

REGIONE DEL VENETO



VI.ABILITA' S.p.A.



PROVINCIA DI VICENZA



## S.P. 136 della Vena dal Km 0+300 al Km 3+800

### Comune di Tonezza del Cimone Provincia di Vicenza

## ISTANZA PER IL RILASCIO DEL PARERE VINCOLANTE ALL'ESECUZIONE DEL SERVIZIO DI BONIFICA BELLICA

oggetto	Relazione Geologica, idrogeologica e Geomeccanica – S.P. 136 della Vena	
Il Direttore dell'Area Tecnica Dott. Ing. Sandro Morandotti	Amministratore Unico di Vi.abilità S.p.A. Dott.ssa Cinzia Giaretta	Il Dirigente del Settore Tecnico Operativo Dott. Ing. Fabio Zeni
progettazione  Dott. Ing. Stefano Mottin    collaborazione  Dott. Ing. Marco Salvatore Dott. Pierluigi Chenet geom. Marco Nicolini geom. Massimiliano Sorzato geom. Marco Vincenzi geom. Lucio Pinaffo geom. Paola Franco  direzione lavori	responsabile dei lavori (D.Lgs. 81/08)  Dott. Ing. Fabio Zeni    coordinatore per la progettazione (D.Lgs. 81/08)  Dott. Ing. Stefano Mottin    coordinatore per l'esecuzione dei lavori (D.Lgs. 81/08)  geom. Faustino De Boni	elaborato  <b>TAV. 8</b> Data  Agosto 2016 aggiornamento/i data e numero   scala/e   commessa/e  02/2014 codice elaborato  STO022014BB8
eseguito	controllato	
Vi. abilità S.p.A. Via L.L. Zamenhof, 829 36100 – Vicenza - Italy	Tel. +39 0444 385711 Fax +39 0444 385799 E – mail <a href="mailto:info@vi-abilita.it">info@vi-abilita.it</a> Web site <a href="http://www.vi-abilita.it">www.vi-abilita.it</a>	Capitale sociale: 5.050.000,00 euro Partita IVA: 02928200241 Registro Imprese di Vicenza: 02928200241 R:E:A: di Vicenza: n. 285329
<small>QUESTO DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO IN TUTTO O IN PARTE SENZA IL CONSENSO SCRITTO DI VI.ABILITA' S.p.A. (Legge 22.04.1941, n. 633 – art. 2575 E SEGG. C.C.)</small>		

Dott. Paolo Cornale  
Geotecnica e Ingegneria strutturale

**RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA e  
GEOMECCANICA PER IL PROGETTO DI MESSA IN  
SICUREZZA DELLA STRADA PROVINCIALE SP 136 “della  
VENA” E REALIZZAZIONE DI PARCHEGGI IN LOCALITA’  
COSTON NEI COMUNI DI TONEZZA E CIMON DI  
LASTEBASSE (VI)**

Ns. rif. 14C19

*Committente*  
**Vi-Abilità SpA**

*AREA PARZIALE:*  
STRADA PROVINCIALE SP 136 “della VENA”  
TRA LE SEZIONI 3 e 480  
Comune di Tonezza (VI)

Dr. Geol. Paolo Cornale



Vicenza, 10 dicembre 2014

**INDICE**

<b>PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>1.1 INQUADRAMENTO GENERALE</b>	<b>5</b>
1.1.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
<b>1.2 INDAGINI IN SITO E DI LABORATORIO</b>	<b>8</b>
1.2.1 SCAVI GEOGNOSTICI	9
METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE	9
1.2.2 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE	19
METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE	19
DISCUSSIONE DEI RISULTATI	20
1.2.3 INDAGINI GEORADAR	33
FINALITÀ E METODOLOGIA DI PROVA	33
PRINCIPI DEL METODO GEORADAR	33
STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	34
SCHEMA OPERATIVO	35
MODALITÀ OPERATIVE	37
CONSIDERAZIONI GENERALI - INTERPRETAZIONE SEZIONI GEORADAR	37
RISULTATI DELL'INDAGINE GEORADAR	38
1.2.4 STAZIONI DI RILIEVO GEOMECCANICO	39
FINALITÀ E METODOLOGIA DI PROVA	39
1.3 CALCOLO DEI VOLUMI DEI DEPOSITI DI TIPOLOGIE DIVERSE	42
1.3.2 TIPOLOGIA DI DEPOSITO T1:	45
AMMASSO ROCCIOSO POCO ALTERATO O COMPATTO	45
1.3.2.1 PRELIEVO E POSSIBILITÀ DI UTILIZZO	45
1.3.2.2 ANALISI GRANULOMETRICA E PROPRIETÀ FISICO MECCANICHE	46
1.3.2.3 ANALISI PONDERALI E PETROGRAFICHE	47
1.3.2.4 DIFFRATTOMETRIA DI INERTI	49
1.4.1 TIPOLOGIA DI DEPOSITO T2:	50
AMMASSO ROCCIOSO CON ALTERAZIONI SUPERFICIALI O FRATTURAZIONI CONGENITE	50
1.4.1.1 PRELIEVO E POSSIBILITÀ DI UTILIZZO	50
1.4.1.2 ANALISI GRANULOMETRICA E PROPRIETÀ FISICO MECCANICHE	51
1.4.1.3 ANALISI PONDERALI E PETROGRAFICHE	52
1.5.1 TIPOLOGIA DI DEPOSITO T3:	54
DEPOSITO COSTITUITO DA ELEMENTI ROCCIOSI E TERRENO SCIOLTO	54
1.5.1.1 PRELIEVO E POSSIBILITÀ DI UTILIZZO	54

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

1.5.1.2 CLASSIFICAZIONE DI UNA TERRA	55
1.5.1.3 PROVE DI COSTIPAMENTO PROCTOR	57
1.5.1.4 INDICE DI PORTANZA CBR	58
1.6.1 PRELIEVO DI UN CAMPIONE INDISTURBATO	59
1.6.1.1 CLASSIFICAZIONE DI UNA TERRA	60
1.6.1.3 PROVA DI COMPRESSIONE ESPANSIONE LATERALE LIBERA	62
1.6.1.4 PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA	64
<b>1.7 MODELLAZIONE GEOLOGICA</b>	<b>65</b>
1.7.1 ANALISI GEOLOGICO-STRATIGRAFICA E GEOMORFOLOGICA	65
1.7.2 ANALISI IDROGEOLOGICA	65
1.7.3 ANALISI MIRATE AI SITI IN DISSESTO	67
1.7.3.1 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE	67
1.7.3.2 PROSPEZIONE DI TOMOGRAFIA ELETTRICA	69
1.3.4 MODELLO GEOLOGICO DI SINTESI PER LA PROGETTAZIONE	72
<b>1.8 VERIFICHE DI STABILITÀ</b>	<b>74</b>
<b>CONCLUSIONI</b>	<b>78</b>

---

**PREMESSA**

Su incarico della stazione appaltante Vi-Abilità Spa, è stato eseguito uno studio geologico sul tratto di strada provinciale SP 136 “della Vena” tra le sezioni 3 e 480 nel Comune di Tonezza del Cimone (BL), a supporto del progetto di messa in sicurezza della strada stessa. L’obiettivo del presente studio è stato quello di rilevare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geomorfologiche e di stabilità dell’area e di fornire indicazioni riguardanti le suddivisioni volumetriche delle tipologie di depositi riscontrati nell’area.

Le normative di riferimento sono le seguenti:

- D.M. 14/01/08 “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- O.P.C.M. n. 3274/03 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” con allegati e successive modifiche.
- O.P.C.M. n. 3519/06 “Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime.”

A tal fine sono state eseguite le seguenti indagini:

- Ricerca cartografica e bibliografica;
- Rilevamento geologico, geomorfologico e geomeccanico dell'area;
- Prove geofisiche su versante a monte della strada esistente per uno stendimento totale di 1200m;
- n. 24 prove penetrometriche dinamiche medie (DPM) nell’area di pertinenza;
- n. 16 scavi geognostici con mezzo meccanico nell’area di pertinenza;
- n. 20 prelievi di campioni rimaneggiati derivanti sia da depositi superficiali di versante sia da materiale di risulta degli scavi geognostici assemblati in depositi rappresentativi delle tipologie presenti;
- n. 3 tipologie di prove di laboratorio rappresentativi dei materiali presenti;
- n. 1 prelievo di campioni indisturbati tramite fustella shelby infissa con mezzo meccanico usato per gli scavi geognostici;
- n. 1 classificazioni di terreni indisturbati;
- n. 1 prova edometrica su terreno indisturbato;
- n. 1 prove di compressione semplice ad espansione laterale libera su terreni coesivi indisturbati;
- Verifiche di stabilità di alcune sezioni lungo il tracciato;

I risultati sono compendati nelle pagine seguenti.

