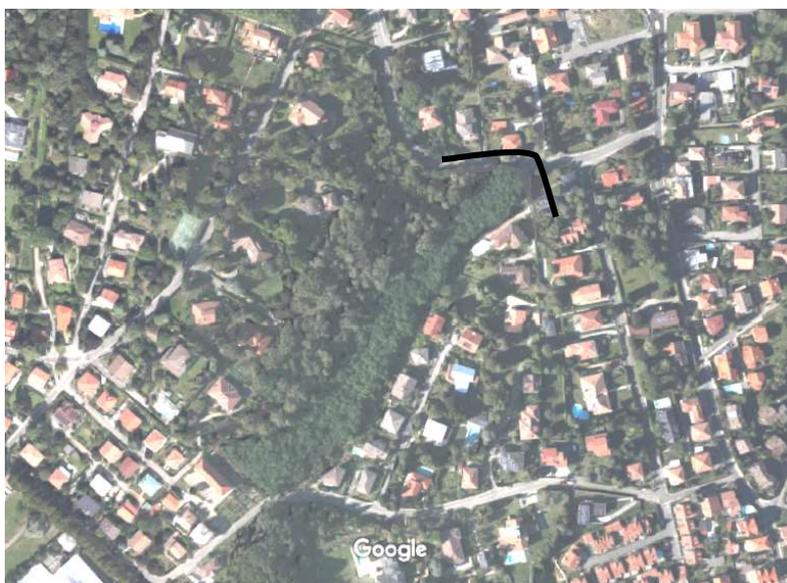
Legenda

DUSAF4

extra-regione

-  1111 - Tessuto residenziale continuo denso (>80% - grandi ed. residenziali)
-  1112 - Tessuto residenziale continuo mediamente denso (>80% - piccoli ed. residenziali)
-  1121 - Tessuto residenziale discontinuo (50 - 80%)
-  1122 - Tessuto residenziale rado e nucleiforme (30 - 50%)
-  1123 - Tessuto residenziale sparso (10 - 30%)
-  1411 - Parchi e giardini
-  1412 - Aree verdi incolte
-  1421 - Impianti sportivi

Figura 7 – l'area di progetto vista dalla Via Cascina Montechiaro



2.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E COEFFICIENTE DI PERMEABILITÀ DEL DEPOSITO

In termini generali i depositi presenti nell'area di progetto sono costituiti da ghiaie poligeniche in matrice limoso-argillosa con alterazione molto spinta (ferretto); si riconoscono clasti residuali porfirici, metamorfici, granitici e selci pressochè totalmente argillificati. La parte superiore del deposito è costituita da limi argillosi con assenza di strutture evidenti.

Le caratteristiche geotecniche sono condizionate dallo stato fisico del materiale e dal grado di alterazione specifico che, come evidenziato, tende a decrescere con la profondità.

Si evidenzia pertanto che l'orizzonte superficiale fine può essere soggetto a rammollimento in condizioni di saturazione, a fronte di uno stato da consistente a duro in assenza di umidità; in base ai parametri geotecnici ricavati, da un punto di vista ingegneristico questo deposito è da considerare da scadente a buono.

Le indagini disponibili nel territorio circostante riconducibili a prove penetrometriche dalle quali, a differenza dei sondaggi, non è possibile ricavare una stratigrafia dettagliata del terreno, riferiscono la locale presenza di cavità di diametro anche metrico (occhi pollini).

La presenza di orizzonti pedogenetici particolarmente induriti (fragipan) e l'alternanza di intervalli a granulometria eterogenea determina le condizioni per venute d'acqua nel primo sottosuolo localmente abbondanti alla profondità compresa tra 150-200 cm dal piano campagna.

E' opportuno ribadire che la caratterizzazione geotecnica riportata ha carattere di inquadramento generale; sussiste, pertanto, la possibilità di registrare sensibili variazioni della granulometria anche in un ristretto ambito dell'ordine di qualche decina di metri. Tali eterogeneità potrebbero comportare consistenti modificazioni nei cedimenti, assoluti e/o differenziati, compromettendo la portanza dei terreni stessi.

Pertanto, nei casi specifici di progettazione, per una corretta determinazione della portanza, occorrerà predisporre accurati programmi di indagine con ulteriori e più mirati interventi, in conformità a quanto previsto dal **D.M. 14/01/2008**.

Per quanto concerne la conducibilità idraulica del deposito, non si hanno a disposizione prove dirette di permeabilità che consentano di determinare il coefficiente k . Rifacendoci comunque alle caratteristiche granulometriche dei materiali, si ipotizza un range di valori compreso tra $1,0 \times 10^{-8}$ m/s e $2,0 \times 10^{-6}$ m/s a seconda delle percentuali di materiale fine (limo e/o argilla) e grossolano (ghiaia), compatibilmente con il grafico sottostante per terreni classificati con *metodo USCS*.

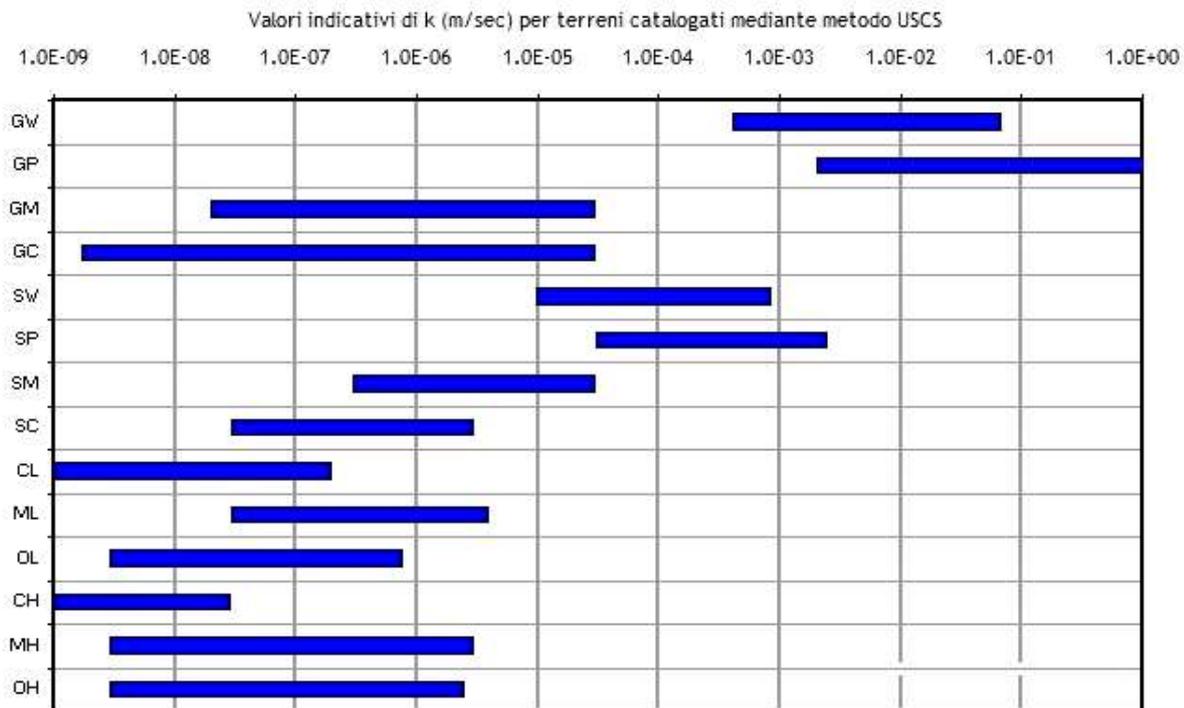


Figura 8 - Valori indicativi del coefficiente di permeabilità per una serie di terreni classificati sulla base del metodo USCS (Unified Soil Classification System)

2.4 SISTEMA IDROGRAFICO

Nel territorio comunale di Tradate è presente una rete idrografica a carattere torrentizio che si origina nel settore collinare e forma incisioni vallive più o meno profonde. In generale, l'assetto naturale del reticolo

idrico ha subito nel corso dei decenni continue modifiche e rimaneggiamenti, dovuti allo svilupparsi del tessuto urbano.