## 1. RELAZIONE GEOLOGICA

### 1.1 INQUADRAMENTO GENERALE

#### 1.1.1 Inquadramento geografico

L'area oggetto delle indagini è situata nel Comune di Tonezza del Cimone tra le quote 1210 m e 1540 S.L.d.M.. Parte dell'area rientra nei margini occidentali del Foglio 082 Asiago eseguito recentemente per il Progetto CARG i cui risultati sono riassunti nel Foglio 1:50000 e nelle relative note illustrative a cui si rimanda per un approfondimento della parte geologico stratigrafica.

I rilievi a nord dell'area interessata sono costituiti da rocce calcareo-dolomitiche depositatesi durante il Mesozoico, che nel vicentino costituisce un periodo di prevalente invasione del mare (trasgressione marina). Questo fenomeno dà origine ad una potente sedimentazione, la quale raggiunge centinaia di metri di spessore. Nel Mesozoico inoltre la regione veneta fu caratterizzata da fenomeni tettonici a fratture, provocando una suddivisione in Horst (zone alte) e Graben (zone basse). Le zone alte costituiscono le piattaforme degli altopiani, mentre le zone basse ne sono i bacini limitatori. La provincia di Vicenza appartiene alla cosiddetta Piattaforma Trentina (compresa tra il Bacino Lombardo a Ovest e il Bacino Bellunese ad Est). Le formazioni rocciose presenti in zona sono rappresentate dalla "Dolomia principale", Triassico sup., costituita da dolomia bianca, grigia o rosata, talora saccaroide, stratificata o massiccia, alternata a dolomie con stratificazione millimetrica, dai "Calcari Grigi di Noriglio", Giurassico inf, costituiti da calcari grigi con livelli marnosi ed argillosi, talora ricchi di resti vegetali, calcari oolitici e calcari compatti bianco avorio o leggermente rosei. Infine si trova la Formazione del "Biancone", Cretacico inf., costituiti da calcari grigio-biancastri, a chiazze scure, con intercalazioni argillose.

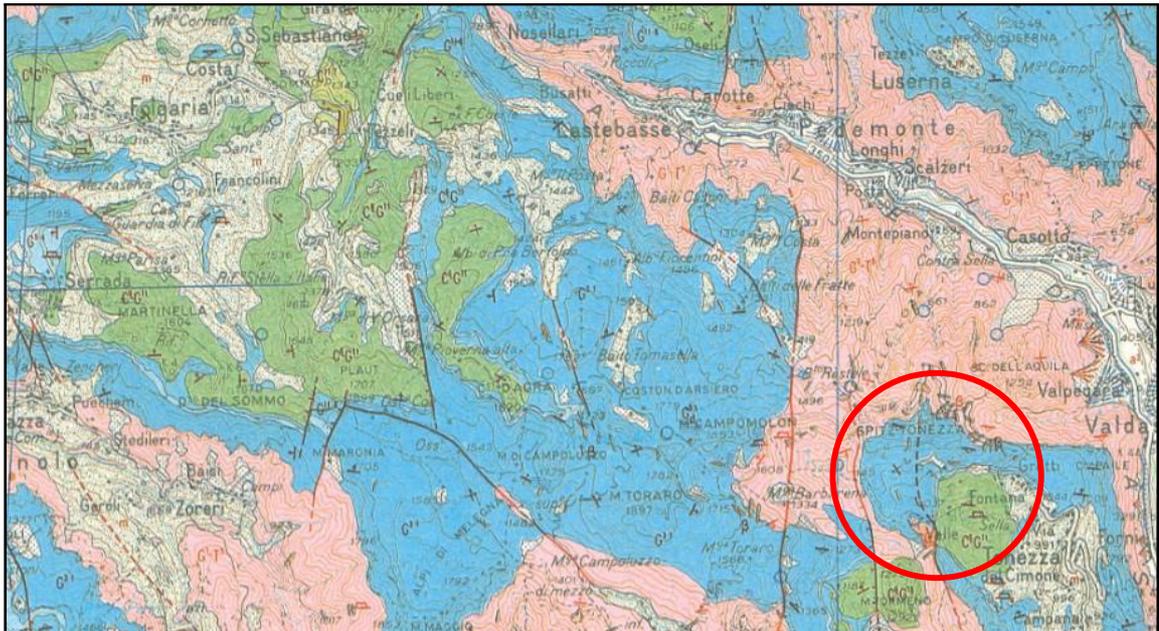
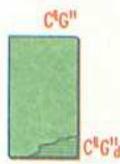


Fig. 6: Estratto da: Carta Geologica d'Italia, scala 1:250.000

### Legenda

	<p><b>C'G'</b></p> <p>COMPLESSO DOLOMITICO INDIFFERENZIATO. - Dolomie e calcari dolomitici giallastri e rosa-violacei, poco o per nulla stratificati, in eteropia con le formazioni giurassiche e cretatiche inferiori (Val dell'Agno, M. Castrazano, ecc.). <b>CRETACICO INFERIORE-LIAS INFERIORE</b> p.p.</p>
	<p><b>C'T'</b></p> <p>DOLOMIA PRINCIPALE. - Dolomia bianca, grigia o rosata, talora saccharoide, stratificata o massiccia, alternata a dolomie con stratificazione millimetrica, a <i>Worthenia contabulata</i> COSTA (= <i>W. solitaria</i> BEN.). <b>NORICO</b> (comprendente localmente il <b>LIAS INFERIORE</b> p.p.). Breccie basali ad elementi dolomitici (Bäffelan, Cornetto, ecc.) ed eruttivi (Laghi di Posina). <b>CARNICO?</b></p>
	<p><b>T'</b></p> <p>FORMAZIONE DI RAIBL. - Calcari marnosi, lastriformi, grigio-scuri, a lumachella con <i>Avicula caudata</i> STOPP., <i>A. stoppanii</i> TOMM., «<i>Terebratula</i>» <i>woermanniana</i> BITTNER, <i>Spirigera sufflata</i> (MÜNSTER), calcari dolomitici scuri, bituminosi, alternati ad argilliti fogliettate grigio-scure (Strati di Raibl degli AA.), passanti inferiormente a facies dolomitica (Strati di S. Cassiano degli AA.). <b>CARNICO.</b></p>

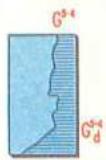
**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**



**BIANCONE.** - Calcari grigio-biancastri, a chiazze scure, con intercalazioni argillose, talora a fucoidi, con radiolari; calcari bianco avorio, a frattura concoide, con intercalazioni e arnioni di selce scura, a calpionellidi. (  $G^1 G^2$  ).  
**CENOMANIANO-TITONIANO** p.p.  
Calcari dolomitici, localmente mangesiferi, mal stratificati, eteropici col « Biancone » (  $G^1 G^2_d$  ).



**ROSSO AMMONITICO VERONESE.** - Calcari rosei e biancastri nodulari, calcari rossi compatti, calcari rossi marmorei lastriformi ad ammoniti [*Ptychophylloceras ptychoicum* (QUENST.), *Aspidoceras acanthicum* (OPP.), *Peltoceras transversarium* (QUENST.), ecc.]; calcari marnosi selciferi rossastri; calcari rossi ad entrochi, talora nodulari (  $G^1 G^2$  ). **MALM SUPERIORE** p.p.-**DOGGER INFERIORE** p.p.  
Calcari dolomitici, localmente mangesiferi, male stratificati, eteropici col « Rosso ammonitico veronese » (  $G^1 G^2_d$  ).



**OOLITE DI S. VIGILIO.** - Calcari roseo-rossastri ricchissimi di fossili tra cui lamellibranchi, cefalopodi, gasteropodi e soprattutto crinoidi (Lumachella a *Posidonia alpina*); calcari oolitici rosei, gialli e biancastri, ad abbondanti articoli di *Pentacrinus*, echinidi, brachiopodi (*Stolmorhynchia bilobata* (BEN.)). (  $G^1 G^2$  ).  
**DOGGER INFERIORE** p.p.-**LIAS SUPERIORE**.  
Dolomie e calcari dolomitici, porosi e facilmente disgregabili, eteropici con l'« Oolite di S. Vigilio » (  $G^1 G^2_d$  ).



**CALCARI GRIGI DI NORIGLIO.** - Calcari grigi a *Lithotis problematica* GUMB.; calcari grigi a *Orbitopsella praecursor* (GUMB.), « *Terebratula* » *rotzoana* SCHAUR., ecc., con livelli marnosi ed argillosi, talora ricchi di resti vegetali (Rotzo); calcari oolitici, calcari a *Gervillia buchi* ZIGNO (settore occidentale del foglio); calcari compatti bianco avorio o leggermente rosei con rari brachiopodi e gasteropodi (Piovene Rocchette); dolomie saccaroidi bianco-grigiastre, ben stratificate (M. Cengio, Cima del Pasubio) (  $G^1 G^2$  ). **LIAS MEDIO E INFERIORE**.  
Dolomie rosate o giallo-rossastre, spesso mangesifere, in grosse bancate, eteropiche con i « Calcari grigi di Noriglio » (  $G^1 G^2_d$  ).



Detriti di falda (  $dt$  ), frane e grandi scoscendimenti (Slavini di Marco) (  $fr$  ).



Alluvioni antiche terrazzate, talora cementate (Vallarsa).



Morene miste a detrito (  $mdt$  ); depositi morenici würmiani e stadiali (  $m$  ), cordoni morenici.



Depositivi fluvio-glaciali ed interglaciali; alluvioni del pluviale würmiano.

## **1.2 INDAGINI IN SITO E DI LABORATORIO**

Al fine di caratterizzare la stratigrafia locale ed ottenere un'indicazione dei terreni, sono state eseguite le seguenti prove elencate che verranno successivamente integrate nelle specifiche aree da approfondire.

- Rilevamento geologico, geomorfologico e geomeccanico dell'area;
- ove geofisiche su versante a monte della strada esistente per uno stendimento totale di 1200m;
- n. 24 prove penetrometriche dinamiche medie (DPM) nell'area di pertinenza;
- n. 16 scavi geognostici con mezzo meccanico nell'area di pertinenza;
- n. 20 prelievi di campioni rimaneggiati derivanti sia da depositi superficiali di versante sia da materiale di risulta degli scavi geognostici assemblati in depositi rappresentativi delle tipologie presenti;
- n. 3 tipologie di prove di laboratorio rappresentativi dei materiali presenti;
- n. 1 prelievo di campioni indisturbati tramite fustella shelby infissa con mezzo meccanico usato per gli scavi geognostici;
- n. 1 classificazioni di terreni indisturbati;
- n. 1 prova edometrica su terreno indisturbato;
- n. 1 prove di compressione semplice ad espansione laterale libera su terreni coesivi indisturbati;
- n. 6 rilevazioni di velocità Vs30 tramite misure di microtremore ambientale per la caratterizzazione sismica dei terreni.
- n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione con inversione tomografica a 16 geofoni per individuare principali unità geo-sismiche tramite velocità Vp di propagazione delle onde longitudinali P;
- n. 2 stendimenti geo-elettrici 2D in configurazione Wenner a 24 elettrodi per misure di resistività dei terreni al fine di individuare l'assetto stratigrafico di profondità.

I risultati sono compendati nelle pagine seguenti

### **1.2.1 SCAVI GEOGNOSTICI**

#### **Metodologia e strumentazione**

Allo scopo di un'osservazione diretta del terreno prossimo al piano campagna, sono stati eseguiti n° 16 scavi geognostici mediante scavatore meccanico tipo ragno.



Dall'osservazione diretta degli scavi sono state schematizzate le seguenti stratigrafie:

<b>Scavo geognostico meccanico n° 1</b>			
STRATO	QUOTA [m]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +1,5m DA QUOTA STRADA	
1	0,00 - 0,40	<p>Deposito superficiale vegetale di natura limoso argillosa con rari elementi ghiaiosi. Colore di fondo marrone.</p>	
2	0,40 - 2,50	<p>Deposito eterogeneo caotico costituito da elementi vulcanitici arrotondati eterometrici e rari elementi calcarei. Forte presenza di matrice limoso argillosa coesiva. Colore di fondo marrone</p>	

<b>Scavo geognostico meccanico n° 2</b>		
STRATO	QUOTA [m]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +3,5m DA QUOTA STRADA
1	0,00 - 0,20	Deposito superficiale vegetale di natura limoso argillosa con elementi ghiaiosi.
2	0,20 - 1,50	Deposito eterogeneo prevalentemente granulare con abbondante matrice limoso argillosa; presenza di elementi con elementi granulari da pochi centimetri fino a 20 - 30 cm di lunghezza.
		

<b>Scavo geognostico meccanico n° 3</b>		
STRATO	QUOTA [m]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +3,0m DA QUOTA STRADA
1	0,00 - 0,20	Deposito superficiale vegetale di natura limoso argillosa con elementi ghiaiosi.
2	0,20 - 2,50	Vulcanite in posto molto fraturata con elementi di dimensioni fino a 25cm, in prevalenza da 0-5cm, abbondante matrice limo argilloso. A circa 1,80m di profondità elementi a pillow lavas sub arrotondati.
		

<b>Scavo geognostico meccanico n° 4</b>		
STRATO	QUOTA [m]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +2,5m DA QUOTA STRADA
1	0,00 - 0,30	Deposito superficiale vegetale di natura limoso argillosa con elementi ghiaiosi.
2	0,30 - 0,80	Deposito eterogeneo caotico costituito da elementi ghiaiosi calcarei, sporadicamente con dimensioni fino a oltre 50cm, in prevalenza con elementi da 0-5 cm e forte presenza di matrice limoso argillosa coesiva.
3	0,80 - 2,50	Deposito vulcanitico in parte alterato in argilliti sulla porzione superficiale.



<b>Scavo geognostico meccanico n° 5</b>		
STRATO	QUOTA [m]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +1,5m DA QUOTA STRADA
1	0,00 - 0,60	Deposito superficiale vegetale con elementi granulari calcarei misti a ghiaione 0-5 cm vulcanico.
2	0,60 - 3,5	Vulcaniti compatte che scavate si frantumano in elementi angolosi regolari in prevalenza 0-5 cm in matrice sabbioso limosa.
3	3,5 - 4,0	Vulcaniti a blocchi ed elementi grossolani compatti, di dimensioni medie di circa di ½ m³.



<b>Scavo geognostico meccanico n° 6</b>		
STRATO	QUOT A [m]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +3,0m DA QUOTA STRADA
1	0,00 - 0,30	Deposito superficiale vegetale di natura limoso argillosa. Colore di fondo marrone.
2	0,30 - 2,5	Vulcanite in posto molto fratturata con elementi di dimensioni fino a 25cm, in abbondante matrice limo argilloso. A circa 1,20m di profondità elementi a pillow lavas sub arrotondati.
		

<b>Scavo geognostico meccanico n° 7</b>		
STRATO	QUOT A [m]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +3,0m DA QUOTA STRADA
1	0,00 - 0,30	Deposito superficiale vegetale di natura limoso argillosa. Colore di fondo marrone.
2	0,30 - 2,00	Deposito costituito da calcari intensamente fratturati, in parte dolomitizzati e con scarsa matrice interstiziale.
		

<b>Scavo geognostico meccanico n° 8</b>		
STRATO	QUOT A [m.]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +3,5m DA QUOTA STRADA
1	0,00 - 0,60	Deposito superficiale vegetale di natura limoso argillosa, presenza di scarso scheletro ghiaioso con elementi centimetrici. Colore di fondo marrone.
2	0,60 - 2,00	Deposito eterogeneo caotico costituito da elementi calcarei eterometrici in prevalenza fino a 20 cm ma con rari elementi fino a ½ m <sup>3</sup> . Forte presenza di matrice limoso argillosa coesiva. Colore di fondo marrone.
		