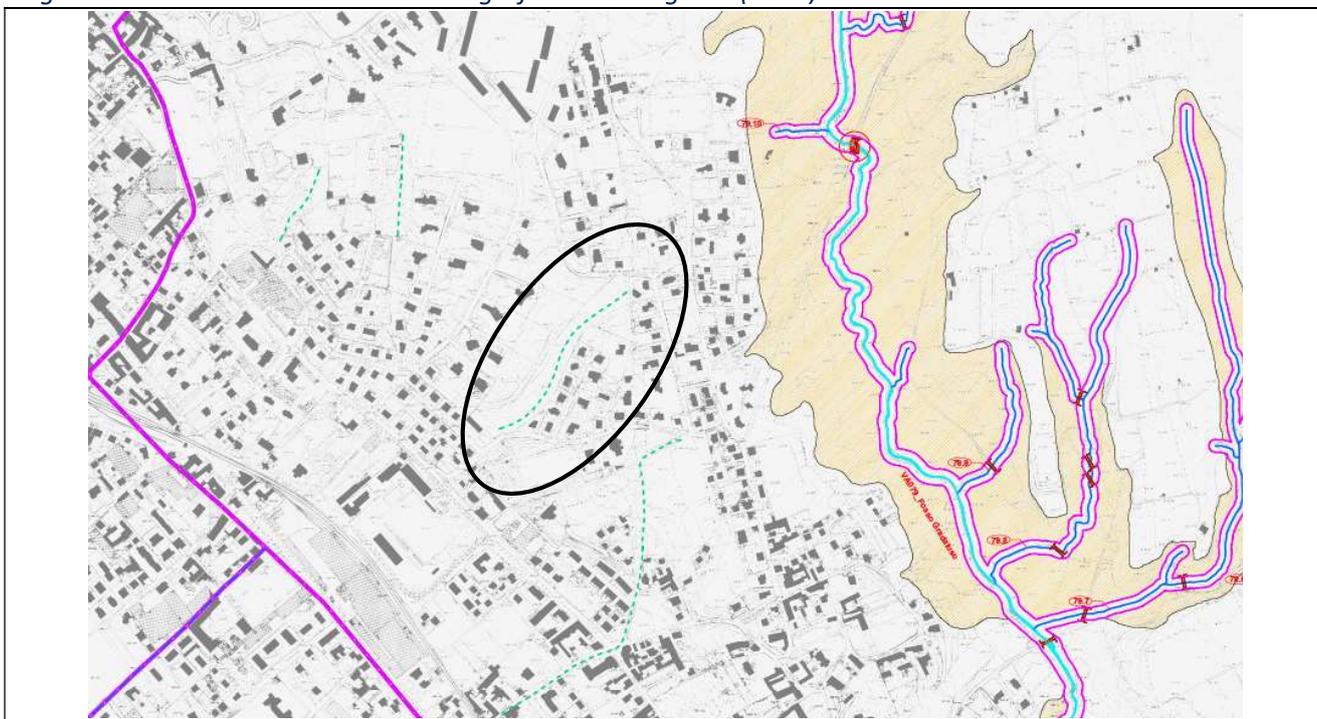
Nell'area del pianalto si trovano corsi d'acqua a carattere torrentizio con andamento generale Nord – Sud; questi incidono con diverse modalità le vallecole che caratterizzano l'area e sono alimentati lungo il loro decorso dalle acque derivanti dai versanti di queste strette incisioni, così come emerge dal quadro sottostante estrapolato dalla Tav. 08 (carta idrografica) della Componente geologica del PGT vigente (2014).

Dai sopralluoghi eseguiti nell'area, si è potuto verificare che l'area del PL Pratulungo sia oggi in assetto morfologicamente ribassato rispetto alle superfici edificate adiacenti; la maggior parte delle aree di pertinenza degli edifici circostanti – lato orientale – sono impostate su alcuni metri di rinterro che ha consentito di elevare la quota del terreno rispetto all'originaria altitudine. Questo aspetto spiega la costruzione delle scogliere (muri in massi ciclopici) poste a confine con il terreno di PL, imponendo per il futuro PL la conseguente necessità di "raccordarsi" a tali quote artificialmente create nel tempo – Figura 6.

Dal punto di vista delle acque superficiali, prima dell'edificazione di tutto il comparto in cui è inserito il futuro PL si poteva ravvisare la presenza di un asse di scolo per le acque meteoriche. Ad oggi tale funzionalità è venuta a decadere essenzialmente per la mancanza di qualsiasi alimentazione da monte e dalle adiacenti superfici ormai completamente urbanizzate.

Si può pertanto evidenziare che il terreno di PL riceve esclusivamente le acque meteoriche che ricadono sulla sua superficie che dovranno essere correttamente smaltite dalle opere di urbanizzazione a servizio del PL medesimo.

Figura 9 – estratto Tav. 08 – carta idrografica – PGT vigente (2014)



ELEMENTI DEL RETICOLO IDROGRAFICO

VAOT4_Torrens Fontanille di Tradate

3. Fosso della valle

Corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico principale con relativo nome/codice identificativo

Corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico minore con relativo nome/codice identificativo

Tratti intubati

canale di scolo, impluvio, tratto intubato di canale minore e derivazione irrigua capillare, escluso dal reticolo idrico minore

2.5 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

La situazione stratigrafico-idrogeologica della zona di studio ha avuto come punto di partenza la correlazione dei dati stratigrafici delle captazioni idropotabili disponibili e la ricostruzione del modello idrogeologico interpretativo.

Il sottosuolo in corrispondenza dell'area di studio è sede di acquiferi all'interno dei depositi fluvioglaciali e fluviali plio-pleistocenici, alimentati principalmente per infiltrazione delle acque meteoriche nelle unità maggiormente permeabili di monte.

L'interpretazione dei dati disponibili permette di definire la distribuzione orizzontale e verticale delle unità idrogeologiche principali e l'andamento della superficie piezometrica.

Unità delle Argille prevalenti

È caratterizzata da depositi a granulometria fine limoso – argillosa, localmente intercalati a materiale più grossolano sede di falde di tipo confinato.

Le falde di questa unità sono limitate arealmente ed hanno una scarsa potenzialità idrica tale da sconsigliarne lo sfruttamento senza miscele con quelle superiori; per questo motivo mancano dati piezometrici relativi a tale falda.

Unità ghiaioso-conglomeratica con intercalazioni argillose

È presente con continuità su tutto il territorio ed è costituita da depositi di origine fluvioglaciale a granulometria eterogenea con prevalenza di ghiaie localmente ad elevato grado di cementazione. All'interno di questa unità si differenziano due litozone, caratterizzate soprattutto dalla differente quantità di matrice limoso – argillosa e dalla tipologia dell'acquifero in esse contenute.

a) Litologicamente è rappresentata da depositi ghiaioso – sabbiosi, sciolti o con intercalazioni conglomeratiche da metriche a decametriche. Lo spessore medio di questa litozona è dell'ordine di 70 metri, ma varia in relazione alla morfologia superficiale. L'acquifero in essa contenuta è di tipo libero.

b) È costituita da depositi ghiaioso – sabbiosi in abbondante matrice argillosa con intercalazione di orizzonti a bassa permeabilità mediamente continui arealmente e con spessore metrico che garantiscono la protezione locale dell'acquifero contenuto. Lo spessore medio complessivo della litozona è di 50-60 metri. La falda contenuta in questa litozona è di tipo semiconfinato in terreni ghiaioso argillosi. Il limite inferiore dell'unità è posto alla profondità di circa 110-140 m dal piano campagna.

Piezometria

L'andamento della superficie piezometrica è stata rielaborata acquisendo le cartografie isopiezometriche nell'ambito di studi idrogeologici a scala provinciale (AATO della Provincia di Varese e Provincia di Como). L'andamento delle isopieze evidenzia un sistema di flusso prevalentemente N – S soggetto alla importante

azione drenante dei sistemi vallivi dell'Olona ad W e della Lura a E. Le quote piezometriche sono comprese tra 300 m e 230 m s.l.m. con direzioni del flusso idrico prevalentemente N – S e NE – SW. Il gradiente idraulico medio della falda varia dal 2% all'1% circa verso S, in accordo con la pendenza media delle superfici del pianalto di poco inferiori all'1,5%.

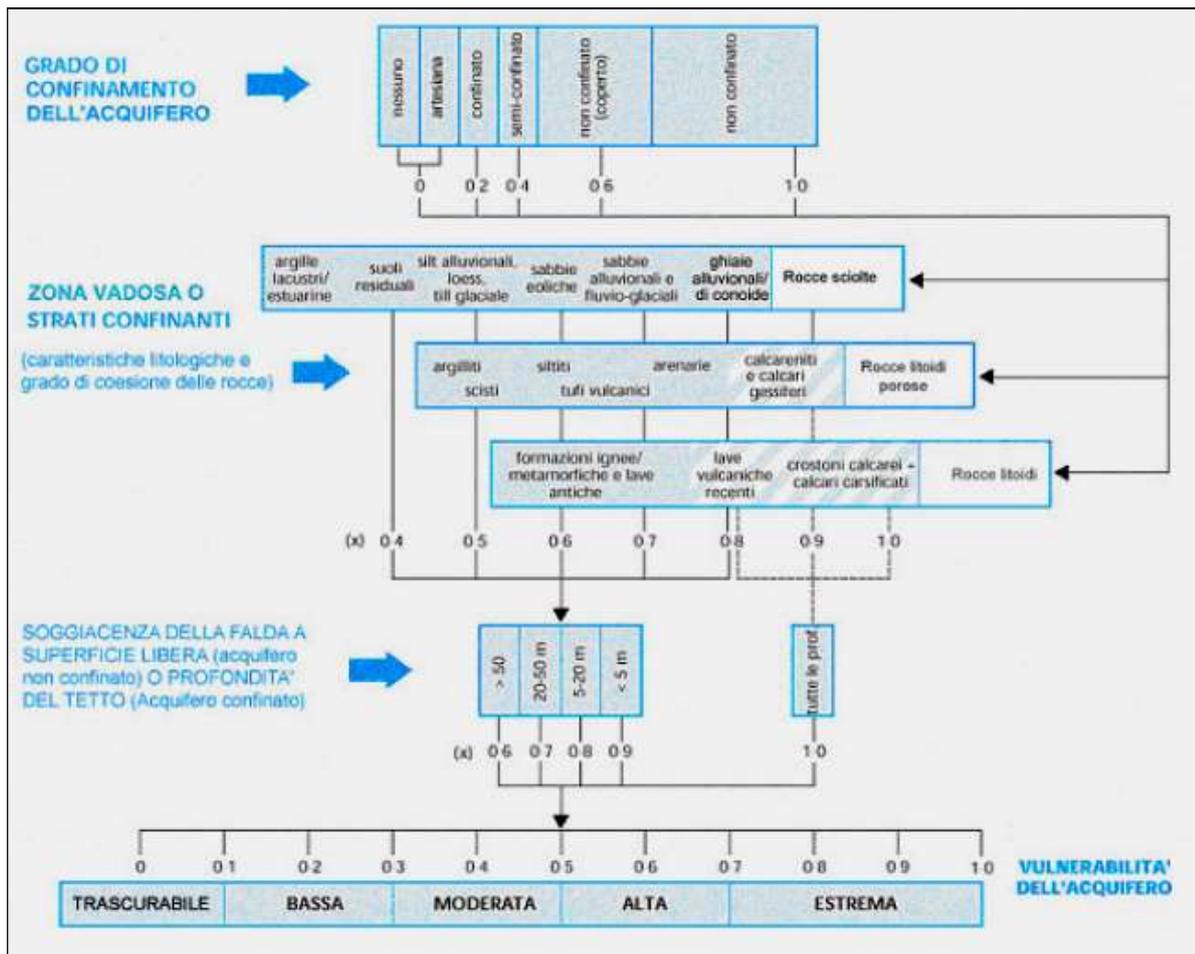
2.6 VULNERABILITÀ IDROGEOLOGICA

Per una valutazione numerica dell'indice di vulnerabilità della falda freatica si è ritenuto opportuno effettuare - seppure a titolo orientativo - una verifica impiegando la procedura **G.O.D.** di **Foster**.

Il calcolo si basa sulla identificazione dei seguenti fattori:

- Tipologia dell'acquifero: **Groundwater occurrence**.
- Litologia dell'acquifero: **Overall aquifer class**.
- Soggiacenza del tetto dell'acquifero: **Depth groundwater table**.

Il metodo assegna ad ognuno dei suddetti fattori specifici coefficienti che, moltiplicati tra loro, individuano una categoria rappresentativa dell'acquifero in funzione del suo grado di vulnerabilità; quest'ultimo prevede sei classi distinte, comprese tra un valore *nulla* ed uno *elevato*, come riportato nello schema sottostante.



Nel territorio comunale sono presenti aree a differenti caratteristiche di vulnerabilità; tra queste, il settore del Pianalto comprende l'area di progetto.

Vulnerabilità della porzione di Pianalto

In base alle caratteristiche litologiche si può considerare la porzione centrale del territorio comunale in una seconda fascia in cui, applicando il criterio di *Foster*, si possono assumere i seguenti valori:

Tipologie degli acquiferi profondi: *semilibero* = **0,6**

Litologie primo acquifero: sabbioso \sabbioso-ghiaioso = **0,7**

Soggiacenza del tetto degli acquiferi profondi: 20 / 50 metri = **0,7**

attraverso i quali si ottiene un indice dell'ordine di **0,29** corrispondente ad un grado di vulnerabilità **bassa**.

3. PERICOLOSITÀ SISMICA

3.1 INTRODUZIONE

Con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le costruzioni (D.M. 14.01.2008) la Regione Lombardia ha modificato la procedura per la valutazione della pericolosità sismica locale in fase di pianificazione, aggiornando i criteri per la redazione degli studi geologici per i PGT con DGR 28 maggio 2008 n. 8/7374, successivamente aggiornata ulteriormente con DGR 30 novembre 2011 n. IX/2616.

In particolare tali criteri prevedono tre livelli di approfondimento in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica individuati sul territorio.

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

PSL = Pericolosità Sismica Locale

Il 1° livello di approfondimento consiste nel riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base delle osservazioni di tipo geologico e/o bibliografico.

Dallo studio geologico del PGT vigente, l'area di progetto appartiene in gran parte allo scenario di pericolosità sismica Z4c - *Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)* potenzialmente soggetto ad amplificazione litologica, mentre nella porzione inferiore del lotto in concomitanza del settore a maggiore pendenza prossimo alla Via Leoncavallo si individua lo scenario Z3a - *Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)* potenzialmente soggetto ad amplificazione topografica (estratto Carta della Pericolosità sismica locale – PGT vigente - Figura 10).

Poiché le tipologie di affollamento delle unità costruttive del PL Pratolungo non rientrano nelle categorie di cui al d.d.u.o. n. 19904 del 21 novembre 2003 (interventi strategici ai fini della protezione civile, luoghi di particolare affollamento, altre tipologie di edifici pubblici, ecc.), in fase esecutiva non vi è l'obbligo

normativo di predisporre analisi sismiche di secondo livello, mentre si consiglia a scopo cautelativo una valutazione sismica di dettaglio a fronte delle future sistemazioni morfologiche dell'area.

Sarà inoltre prescritto ai sensi della vigente normativa la verifica/esclusione di fenomeni di liquefazione in occasione di eventi sismici secondo i criteri e la metodologia contenuta nell'Allegato 5 della DGR 28 maggio 2008 n. 8/7374, aggiornata con D.G.R. 30 novembre 2011 n. IX/2616.