<b>Scavo geognostico meccanico n° 9</b>		
STRATO	QUOT A [m.]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +1,5m DA QUOTA STRADA
1	0,00 - 0,60	Deposito superficiale vegetale di natura limoso argillosa, presenza di scarso scheletro ghiaioso con elementi centimetrici. Colore di fondo marrone.
2	0,60 - 2,50	Deposito eterogeneo caotico costituito da elementi calcarei eterometrici in prevalenza decimetrici ma con elementi grossolani fino a ½ m <sup>3</sup> . Forte presenza di matrice limoso sabbiosa. Colore di fondo marrone
		

<b>Scavo geognostico meccanico n°10</b>		
STRATO	QUOTA [m]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +3,0m DA QUOTA STRADA
1	0,00 - 0,40	Deposito superficiale vegetale di natura limoso argillosa con rari elementi ghiaiosi.
2	0,40 - 2,50	Detrito compatto prevalentemente ghiaioso con matrice limosa calcarea e dolomica. Nella porzione più bassa i depositi divengono intersamente fratturati con interstizi riempiti con matrice limosa ed elementi che una volta scavati sono prevalentemente centimetrici ma anche con rari blocchi decimetrici fino a $\frac{1}{2}$ m <sup>3</sup> .
		

<b>Scavo geognostico meccanico n°11</b>		
STRATO	QUOTA [m]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +2,0m DA QUOTA STRADA
1	0,00 - 0,60	Deposito superficiale vegetale di natura limoso argillosa.
2	0,60 - 2,50	Deposito argilloso coesivo.
3	2,50 - 3,50	Deposito eterogeneo argilloso con elementi ghiaiosi granulari del tutto in disfacimento.
		

<b>Scavo geognostico meccanico n°11 Bis</b>			
STRATO	QUOT A [ m ]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +2,5m DA QUOTA STRADA	
1	0,00 - 0,20	Deposito superficiale vegetale di natura limoso argillosa.	
2	0,30 - 1,20	Deposito eterogeneo prevalentemente granulare con abbondante matrice limoso argillosa; presenza di elementi granulari da pochi centimetri fino a 20 - 30 cm di lunghezza.	

<b>Scavo geognostico meccanico n°11Ter</b>			
STRATO	QUOT A [ m ]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +2,5m DA QUOTA STRADA	
1	0,00 - 0,30	Deposito superficiale vegetale di natura limoso argillosa Colore di fondo marrone.	
2	0,30 - 1,20	Deposito argilloso coesivo.	
3	1,20 - 1,80	Deposito eterogeneo argilloso con elementi ghiaiosi granulari del tutto in disfacimento.	

<b>Scavo geognostico meccanico n°12</b>			
STRATO	QUOTA [m]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +2,5m DA QUOTA STRADA	
1	0,00 - 0,30	Deposito superficiale vegetale di natura limoso argillosa.	
2	0,30 - 1,60	Deposito di vulcaniti coerenti.	

<b>Scavo geognostico meccanico n°13</b>			
STRATO	QUOTA A [m]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +3,5m DA QUOTA STRADA	
1	0,00 - 0,20	Deposito superficiale vegetale di natura limoso argillosa.	
2	0,30 - 1,70	Deposito eterogeneo caotico costituito da elementi calcarei eterometrici in prevalenza decimetrici ma con elementi grossolani fino a ½ m <sup>3</sup> . Forte presenza di matrice limoso sabbiosa. Colore di fondo marrone bruno scuro	

<b>Scavo geognostico meccanico n°14</b>			
STRATO	QUOT A [m]	STRATIGRAFIA RILEVATA QUOTA INIZIO SCAVO +3,5m DA QUOTA STRADA	
1	0,00 - 0,50	Deposito superficiale vegetale.	
2	0,30 - 1,10	Deposito eterogeneo caotico costituito da elementi calcarei eterometrici in prevalenza decimetrici ma con elementi grossolani fino a ½ m <sup>3</sup> . Forte presenza di matrice limoso sabbiosa	
3	1,10 - 3,00	Deposito di vulcaniti coerenti.	

## **1.2.2 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE**

### **Metodologia e strumentazione**

Il penetrometro utilizzato è il DPM (Dynamic Probing Medium), secondo la classificazione ISSMFE (1988). Il metodo di prova utilizzato consiste nel misurare il numero di colpi necessari di un maglio lasciato cadere da una determinata altezza, affinché sia infissa nel terreno per alcuni centimetri una batteria di aste aventi una punta conica di diametro variabile.

Di seguito si riportano le caratteristiche tecniche dei penetrometri utilizzati.

<b>Penetrometri utilizzati classificati secondo CLASSIFICAZIONE ISSMFE (1988)</b>				
TIPO	SIGLA di RIFERIMENTO	PESO MASSA BATTENTE	ALTEZZA CADUTA LIBERA	DIAMETRO PUNTA CONICA
super pesante	DPSH    super heavy	73 Kg	0.75 m	50.8 mm
medio	DPM    medium	30 Kg	0.20 m	35.7 mm

### Correlazione con NSPT

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con  $N_{spt}$ . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t * N$$

dove:

$$\beta_t = Q / Q_{SPT}$$

in cui  $Q$  è l'energia specifica per colpo e  $Q_{SPT}$  è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

$M$  = peso massa battente;

$M'$  = peso aste;

$H$  = altezza di caduta;

$A$  = area base punta conica;

$\delta$  = passo di avanzamento.

Il coefficiente  $\beta_t$  per il penetrometro utilizzato risulta pari a 0,77.

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Dal numero di colpi N30 è possibile ricavare i valori di resistenza dinamica alla punta Rpd utilizzando la formula degli Olandesi:

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{A_p \cdot e \cdot (M + P + P_{aste})}$$

dove:

Rpd = resistenza dinamica alla punta (kg/cm<sup>2</sup>)

M = massa battente (kg)

H = altezza di caduta (cm)

A<sub>p</sub> = area della punta (cm<sup>2</sup>)

e = infissione per colpo pari a  $\delta/N$  (cm) dove  $\delta$  è l'infissione.

P = peso sistema di battuta (kg)

P<sub>aste</sub> = peso aste (kg)

### **Discussione dei risultati**

Dall'elaborazione dei risultati delle prove penetrometriche si possono dividere i depositi indagati in stratificazioni derivanti dall'omogeneità della consistenza alla penetrazione della punta standard riassumibile nel numero Nspt. La suddivisione risultante dalle tabelle sottostanti, quindi, non è una reale stratigrafia dei depositi incontrati, ma una suddivisione indicativa del grado di consistenza del deposito:

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 1</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>10</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,20	20	3	12	2	sciolto
B	0,20 – 0,80	60	26	99	20	moderatamente addensato



<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 2</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,50	50	4	15	3	sciolto



**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 3</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,40	40	3	11	2	sciolto
B	0,40 – 1,3	90	23	81	17	moderatamente addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.3

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 4</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,40	40	2	8	2	sciolto
B	0,40 – 1,5	110	21	75	16	moderatamente addensato



Prova penetrometrica DPM sul punto di indagine n.4

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 5</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,30	30	1	5	1	sciolto
B	0,30 – 0,60	30	77	299	59	moderatamente addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.5

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 6</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,20	20	1	2	0	sciolto
B	0,20 – 2,00	180	5	18	4	sciolto
C	2,00 – 2,60	60	64	226	49	addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.6

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 7</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,40	40	2	7	1	sciolto
B	0,40 – 01,00	60	9	35	7	moderatamente addensato
C	1,00 – 1,20	20	75	262	57	addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.7

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 8</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,30	30	2	9	2	sciolto
B	0,30 – 1,80	150	27	99	21	moderatamente addensato
C	1,80 – 2,00	20	53	186	41	addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.8

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 9</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,40	40	2	6	1	sciolto
B	0,40 – 1,20	80	11	39	8	poco addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.9

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 10</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,50	50	3	11	2	sciolto
B	0,50 – 0,90	40	33	122	25	addensato



Prova penetrometrica DPM sul punto di indagine n.10

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 11</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,40	40	2	8	2	sciolto
B	0,40 – 2,30	190	23	86	18	moderatamente addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.11

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 12</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,20	20	1	4	1	sciolto
B	0,20 – 0,80	60	24	92	18	moderatamente addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.12

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 13</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,20	20	1	4	1	sciolto
B	0,20 – 0,80	60	16	61	12	moderatamente addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.13

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 14</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,30	30	1	3	1	sciolto
B	0,30 – 0,90	60	13	47	10	poco addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.14

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 15</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 1,10	110	1	4	1	sciolto
B	1,10 – 1,90	80	12	45	10	poco addensato
C	1,90 – 2,20	30	36	125	27	moderatamente addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.15

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 16</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,20	20	1	4	1	sciolto
B	0,20 – 1,30	110	5	20	4	sciolto
C	1,30 – 1,60	30	56	196	43	poco addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.16

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 17</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,20	20	1	4	1	sciolto
B	0,20 – 1,60	140	9	34	7	poco addensato



<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 18</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,20	20	1	4	1	sciolto
B	0,20 – 2,00	180	7	26	5	poco addensato
C	2,00 – 3,40	140	11	38	8	poco addensato



**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 19</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,20	20	2	8	2	sciolto
B	0,20 – 1,00	80	28	106	22	moderatamente addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.19

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 20</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,20	20	1	4	1	sciolto
B	0,20 – 0,80	60	23	90	18	moderatamente addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.20

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 21</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,40	40	4	15	3	sciolto
B	0,40 – 0,70	30	22	85	17	moderatamente addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.21

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 22</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,40	20	4	16	3	sciolto
B	0,40 – 1,10	70	20	72	15	moderatamente addensato
C	1,10 – 2,20	110	45	159	35	addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.22

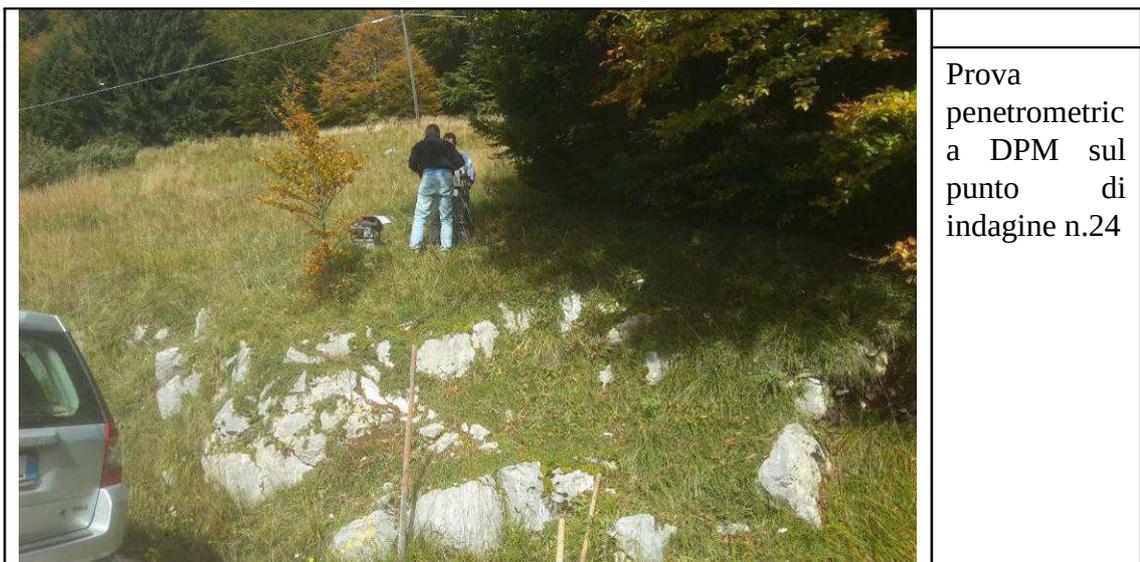
**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 23</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,50	50	1	4	1	sciolto
B	0,50 – 0,70	20	18	70	14	moderatamente addensato



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.23

<b>Prova Penetrometrica Dinamica DPM 24</b>						
STRATO	QUOTA [ m ]	SPESSORE STRATO [ cm ]	N colpi [ N <sub>30</sub> ]	Rpd [ daN/cm <sup>2</sup> ]	N <sub>spt</sub> [ N ]	STATO DI ADDENSAMENTO (CLASSIFICAZIONE AGI '77)
A	0,00 – 0,20	20	4	14	3	sciolto



Prova penetrometrica a DPM sul punto di indagine n.24

### **1.2.3 INDAGINI GEORADAR**

#### **Finalità e Metodologia di prova**

Il metodo G.P.R. (Ground Penetrating Radar) è una tecnica diagnostica geofisica non distruttiva, relativamente recente, che consente di ottenere immagini del sottosuolo fino ad una profondità di diversi metri. Tali immagini sono le versioni strumentali di sezioni verticali relative ognuna ad un profilo lineare coperto dall'antenna mobile sulla superficie da investigare.

Nel nostro caso, considerato il fondo scala impiegato (calibrato in unità di tempo), è ragionevole pensare che le sezioni che vengono presentate si riferiscano, per quanto concerne l'asse verticale, ai primi 2,5-3,0 metri circa di sottosuolo, mentre per quanto attiene all'asse orizzontale, relativo alle distanze coperte in superficie dall'antenna, esso è calibrato ogni mezzo metro.

Di seguito vengono descritti, se pur brevemente, i principi del metodo georadar, lo schema operativo nonché l'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

#### **Principi del metodo georadar**

Il radar (Radio Detecting And Ranging), cioè radio rivelatore e misuratore di distanza, nella sua definizione più generale, è una apparecchiatura che permette di rilevare la posizione di un oggetto dal confronto tra un segnale di riferimento emesso dal trasmettitore e quello riflesso dall'oggetto (bersaglio) di cui si deve determinare la posizione. Per questo scopo si utilizzano delle onde elettromagnetiche con frequenze normalmente comprese tra qualche centinaia di MHz ed alcune decine di GHz (le corrispondenti lunghezze d'onda nel vuoto sono 1 m per i 300 MHz, e 1 mm per i 300 GHz).

Un tipico radar ad impulsi come quello impiegato nelle prospezioni terrestri (Georadar), opera mediante la generazione di onde impulsive di alta frequenza (tipicamente tra 100 e 1.000 MHz), che possono essere trasmesse al mezzo da indagare attraverso un'opportuna antenna. Il parametro misurato è il tempo di propagazione dell'onda che, a seguito dell'intercettazione di ostacoli e discontinuità, ritorna in superficie e viene captata dall'antenna come eco riflesso. Mentre nell'aria l'onda elettromagnetica si propaga alla velocità di 300.000 Km/s, cioè di 30 cm/ns, nei materiali solidi e liquidi, essa è di gran lunga inferiore, tipicamente variabile tra 5 e 15 cm/ns a seconda delle caratteristiche del mezzo stesso.

L'immagine grafica prodotta su monitor dagli echi riflessi è una sezione bidimensionale della superficie indagata in cui l'asse orizzontale rappresenta il tragitto coperto dall'antenna lungo la superficie del mezzo investigato, mentre quello verticale rappresenta i tempi necessari all'onda per coprire lo spazio, di andata e ritorno, che separa la superficie esterna dai punti di discontinuità che hanno provocato le riflessioni.

La legge che regola tale processo è matematicamente esprimibile nella semplice forma:

$$v_m = 2d/t$$

ove  $v_m$  rappresenta la velocità media dei materiali attraversati dal segnale,  $2d$  il tragitto percorso e  $t$  il tempo impiegato.

La possibile profondità d'indagine dipende sia dalla frequenza del segnale trasmesso, che dall'attenuazione del segnale; in particolare l'attenuazione è funzione sia della distanza percorsa che delle caratteristiche del mezzo attraversato.

Una volta ottenuta l'immagine strumentale sintetica, costituita da una serie di echi successivi (prodotti da eterogeneità situate a quote diverse, sia in direzione verticale che orizzontale), si tratta, ove sia possibile, di interpretare le particolarità grafiche della natura e forma di ogni elemento perturbatore.

La stessa conversione della scala verticale, da tempi a metri, di utilità e comprensione molto più immediate, presuppone la formulazione di alcune ipotesi sulle caratteristiche dei materiali costituenti lo strato in esame, che si traducono in diverse velocità di propagazione dell'onda.

La fase interpretativa comporta un trattamento digitale del segnale con apposito software. La sequenza di elaborazione consiste inizialmente in una serie di filtraggi matematici, seguita da successive amplificazioni o attenuazioni di determinate porzioni del segnale.