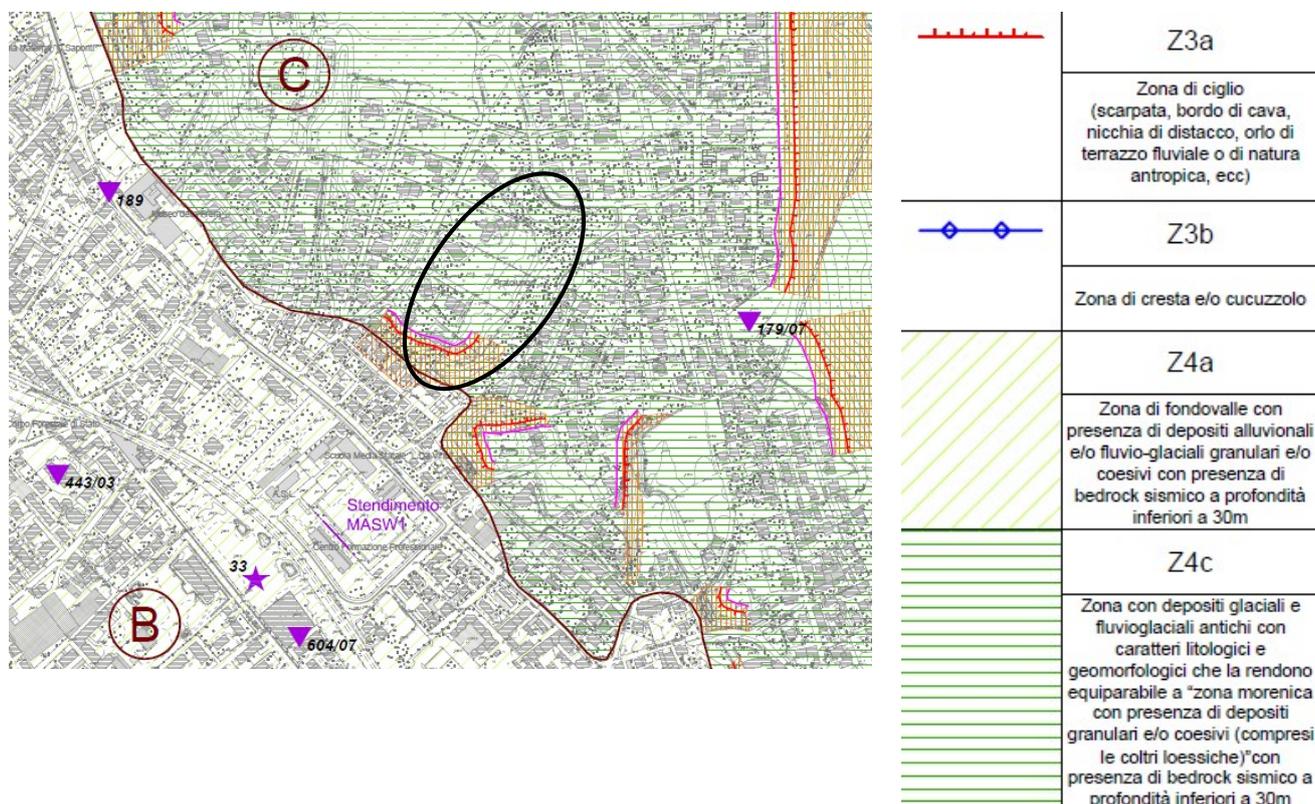


Figura 10 – estratto Tav. 10 – carta della PSL – PGT vigente (2014)

4. VINCOLI DI ATTINENZA GEOLOGICO-AMBIENTALE

Il sito di progetto non è sottoposto a **vincoli di natura geologica**, intendendo per questi ultimi i seguenti:

- Polizia Idraulica ai sensi della L.R. 1/2000;
- P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeologico);

Per quanto concerne il riferimento all'art.94 del d.lgs. 152/2006 (aree di salvaguardia dei pozzi ad uso idropotabili), si rimanda agli elaborati progettuali e di dettaglio per la definizione delle superfici e delle distanze.

Dall'estratto della Tav. 13 dei vincoli – componente geologica PGT, il settore meridionale del PL Pratlungo adiacente alla via Leoncavallo è compreso nell'area di rispetto del pozzo ad uso idropotabile (cod. 1/1).

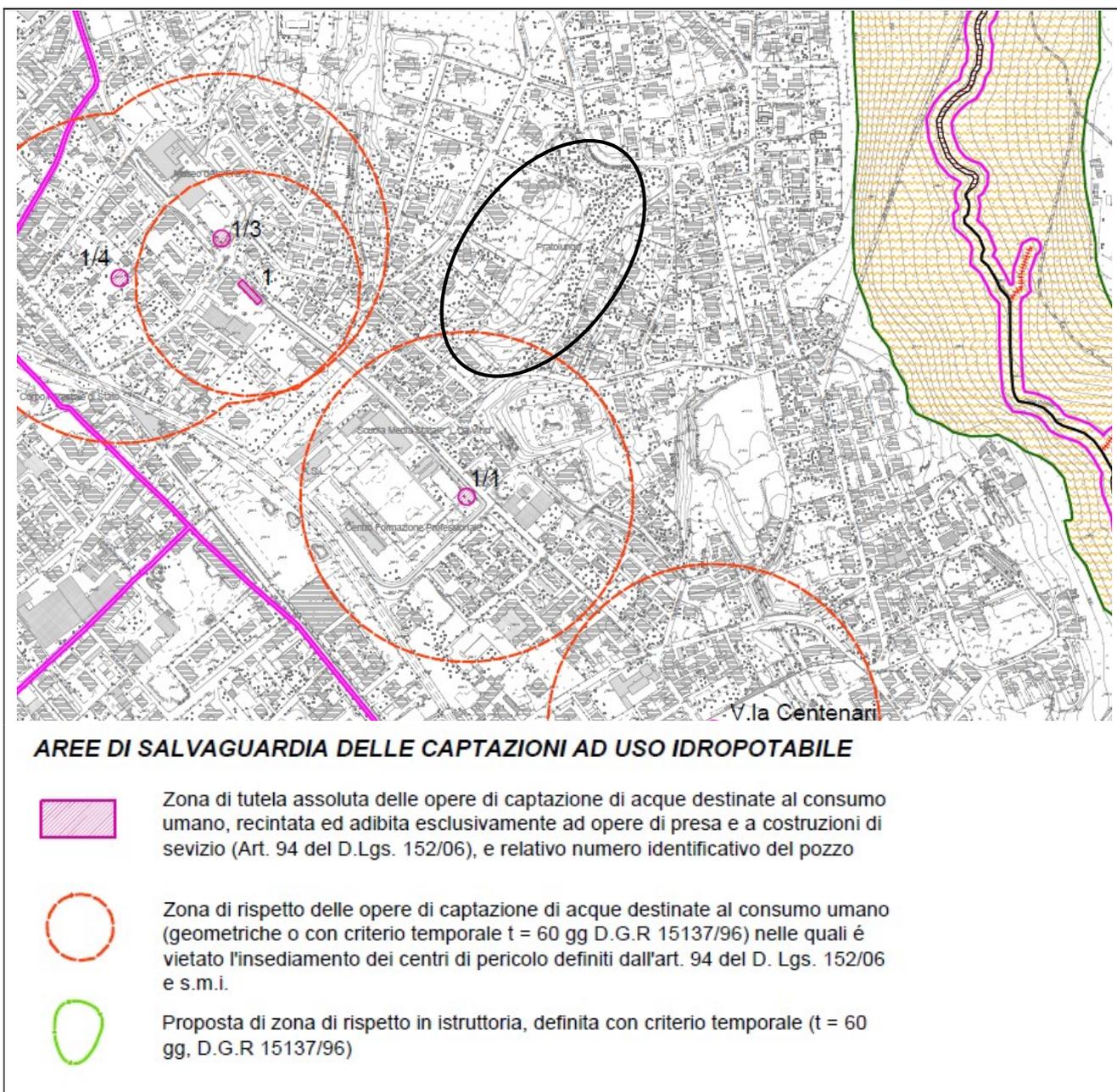


Figura 11 - Estratto TAV. 13 – carta dei vincoli - PGT vigente

Ai sensi del D.Lgs. 152/2006 – art. 94 – e dalla DGR 10.04.2003 n. 7/12693 “Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque sotterranee destinate al consumo umano”, nelle aree di rispetto dei pozzi idropotabili sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:

- a) dispersione di fanghi e acque reflue, anche se depurati;
- b) accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
- c) spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;
- d) dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche proveniente da piazzali e strade

- e) aree cimiteriali;
- f) apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;
- g) apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione dell'estrazione ed alla protezione delle caratteristiche qualitative quantitative della risorsa idrica;
- h) gestione di rifiuti;
- i) stoccaggio di prodotti ovvero, sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
- j) centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
- k) pozzi perdenti;
- l) pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. É comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta.

La Regione disciplina, all'interno delle aree di rispetto, le seguenti attività e strutture:

- ⇒ Fognature,
- ⇒ Edilizia residenziale e relative opere di urbanizzazione;
- ⇒ Opere viarie, ferroviarie ed in genere infrastrutture di servizio;
- ⇒ Pratiche agronomiche e piani di utilizzazione per concimi, fertilizzanti e pesticidi.

5. ANALISI DI STABILITÀ DEL PENDIO

5.1 CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DELL'AREA DI PROGETTO

L'area di progetto, situata nel settore Orientale del Comune di Tradate (VA), è contraddistinta da morfologia blandamente inclinata verso Sud-sud ovest e con altitudine compresa tra 305 e 318 m s.l.m. Il rilievo topografico celerimetrico evidenzia che la porzione del lotto adiacente la Via Leoncavallo ha una ripidità moderatamente accentuata traducibile con una pendenza media rappresentativa attorno all'8%, mentre la restante superficie edificabile si attesta mediamente attorno al 4-5%.

Dai sopralluoghi eseguiti nell'area, si è potuto verificare che l'area del PL Pratolungo sia oggi in assetto morfologicamente ribassato rispetto alle superfici edificate adiacenti; la maggior parte delle aree di pertinenza degli edifici circostanti – lato orientale – sono impostate su alcuni metri di rinterro che ha consentito di elevare la quota del terreno rispetto all'originaria altitudine. Questo aspetto spiega la costruzione delle scogliere (muri in massi ciclopici) poste a confine con il terreno di PL, imponendo per il futuro PL la conseguente necessità di "raccordarsi" a tali quote artificialmente create nel tempo – Figura 6.

Sulla base di quanto sopra riportato e delle conoscenze geologiche e geotecniche dell'area che, si ricorda, dovranno essere puntualmente definite in fase di progetto definitivo, nei paragrafi a seguire vengono illustrati i risultati dell'analisi di stabilità preliminare inerente:

- il **pendio naturale** nelle odierne condizioni, ovvero con una minima copertura vegetale;
- il **pendio rimodellato** a seguito di riporti di terreno stabilizzato (granulometricamente e meccanicamente) per ottemperare alle esigenze topografico-morfologiche sopra citate.

5.2 INTRODUZIONE ALL'ANALISI DI STABILITÀ

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

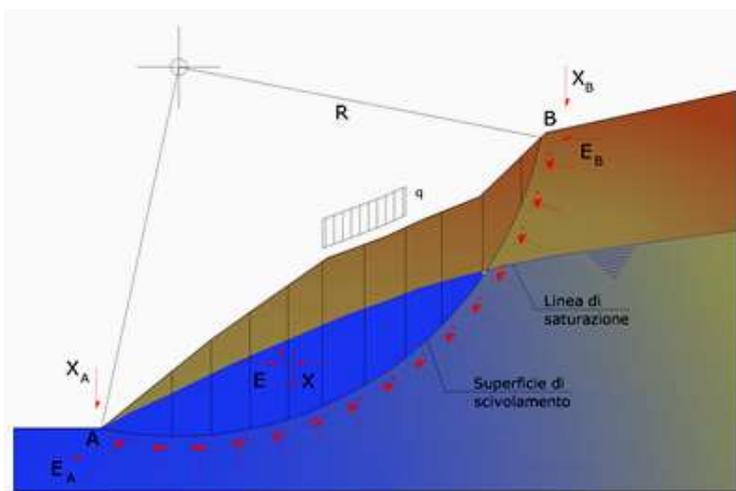
Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_j agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_j ;
- $(n-1)$ forze normali E_j agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_j agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_j ;
- $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_j ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$. Le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n ;
- equazioni relative al criterio di rottura n .

Totale numero di equazioni $4n$.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quanto si fa l'assunzione che N_j sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni.

Metodo di Fellenius (1927)

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

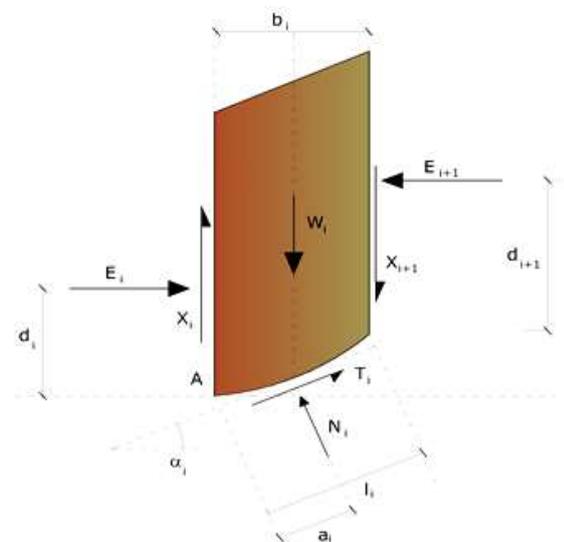
- n valori delle forze normali N_j ;
- n valori delle forze da taglio T_j ;
- 1 fattore di sicurezza.

Incognite $(2n+1)$.

Le equazioni a disposizione sono:

- n equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;
- n equazioni relative al criterio di rottura;
- equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \varphi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$



Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre ΔX = 0 ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

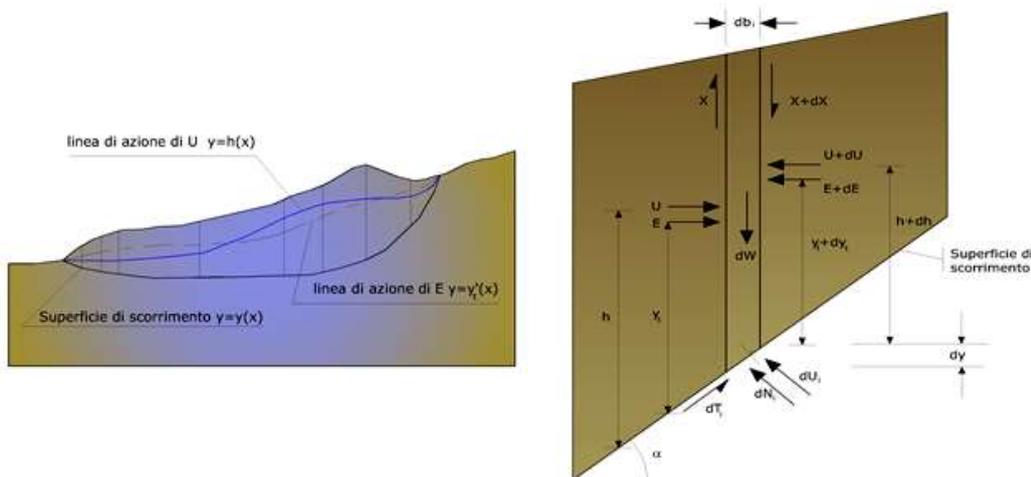
Metodo di Morgenstern e Price (1965)

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo $X = \lambda f(x)E$, dove λ è un fattore di scala e f(x), funzione della posizione di E e di X, definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione f(x) è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E, X, il coefficiente di sicurezza F_s , il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU.

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \operatorname{tg} \varphi' \left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) = \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$



Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria della base:

$$X = \frac{d(E\gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.

Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

Valutazione dell'azione sismica

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W peso concio;

K_x coefficiente sismico orizzontale;

K_y coefficiente sismico verticale.

5.3 RISULTATI DELL'ANALISI PRELIMINARE DI STABILITÀ SULLA SEZIONE LONGITUDINALE A – A'

Premessa

L'analisi, impostata secondo i principali metodi di calcolo desunti dalla letteratura in materia, viene applicata alla Sezione longitudinale del pendio desunta dal rilievo topografico dell'area (sezione di calcolo A-A').

Tale sezione, che per posizione e condizioni generali appare significativa e rappresentativa delle condizioni di maggior criticità dell'area studiata, nelle pagg. a seguire sarà oggetto di analisi sia nelle condizioni pre-edificazione (**pendio naturale**), sia nelle condizioni post-edificazione (**pendio rimodellato**), secondo le ipotesi progettuali di riporto di terreno stabilizzato granulometricamente e meccanicamente e coerentemente con i carichi trasmessi dai futuri edifici residenziali.