#### **Strumentazione utilizzata**

- GPR Data Acquisition IBS mod. Hi-MOD
- Antenna monostatica da 200 e 600 MHz

### **Schema operativo**

L'indagine è stata eseguita con strumentazione georadar IBS mod. Hi-Mod, equipaggiata con un'antenna monostatica da 200-600 MHz idonea per la verifica di stratigrafie, tubazioni, spessori e strutture sepolte.

*In totale sono state eseguite n. 25 acquisizioni distribuite ove possibile lungo il versante a monte della strada del passo della Vena, per uno sviluppo complessivo di oltre 1500 m di lunghezza.*

Nei tratti indicati nelle planimetrie alle pagine seguenti è stata effettuata una unica sezione longitudinale sul versante lato monte del tracciato, avente direzione parallela al versante e con verso da monte verso valle, seguendo pertanto l'andamento della strada esistente; ogni sezione è stata eseguita cercando di indagare il versante a monte a una distanza di circa 1 ÷ 5 m dal limite lato monte dell'attuale tracciato stradale, compatibilmente con la morfologia del terreno.

Nelle zone di versante in corrispondenza del Passo della Vena di Sopra e di Sotto, a causa della notevole pendenza del versante, l'indagine è stata eseguita in corrispondenza della sede stradale lungo il margine lato monte.

Infine, sempre a causa delle condizioni morfologiche del versante in oggetto, è stato necessario variare la lunghezza delle sezioni, restringendo l'area di indagine alla superficie accessibile dall'operatore.

Il sottosuolo, alla luce dei test preliminari, ha presentato una sufficiente attitudine alla propagazione delle onde elettromagnetiche, permettendo di spingere le indagini fino alle profondità di circa 2,0 metri dal p.c..

Alcune foto delle operazioni in sito sono riportate nella pagina seguente; le planimetrie con le aree indagate ed i radargrammi sono invece riportati integralmente in allegato alla presente relazione.



Panoramica dell'area di indagine



Panoramica dell'area di indagine

### **Modalità operative**

Il lavoro si è svolto in più fasi; in primo luogo, oltre alle opportune tarature strumentali è stato eseguito un primo rilievo di alcune parti dell'area con antenne a diversa frequenza; ciò ha permesso, dopo una prima analisi sommaria delle sezioni raccolte, di stabilire l'antenna più appropriata all'intervento e la miglior scala di profondità (in tempi) da usare nel corso del rilievo vero e proprio.

I migliori risultati, sia per dettaglio e definizione, che per operatività pratica, sono stati ottenuti con l'utilizzo di un'antenna monostatica da 200-600 MHz ed una scala in profondità che è stata posta a 10 nanosecondi.

Con tali caratteristiche di rilievo si ha la garanzia di aver colto, con ottimo potere risolutivo areale, grazie anche ad una mirata ubicazione dei profili georadar, quei corpi eventualmente presenti nel sottosuolo ed elettromagneticamente anomali entro la quota di sottosuolo analizzata.

### **Considerazioni generali - interpretazione sezioni georadar**

Prima di descrivere i risultati ottenuti è necessario richiamare l'attenzione su alcuni aspetti inerenti la lettura delle sezioni stesse.

È necessario notare che le sezioni georadar ottenute sono sempre delle sezioni con scala verticale in tempi. Per convertire i tempi in profondità bisogna moltiplicare questi per la velocità caratteristica del mezzo attraversato; vi sono vari metodi che permettono di ricavare tale velocità in modo indiretto, così come si hanno numerosi valori tabulati di velocità per i vari mezzi.

Per quanto riguarda quindi il rilievo, le informazioni qualitative sulla natura e lo stato dei materiali attraversati sono costituite e messe in evidenza dall'intensità degli eventi riflessi, dalla loro quantità, diffusione od assenza. L'intensità degli eventi riflessi è direttamente legata al contrasto di impedenza fra i diversi materiali incontrati. I livelli di riflessione marcati nelle sezioni interpretate allegate, corrispondono a forti contrasti, mentre le riflessioni diffuse sono più caratteristiche di materiali fessurati o bagnati. L'assenza, o meglio la scarsità di echi, indica invece delle zone costituite da materiale omogeneo.

### **Risultati dell'indagine georadar**

L'interpretazione dei radargrammi ha permesso di riconoscere delle anomalie di particolare forma e dimensione (iperbole) ad elevata riflessione riconducibili alla presenza di possibili massi rocciosi immersi in matrice più fine. La presenza di tali massi è stata poi confermata durante l'esecuzione di alcuni degli scavi effettuati.

L'indagine georadar in generale ha messo in evidenza una copertura detritica eluvio-colluviale di spessore di qualche decimetro di profondità, e non si è potuta rilevare un'anomalia riconducibile ad un ~~contatto netto~~ tra detrito e roccia. Le caratteristiche di blanda riflessione del segnale georadar fanno ritenere trattarsi di terreno detritico smosso e incoerente. Si può affermare pertanto che ~~la roccia integra si trovi ad una~~ profondità maggiore di 2 metri.

## **1.2.4 STAZIONI DI RILIEVO GEOMECCANICO**

### **Finalità e Metodologia di prova**

Per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso è stato effettuato un rilievo geostutturale di discontinuità con il metodo della bussola, secondo le raccomandazioni ISRM. Le discontinuità in un ammasso roccioso condizionano, in modo più o meno evidente, il comportamento meccanico dell'ammasso stesso e del modello geotecnico alla base di qualsiasi calcolo; è quindi importante, al fine di una corretta valutazione delle condizioni di stabilità, una precisa descrizione della struttura della massa e delle discontinuità sia in termini qualitativi che quantitativi.

Per la determinazione del modello geotecnico dell'ammasso si è proceduto con le fasi di rilievo delle giaciture, riferite alle condizioni geostutturali (spaziatura, apertura, persistenza) e alle condizioni idrauliche e di resistenza delle discontinuità (scabrezza, resistenza delle pareti, grado di alterazione, materiali di riempimento) secondo la classificazione di Beniawsky e Romana.

La classificazione di Beniawsky si basa sul rilievo, in campagna o in laboratorio, di sei parametri:

A1 = resistenza a compressione uniassiale;

A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);

A3 = spaziatura delle discontinuità;

A4 = condizioni delle discontinuità;

A5 = condizioni idrauliche;

A6 = orientamento delle discontinuità.

Da questi sei parametri si ricava l'Rock Mass Rating (RMR, Beniawsky) e con le dovute correzioni apportate da Romana nel 1985 lo Slope Mass Rating (SMR).

L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

$RMR \text{ di base} = RMR_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$

$RMR \text{ corretto} = RMR_c = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6$

Ufficio: Strada di Saviabona, 278/1A - 36100 VICENZA, tel. 0444/304091 fax 0444/313136  
Abitazione: Strada di Costabissara, 17/A, 36100 VICENZA

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

Per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso lungo il tracciato sono state individuate n. 12 stazioni di rilevamento geomeccanico, denominate da GMC1 a GMC12, ubicate nella tavola allegata.

Dalle osservazioni dirette di tali affioramenti rappresentativi di zone con caratteristiche strutturali omogenee, si è potuto riconoscere nelle zone rilevate la presenza di calcari marnosi con struttura massiccia, con stratificazione in banchi (superfici di stratificazione scarse, discontinue ed irregolari), di colore grigio-nocciola, a confermare l'appartenenza della roccia alla Formazione dei "Calcari Grigi".

Si è proceduto in ogni stazione al rilievo e acquisizione dei parametri necessari alla determinazione dei sei parametri da A1 ad A6.

Si riporta di seguito il riepilogo della classificazione di Beniawsky e Romana.