Figura 12 – ubicazione della sezione di calcolo A-A' – estratto aerofoto comunale





Figura 13 – traccia della sezione A-A' (area di progetto vista dalla Via C.na Montechiaro)

Analisi preliminare di stabilità – pendio naturale (Stato di fatto – SDF)

Metodo di FELLENIUS - 1936

Zona	Via Leoncavallo, Tradate
Lat./Long.	45,70982/8,915845
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-10,71 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	335,03 m
Ascissa vertice destro superiore xs	3,59 m
Ordinata vertice destro superiore ys	347,4 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	304,4
2	3,27	305,2
3	8,48	306,9

4	12,15	307,2
5	17,26	308,1
6	22,9	309,8
7	32,8	310,8
8	41,57	312,0
9	46,6	313,0
10	51,76	314,4
11	58,25	316,3
12	62,33	318,2

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	302,9
2	12,15	304,7
3	32,8	309,3
4	46,6	311,5
5	58,2	314,8
6	62,33	316,7

Vertici strato 2

N	X (m)	y (m)
1	0,0	299,9
2	12,15	301,5
3	32,8	304,5
4	46,6	307,0
5	58,25	310,7
6	62,33	311,5

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0	1	15	1650	1800	Terreno vegetale	
2	0	0	24	1800	2000	Limo o limo con sabbia	
3	0	0	28	1850	2050	Sabbia limosa med. addensata	

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	0,81
Ascissa centro superficie	-3,56 m
Ordinata centro superficie	336,27 m
Raggio superficie	31,76 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = -3,562 yc = 336,27 Rc = 31,761 Fs=0,812

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,47	13,9	0,49	15,44	0,07	0,04	0,0	15,0	0,0	15,0	3,8
2	0,47	14,7	0,49	41,8	0,19	0,1	0,0	15,0	0,0	40,5	10,8
3	0,47	15,6	0,49	62,07	0,29	0,14	0,0	15,0	0,0	59,8	17,0
4	0,47	16,5	0,49	76,2	0,35	0,18	0,0	15,0	0,0	73,1	22,0
5	0,47	17,4	0,5	84,06	0,39	0,19	0,0	15,0	0,0	80,3	25,5
6	0,47	18,3	0,5	85,63	0,39	0,2	0,0	15,0	0,0	81,4	27,3
7	0,47	19,2	0,5	80,75	0,37	0,19	0,0	15,0	0,0	76,3	26,9
8	0,47	20,1	0,5	69,34	0,32	0,16	0,0	15,0	0,0	65,2	24,1
9	0,47	21,0	0,51	51,31	0,24	0,12	0,0	15,0	0,0	47,9	18,6
10	0,47	21,9	0,51	26,46	0,12	0,06	0,0	15,0	0,0	24,6	10,0

PROFILO LONGITUDINALE
Stato di fatto

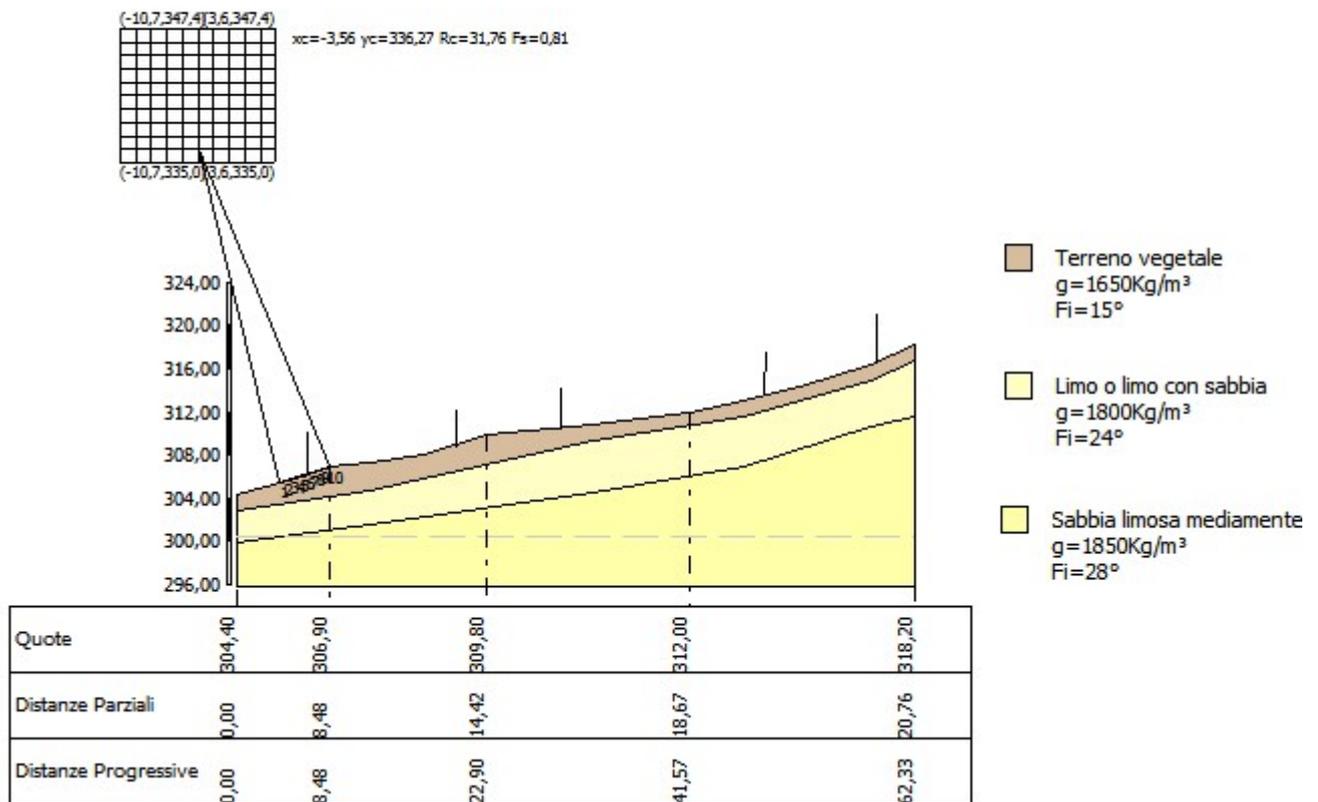


Figura 14 – Metodo di Fellenius – superficie con F_s minimo (0,81) – profilo SDF

Analisi preliminare di stabilità – pendio rimodellato (Stato di progetto – SDP)

Metodo di FELLENIUS - 1936

=====	
Zona	Via Leoncavallo, Tradate
Lat./Long.	45,70982/8,915845
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	
=====	

Maglia dei Centri

=====	
Ascissa vertice sinistro inferiore xi	4,55 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	339,99 m
Ascissa vertice destro superiore xs	21,39 m
Ordinata vertice destro superiore ys	352,98 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0
=====	

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	305,11
2	1,5	306,2
3	2,8	306,2
4	3,5	308,21
5	6,25	308,21
6	6,25	309,01
7	12,6	309,01
8	12,6	309,93
9	20,07	309,93
10	20,07	312,05
11	28,12	312,05
12	28,12	313,5
13	37,22	313,5
14	37,22	314,36
15	46,42	314,36
16	46,42	315,16
17	54,3	316,0
18	54,3	317,68
19	62,33	318,2

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	-4,0	304,6
2	0,0	304,7
3	0,01	304,7
4	3,27	305,2
5	8,48	306,3
6	12,15	307,2
7	17,26	308,1
8	22,9	309,8
9	32,8	310,8
10	41,57	312,0
11	46,6	313,0
12	51,76	314,4
13	58,25	316,3
14	62,33	318,2
15	62,33	318,2

Vertici strato 2

N	X (m)	y (m)
1	-4,0	302,9
2	12,15	304,7
3	32,8	309,3
4	46,6	311,4
5	58,25	314,8
6	62,33	316,7

Vertici strato 3

N	X (m)	y (m)
1	-4,0	299,9
2	12,15	301,5
3	32,8	304,5
4	46,6	307,0
5	58,2	310,7
6	62,33	311,5

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0	0	28	1800	2000	terreno di riporto stabilizzato	
2	0	1	15	1650	1800	Terreno vegetale	
3	0	0	24	1800	2000	Limo o limo con sabbia	
4	0	0	28	1800	2000	Sabbia o sabbia limosa sciolta	

Carichi distribuiti

N°	xi(m)	yi(m)	xf(m)	yf(m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	4	307,5	7	307,5	1
2	8,5	308	11,5	308	1
3	15,6	309	18,6	309	1

4	23,5	311,5	26,5	311,5	1
5	32,4	312,5	35,4	312,5	1
6	42,2	313,7	45,2	313,7	1
7	49,6	314,7	52,6	315,0198	1
8	56,9	317	59,9	317,1943	1

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,62
Ascissa centro superficie	13,81 m
Ordinata centro superficie	340,64 m
Raggio superficie	30,6 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 13,813 yc = 340,641 Rc = 30,598 Fs=1,621

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,46	12,3	0,471088,65	5,44	2,18	0,0	28,0	0,0	1064,7	237,0	
2	0,46	13,2	0,471001,74	5,01	2,0	0,0	28,0	0,0	976,2	233,0	
3	0,46	14,1	0,48 908,52	4,54	1,82	0,0	28,0	0,0	882,0	225,1	
4	0,46	15,0	0,48 808,93	4,04	1,62	0,0	28,0	0,0	782,1	212,7	
5	0,46	15,8	0,48 702,88	3,51	1,41	0,0	28,0	0,0	676,6	195,3	
6	0,46	16,7	0,48 590,31	2,95	1,18	0,0	28,0	0,0	565,5	172,9	
7	0,46	17,7	0,49 471,08	2,36	0,94	0,0	28,0	0,0	449,1	145,2	
8	0,46	18,6	0,493225,33	16,13	6,45	0,0	28,0	0,0	3058,6	1041,8	
9	0,46	19,5	0,49 4837,4	24,19	9,67	0,0	28,0	0,0	4561,2	1637,1	
10	0,46	20,4	0,493697,69	18,49	7,4	0,0	28,0	0,0	3465,9	1307,2	

PROFILO LONGITUDINALE
Stato di progetto

Elemento di rinforzo con scogliera in massi ciclopici

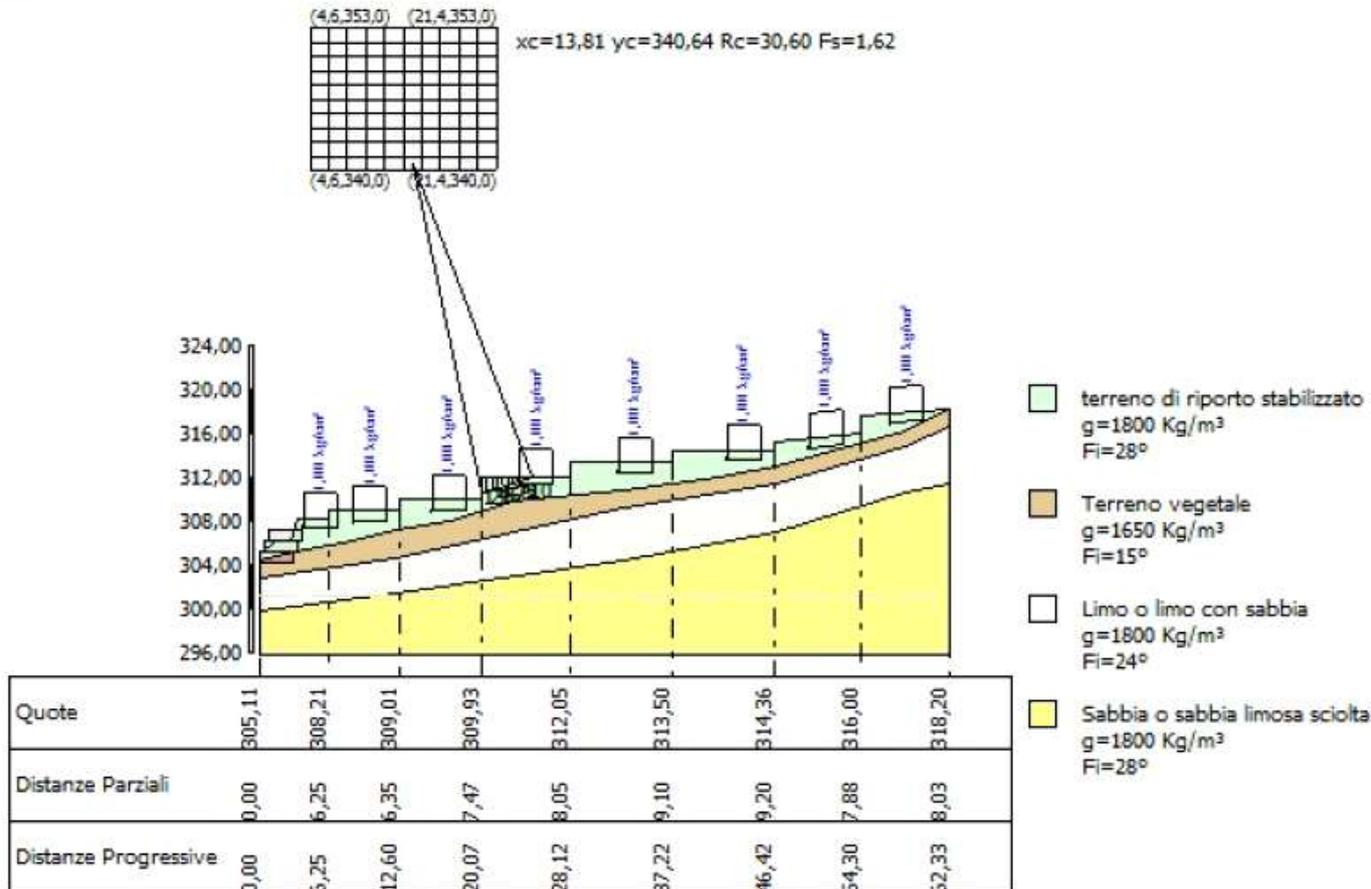


Figura 15 – Metodo di Fellenius – superficie con F_s minimo (1,62) – profilo SDP risagomato con opera basale di contrasto

Esiti dell'Analisi preliminare di stabilità – pendio naturale SDF e p. rimodellato SDP

Le analisi di stabilità elaborate con il metodo di Fellenius sono state impostate sul profilo attuale del pendio e sul profilo opportunamente risagomato secondo le ipotesi progettuali. Si fa notare che nelle rappresentazioni grafiche sono riportate delle semplificazioni necessarie per l'impostazione del programma di calcolo (come per es. in fig. 15 la posizione e l'ingombro dei carichi-futuri edifici- e l'andamento schematico della superficie di riporto stabilizzato).

Considerando il quadro normativo e in relazione alla conoscenza della natura e della geometria dei depositi, nonché del quadro complessivo delle indagini e dei rilievi eseguiti si adotta a garanzia delle condizioni di sicurezza un coefficiente di sicurezza minimo di 1.3.

I risultati in ciascuno dei casi analizzati sono così riassumibili:

pendio naturale

- la superficie con F_s minimo (0,81) – Figura 14 - interessa la coltre di terreno vegetale alla quota indicativa di 306 m s.l.m., in una limitata porzione dove questa appare particolarmente ripida: si

propone, nella successiva fase di verifica (pendio rimodellato) il livellamento di tale asperità al fine di ottenere una superficie topograficamente compatibile;

pendio risagomato

- la riprofilatura del pendio nei limiti necessari per la realizzazione degli interventi costruttivi e della sede viaria avviene attraverso blandi terrazzamenti che avranno, tra l'altro, la funzione di abbassare le pendenze più pronunciate del pendio stesso;
- dall'analisi di stabilità del pendio rimodellato, in presenza dei carichi distribuiti (futuri edifici) e dell'elemento strutturale ipotizzato alla base del pendio (tipologia: scogliera in massi ciclopici) e fondato su terreno stabile, non si rilevano condizioni di potenziale instabilità in quanto i valori di F_s minimi sono pari a 1,62 ($>1,3$) – Figura 15.
- Si evidenzia che, viste le caratteristiche tecniche dei terreni precedentemente illustrate, nella sistemazione dei rinterri dovranno essere adottate pendenze piuttosto blande ed i raccordi tra le differenti quote dei lotti potranno essere favorevolmente realizzati con muretti in pietrame al fine di assecondare le pendenze naturali.

6. RIEPILOGO DEI RISULTATI DELL'INDAGINE E DELLE VERIFICHE PRELIMINARI

L'area interessata dall'analisi riguarda la proprietà dei Sig.ri Speroni, Ponti, Pellegatta compresa tra la Via Leoncavallo e la Via C.na Montechiaro – Comune di Tradate (VA), denominata PL Pratolungo.

Nel sito è prevista la costruzione di nuovi edifici residenziali previa riprofilatura e risagomatura del terreno essenzialmente finalizzata alla realizzazione di superfici morfologicamente compatibili con gli edifici in progetto e di idonea superficie livellata per la costruzione della strada di accesso ai lotti e relative urbanizzazioni.