Classificazione dell'ammasso roccioso

n. stazione	RMRbase	RMRcorretto	Classe	Descrizione
GMC1	53.45	51.45	Terza	Mediocre
GMC2	54.83	52.83	Terza	Mediocre
GMC3	54.51	54.51	Terza	Mediocre
GMC4	65.77	60.77	Terza	Mediocre
GMC5	52.10	50.10	Terza	Mediocre
GMC6	54.39	52.39	Terza	Mediocre
GMC7	55.95	53.95	Terza	Mediocre
GMC8	53.79	53.79	Terza	Mediocre
GMC9	53.90	51.90	Terza	Mediocre
GMC10	50.90	50.90	Terza	Mediocre
GMC11	55.20	53.20	Terza	Mediocre
GMC12	53.26	51.26	Terza	Mediocre

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

Risultati relativi a Slope Mass Rating (SMR)

Classificazione corretta dell'ammasso roccioso

n. stazione	SMR	Classe	Descrizione
GMC1	53.45	Terza	Mediocre
GMC2	54.83	Terza	Mediocre
GMC3	54.51	Terza	Mediocre
GMC4	65.76	Seconda	Buona
GMC5	52.10	Terza	Mediocre
GMC6	54.39	Terza	Mediocre
GMC7	55.95	Terza	Mediocre
GMC8	53.79	Terza	Mediocre
GMC9	53.90	Terza	Mediocre
GMC10	50.90	Terza	Mediocre
GMC11	55.20	Terza	Mediocre
GMC12	53.26	Terza	Mediocre

Per l'elaborazione completa del rilievo geomeccanico si rimanda alla documentazione allegata.

### 1.3 CALCOLO DEI VOLUMI DEI DEPOSITI DI TIPOLOGIE DIVERSE

Sulla base del rilievo topografico eseguito e messo a disposizione della stazione appaltante, e sulla base di alcune sezioni indicative dell'area si sono calcolati i volumi dei diversi materiali suddivisi in base alle possibili tipologie di utilizzo. La suddivisione delle classi di depositi ed il loro andamento nel sottosuolo è stato determinato sulla scorta delle numerose indagini in sito ed in laboratorio che hanno reso possibile l'ipotesi della stratigrafia anche dove i materiali non sono stati osservati direttamente. Sulla base di alcune sezioni e suddividendo le aree appartenenti alle diverse tipologie e ipotizzando un andamento omogeneo per alcuni tratti di strada si sono calcolati i volumi dei materiali che verranno estratti durante le lavorazioni.

È indicato di seguito nella tabella, con un certo margine di approssimazione lo schema riassuntivo del computo volumetrico delle tipologie di depositi e del volume totale di materiale che verrà estratto. Dalla differenza percentuale tra il volume totale ricavato con il metodo approssimato, e con il volume ricavato dai programmi dedicati per la progettazione stradale si può indicare il margine di approssimazione percentuale da applicare ai numeri dei volumi indicati.

<b>sez. 8</b>				T1	T2	T3
da - a sez.	3	10	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
progressive	30.00	60.00	30	3150	0	1050
T1	105	m <sup>2</sup>				
T2	0	m <sup>2</sup>				
T3	35	m <sup>2</sup>				
<b>sez. 15</b>				T1	T2	T3
da - a sez.	10	22	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
progressive	60.00	172.00	112	0	0	448
T1	0	m <sup>2</sup>				
T2	0	m <sup>2</sup>				
T3	4	m <sup>2</sup>				
<b>sez. 41</b>				T1	T2	T3
da - a sez.	22	68	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
progressive	172.00	560.00	388	0	1164	2328
T1	0	m <sup>2</sup>				
T2	3	m <sup>2</sup>				
T3	6	m <sup>2</sup>				

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

<b>sez. 82</b>				T1	T2	T3
da - a sez.	68	99	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
progressive	560.00	790.00	230	0	1265	1955
T1	0	m <sup>2</sup>				
T2	5,5	m <sup>2</sup>				
T3	8,5	m <sup>2</sup>				
<b>sez. 127</b>				T1	T2	T3
da - a sez.	99	135	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
progressive	790.00	1080.00	290	0	0	3625
T1	0	m <sup>2</sup>				
T2	0	m <sup>2</sup>				
T3	12,5	m <sup>2</sup>				
<b>sez. 139</b>				T1	T2	T3
da - a sez.	135	149	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
progressive	1080.00	1185.00	105	0	284	158
T1	0	m <sup>2</sup>				
T2	2,7	m <sup>2</sup>				
T3	1,5	m <sup>2</sup>				
<b>sez. 153</b>				T1	T2	T3
da - a sez.	150	159	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
progressive	1220.00	1270.00	50	3675	0	1050
T1	73,5	m <sup>2</sup>				
T2	0	m <sup>2</sup>				
T3	21	m <sup>2</sup>				
<b>sez. 172</b>				T1	T2	T3
da - a sez.	159	189	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
progressive	1270.00	1494.00	224	0	4256	3360
T1	0	m <sup>2</sup>				
T2	19	m <sup>2</sup>				
T3	15	m <sup>2</sup>				
<b>sez. 202</b>				T1	T2	T3
da - a sez.	189	212	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
progressive	1495.00	1679.00	184	0	1748	1104
T1	0	m <sup>2</sup>				
T2	9,5	m <sup>2</sup>				
T3	6,0	m <sup>2</sup>				
<b>sez. 221</b>				T1	T2	T3
da - a sez.	216	223	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
progressive	1710.00	1780.00	70	0	5250	2240
T1	0	m <sup>2</sup>				
T2	75	m <sup>2</sup>				
T3	32,0	m <sup>2</sup>				
<b>sez. 241</b>				T1	T2	T3
da - a sez.	223	241	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
progressive	1780.00	1890.00	110	0	440	825
T1	0	m <sup>2</sup>				
T2	4	m <sup>2</sup>				
T3	7,5	m <sup>2</sup>				
<b>sez. 260</b>				T1	T2	T3
da - a sez.	241	271	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
progressive	1890.00	2099.00	209	0	418	836
T1	0	m <sup>2</sup>				
T2	2	m <sup>2</sup>				
T3	4,0	m <sup>2</sup>				

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

<b>sez. 280</b>				T1	T2	T3		
da - a sez.	271	285	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		
progressive	2099.00	2210.00	111	0	0	666		
T1	0	m <sup>2</sup>						
T2	0	m <sup>2</sup>						
T3	6.0	m <sup>2</sup>						
<b>sez. 292</b>				T1	T2	T3		
da - a sez.	285	298	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		
progressive	2210.00	2312.00	102	0	0	1071		
T1	0	m <sup>2</sup>						
T2	0	m <sup>2</sup>						
T3	10.5	m <sup>2</sup>						
<b>sez. 300</b>				T1	T2	T3		
da - a sez.	298	304	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		
progressive	2312.00	2360.00	48	0	0	96		
T1	0	m <sup>2</sup>						
T2	0	m <sup>2</sup>						
T3	2.0	m <sup>2</sup>						
<b>sez. 305</b>				T1	T2	T3		
da - a sez.	304	315	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		
progressive	2360.00	2436.00	76	0	0	722		
T1	0	m <sup>2</sup>						
T2	0	m <sup>2</sup>						
T3	9.5	m <sup>2</sup>						
<b>sez. 320</b>				T1	T2	T3		
da - a sez.	315	330	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		
progressive	2436.00	2561.00	125.00	0	1625	875		
T1	0	m <sup>2</sup>						
T2	13	m <sup>2</sup>						
T3	7.0	m <sup>2</sup>						
<b>sez. 375</b>				T1	T2	T3		
da - a sez.	330	398	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		
progressive	2561.00	3097.00	536.00	0	6968	2680		
T1	0	m <sup>2</sup>						
T2	13	m <sup>2</sup>						
T3	5.0	m <sup>2</sup>						
<b>sez. 407</b>				T1	T2	T3		
da - a sez.	398	417	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		
progressive	3097.00	3253.00	156.00	0	2184	936		
T1	0	m <sup>2</sup>						
T2	14	m <sup>2</sup>						
T3	6.0	m <sup>2</sup>						
<b>sez. 450</b>				T1	T2	T3		
da - a sez.	417	468	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		
progressive	3253.00	3653.00	400.00	4400	0	2000		
T1	11	m <sup>2</sup>						
T2	0	m <sup>2</sup>						
T3	5.0	m <sup>2</sup>						
<b>sez. 472</b>				T1	T2	T3		
da - a sez.	469	474	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		
progressive	3670.00	3710.00	40.00	3200	0	440		
T1	80	m <sup>2</sup>						
T2	0	m <sup>2</sup>						
T3	11.0	m <sup>2</sup>						
<b>sez. 476</b>				T1	T2	T3		
da - a sez.	474	480	ml	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		
progressive	3710.00	3758.00	48.00	576	0	0		
T1	12	m <sup>2</sup>						
T2	0	m <sup>2</sup>						
T3	0.0	m <sup>2</sup>						
				<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>totale</b>	
				<b>15001</b>	<b>26766</b>	<b>30793</b>	<b>72559</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