La presente Relazione accompagna la proposta di PL ricadente nelle seguenti *Classi di fattibilità*:

- *3a (area di pianalto)* per quanto concerne la porzione sommitale e mediana
- *3b (area di versante con pendenze blande)* relativamente alla porzione basale.

Nella Classe di fattibilità 3 classe ricadono le aree nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

Dalle analisi condotte, si possono riepilogare i seguenti aspetti essenziali:

- L'area di progetto è situata nel settore Orientale del Comune di Tradate (VA). Dal punto di vista geologico è caratterizzata da depositi Quaternari pre-wurmiani ferrettizzati. Si tratta di materiali molto potenti di carattere alluvionale composti da elementi di provenienza alpina (rocce cristalline massicce e scistose) e prealpina (porfidi, anageniti, calcari e dolomie) dovuti a conoidi di antichi torrenti alpini. La porzione superficiale è diventata una crosta alluvionale rossastra completamente decalcificata (ferretto) con ciottoli cristallini originari privi di qualsiasi consistenza ancora riconoscibili.
- Il settore in esame è contraddistinto da morfologia blandamente inclinata verso Sud-sud ovest e con altitudine compresa tra 305 e 318 m s.l.m. Come è possibile osservare dal rilievo topografico celerimetrico allegato al Progetto, la porzione del lotto adiacente la Via Leoncavallo mostra una ripidità moderatamente accentuata traducibile con una pendenza media rappresentativa attorno

all'8% e pericolosità da frana molto bassa o nulla, mentre la restante superficie edificabile si attesta mediamente attorno al 4-5%. Nella proprietà non sono state rilevate situazioni di dissesto potenziale grazie anche all'azione stabilizzante che svolgeva la vegetazione. Tale condizione viene confermata anche a seguito del taglio degli alberi effettuato già da tempo nell'area.

- Alla luce delle informazioni di dettaglio disponibili sull'area di studio, si è potuto ricavare il modello geologico preliminare che, per le condizioni di maggiore criticità, coincide con la sezione longitudinale A-A' (Figura 5 – ubicazione della sezione di calcolo). I risultati dell'analisi di stabilità (Fellenius) vengono riepilogati attraverso i grafici di sintesi, riportati rispettivamente nelle Figure 14 e 15 che evidenziano i valori di F_s minimo, le coordinate del centro della superficie di instabilità ed il raggio della superficie.

Le analisi di stabilità elaborate con il metodo di Fellenius sono state impostate sul profilo attuale del pendio e sul profilo opportunamente risagomato secondo le ipotesi progettuali.

Considerando il quadro normativo e in relazione alla conoscenza della natura e della geometria dei depositi, nonché del quadro complessivo delle indagini e dei rilievi eseguiti, si adotta a garanzia delle condizioni di sicurezza un coefficiente di sicurezza minimo di 1.3.

I risultati in ciascuno dei casi analizzati sono così riassumibili:

pendio naturale

- la superficie con F_s minimo (0,81) – Figura 14 - interessa la coltre di terreno vegetale alla quota indicativa di 306 m s.l.m., in una limitata porzione dove questa appare particolarmente ripida: si propone, nella successiva fase di verifica (pendio rimodellato) il livellamento di tale asperità al fine di ottenere un assetto topograficamente compatibile;

pendio risagomato

- la risagomatura del pendio nei limiti necessari per la realizzazione degli interventi costruttivi e della sede viaria di accesso ai lotti avviene attraverso terrazzamenti che avranno, tra l'altro, la funzione di abbassare le pendenze più pronunciate del pendio stesso;
- dall'analisi di stabilità del pendio rimodellato, in presenza dei carichi distribuiti (futuri edifici) e dell'elemento strutturale ipotizzato alla base del pendio (tipologia: scogliera in massi ciclopici) e fondato su terreno stabile, non si rilevano condizioni di potenziale instabilità in quanto i valori di F_s minimi sono pari a 1,62 ($>1,3$) – Figura 15.
- Si evidenzia che, viste le caratteristiche tecniche dei terreni precedentemente illustrate, nella sistemazione dei rinterri dovranno essere adottate pendenze piuttosto blande ed i raccordi tra le differenti quote dei lotti potranno essere favorevolmente realizzati con muretti in pietrame al fine di assecondare le pendenze naturali.

7. CONCLUSIONI E MISURE DA ADOTTARE

Il complesso delle analisi eseguite per la proposta edificatoria del PL Pratolungo in Comune di Tradate (VA) asseverano che **gli interventi in progetto sono compatibili con le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche del territorio** fatto salvo quanto di seguito riportato.

In sintesi, dall'analisi degli elaborati progettuali preliminari e con riferimento ai risultati del precedente paragrafo, si riepilogano le seguenti misure da considerare nella successiva fase progettuale definitiva:

Preparazione dei rinterri, del piano di posa degli edifici e delle infrastrutture

- Conseguentemente al diserbamento e scoticamento del terreno naturale, il materiale scavato, se ritenuto idoneo, verrà riutilizzato per opere di riambientalizzazione e/o come terreno vegetale per la finitura delle gradonate;
- Per la realizzazione dei rinterri, ovvero le sistemazioni superficiali eseguite con o senza apporto di materiale, si farà riferimento alla classifica CNR-UNI 10006 (A1, A2, A3 se proveniente da cave di prestito; A1, A2, A3, A4 se proveniente dagli scavi). Il materiale dovrà essere messo in opera a strati di spessore non superiore a 50 cm ed idoneamente costipato mediante rullatura;
- Le opere murarie adiacenti alla nuova strada di PL dovranno essere fondate su terreno stabile, oltrepassando l'intervallo costituito dal terreno vegetale in posto e verificando, mediante indagini di dettaglio, l'idoneità geotecnica del sottostante strato litologico;
- Dall'analisi compiuta, la stabilità generale dell'opera e dei rinterri previsti è garantita affidandosi alla realizzazione di adeguata **opera di contrasto al piede** che genera la relativa contropinta occorrente per rientrare nei limiti di sicurezza (Figura 15);
- Come si accennava nei precedenti paragrafi, viste le caratteristiche tecniche dei terreni, nella sistemazione finale delle superfici pertinenziali si dovranno adottare angoli di inclinazione piuttosto blandi, comunque inferiori alla pendenza critica del terreno (circa 25°). Al fine di assecondare le pendenze naturali del terreno, i raccordi tra le differenti quote dei lotti potranno essere favorevolmente realizzati con muretti in pietrame, favorendo anche il corretto inserimento morfologico delle superfici rispetto i lotti adiacenti.

Prescrizioni a favore della stabilità e del corretto inserimento ambientale-paesaggistico delle opere

Poiché la porzione più superficiale ed alterata del deposito è caratterizzata da **condizioni di permeabilità piuttosto basse**, l'elevata capacità di assorbimento dell'acqua (meteorica, di circolazione sotterranea o di falda sospesa) può determinare una **forte tendenza al rigonfiamento**.

- A scopo cautelativo, si consiglia di disperdere le acque meteoriche a profondità tali da non interferire con gli intervalli litologici sensibili al rigonfiamento, la cui ubicazione verrà determinata da specifica indagine geotecnica secondo quanto previsto dal D.M. 14/01/2008;
- Compatibilmente con gli spazi disponibili e con le esigenze di risparmio idrico, parte delle acque bianche potranno essere trattenute in vasche sotterranee a tenuta per soddisfare alle eventuali esigenze irrigue;
- Le aree di pertinenza dei singoli lotti potranno essere idoneamente inerbite vista la funzione stabilizzante del terreno attraverso gli apparati radicali, di protezione dall'erosione e di ricostruzione delle condizioni di fertilità.

Infine, nei casi specifici di progettazione, per una corretta determinazione della portanza occorrerà predisporre accurati programmi di indagine con ulteriori e più mirati interventi, in conformità a quanto previsto dal **D.M. 14/01/2008**.

Fatto salvo quanto sopra, si conclude che **dalla presente Relazione Geologica a corredo della proposta di PL Pratolungo tra le Vie Leoncavallo e C.na Montechiaro in Comune di Tradate (VA) non emergono elementi ostativi alla realizzazione dell'intervento.**

Il Tecnico incaricato
Dott. Geologo LINDA CORTELEZZI



Tradate, ottobre 2016