**1.3.2 TIPOLOGIA DI DEPOSITO T1:**  
**AMMASSO ROCCIOSO POCO ALTERATO O COMPATTO**

**1.3.2.1 Prelievo e possibilità di utilizzo**

La qualificazione di un aggregato allo scopo di utilizzo per confezionamento di prodotti legati si basa sulle normative di certificazione europea conosciuta genericamente come Marcatura CE degli aggregati. Solitamente la marcatura CE di un aggregato si applica ad un prodotto di cava lavorato e setacciato per lo specifico utilizzo nel campo del confezionamento con apposite destinazioni d'uso quali il confezionamento di calcestruzzi, di conglomerati bituminosi o per sottofondi stradali non legati, a cui si aggiungono le prove per la verifica di trasformazione dei carbonati di calcio in calce anidra mediante cottura in appositi impianti. Il deposito denominato T1 è stato selezionato da affioramenti e scavi per gli usi più pregiati quale il suo utilizzo per il confezionamento di calcestruzzi o conglomerati bituminosi o per essere destinato alla trasformazione in calce anidra. La miscela degli affioramenti deriva da affioramenti con il più basso contenuto di depositi limosi interstiziali e che ad un esame di tipo geomeccanico hanno strati con bassa spaziatura che permettano di mantenere esenti da intercalazioni argillose anche in profondità il deposito. Il prelievo è stato eseguito per la maggior parte da depositi superficiali, in modo da poter dimostrare che anche in modo naturale, la disgregazione produce una miscela con una classazione equilibrata e permette di facilitare le operazioni di selezione negli aggregati con diverse granulometrie. Il prelievo dei depositi di questa tipologia durante le operazioni di scavo dovranno prevedere l'uso combinato sia benna scavatrice e martellone demolitore, la velocità di prosecuzione, sarà influenzata dalla compattezza dei depositi, ed eventualmente agevolata dalla possibilità di scompaginare più facilmente gli strati con maggiore inclinazione rispetto a quelli orizzontali. Per preservare la qualità del materiale estratto si dovranno dividere i primi depositi ricchi di materiale terroso dai sottostanti sia durante il trasporto che l'accumulo e possibilmente non miscelarli con depositi di categoria inferiore.

### 1.3.2.2 Analisi granulometrica e proprietà fisico meccaniche

Le attrezzature per la Distribuzione granulometrica (UNI EN 933-1) le attrezzature consistono in una serie di nove setacci con maglie di luce compresa tra 125 e 0.063mm, una bilancia tarata (sensibile a 0.1 g) ed un forno ventilato di grande capienza. Il provino sottoposto all'analisi granulometrica è disaggregato tramite essiccazione e vagliato ad aperture via via decrescenti. La prova può essere eseguita anche ad umido tramite sottrazione del peso iniziale secco e rimanenza dopo lavaggio al setaccio 0.063mm. La curva granulometrica deriva dalla percentuale in peso dei singoli passanti rapportata al peso totale. La classificazione d'uso prescelta è la UNI EN 12620 ad uso di confezionamento per calcestruzzi, dalla granulometria eseguita sul materiale e allegata alla presente relazione, si ricava la sottostante tabella:

<b>T1: AMMASSO ROCCIOSO POCO ALTERATO O COMPATTO</b>				
PROVA N°	RIFERIMENTO INTERNO	<u>Denominazione da norma:</u> Aggregato in frazione unica 0 / 125 mm		ZONA DI PRELIEVO
1	14CA13339	DESIGNAZIONE DELLA CLASSE GRANULOMETRICA	DESIGNAZIONE DELLA CLASSE GRANULOMETRICA DEI FINI	Miscela di scavi
		<u>Categoria:</u> Gc 90/15	<u>Categoria dei fini:</u> f dichiarato	

Le attrezzature per la prova di Equivalente in sabbia (UNI EN 933-8) consistono in due cilindri standard graduati, con due linee di marcature in corrispondenza di 100mm e di 380mm, di uno stantuffo di misura che comprenda un collare che si inserisca nel diametro interno del cilindro graduato ed un'astina concentrica, munita di piattello in testa, in grado di scorrere all'interno del cilindro. La porzione di prova viene mescolata con una quantità standard di soluzione flocculante, che separa la frazione argillosa dalla porzione di granulometria sabbiosa o maggiore, quindi viene mescolato mediante un agitatore manuale standardizzato. Dopo un tempo standard di 20min il valore di equivalente in sabbia viene calcolato come rapporto percentuale tra l'altezza del sedimento depositato e l'altezza del sedimento ancora in sospensione. Il valore ottenuto è indicativo della qualità del materiale, ad un numero maggiore corrisponde una buona qualità dl materiale.

<b>T1: AMMASSO ROCCIOSO POCO ALTERATO O COMPATTO</b>						
PROVA N°	1	RIFERIMENTO INTERNO	14CA13339	<b>ES: 76 %</b>	ZONA DI PRELIEVO	Miscela di scavi

Le attrezzature per la determinazione della ~~massa volumica~~ in condizioni di saturazione richiedono una bilancia tarata con sistema per pesata idrostatica ed un forno ventilato per l'essiccazione, le specifiche di prova sono descritte secondo la norma (~~UNI EN 1097-6~~).

<b>T1: AMMASSO ROCCIOSO POCO ALTERATO O COMPATTO</b>						
PROVA N°	1	RIFERIMENTO INTERNO	14CA13339	γ: <b>2,706 g/cm<sup>3</sup></b>	ZONA DI PRELIEVO	Miscela di scavi

Le attrezzature per la prova di ~~frantumazione Los Angeles (UNI EN 1097-2)~~ consistono in un'apposita macchina miscelatrice a cilindro rotante che gira sul proprio asse e da una carica di sfere di acciaio che vengono fatte girare insieme all'aggregato. Depositi con minore resistenza agli urti vengono ottengono una maggiore quantità di depositi fini e quindi un valore percentuale maggiore del risultato di prova descrive un un deposito meno resistente alla frantumazione.

<b>T1: AMMASSO ROCCIOSO POCO ALTERATO O COMPATTO</b>						
PROVA N°	1	RIFERIMENTO INTERNO	14CA13339	<b>LA: 20 %</b>	ZONA DI PRELIEVO	Miscela di scavi

### 1.3.2.3 Analisi ponderali e petrografiche

Le analisi successive sono finalizzate a caratterizzare il materiale sia per la trasformazione degli aggregati calcarei in calce anidra mediante cottura sia per il confezionamento di calcestruzzi. Le prove chimiche quali determinazione dei solfati solubili, dei cloruri e del tenore di zolfo totale vengono eseguite seguendo la normativa UNI EN 1744-1; quantità eccessive degli elementi sopra nominati o del contenuto di sostanze umiche possono influire sui tempi di presa del calcestruzzo e generare fenomeni che nel tempo creano imperfezioni nel calcestruzzo.

<b>T1: AMMASSO ROCCIOSO POCO ALTERATO O COMPATTO</b>						
PROVA N°	RIFERIMENTO INTERNO	CONTENUTO DI CLORURI	CONTENUTO DI SOLFATI	CONTENUTO DI ZOLFO TOTALE	CONTENUTO DI SOSTANZE HUMICHE	ZONA DI PRELIEVO
1	14CA13339	<b>% Cl<sup>-</sup>: 0,07</b>	<b>% SO<sub>3</sub>: 0,01</b>	<b>% S: 0,16</b>	Inferiore al limite consentito	Miscela di scavi

**Di seguito vengono riportati alcuni limiti di accettazione presi in considerazione dalle norme citate**

PROVA N°	RIFERIMENTO INTERNO	CONTENUTO DI CLORURI	CONTENUTO DI SOLFATI	CONTENUTO DI ZOLFO TOTALE
1	14CA13339	<b>Requisiti UNI 8520-2: 2005 % Cl<sup>-</sup>: &lt;0,03</b>	<b>Requisiti UNI 8520-2: 2005 Categoria AS<sub>0,8</sub> ≤ 0,8 %</b>	<b>Requisiti UNI 8520-2: 2005 ≤ 1%</b>

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

**Analisi petrografica**

Descrizione preliminare macroscopica: lapideo di colore grigiastro con superficie naturale biancastra.

Osservazioni microscopiche  
(stime quantitative basate sul conteggio delle particelle)

Morfologia dei clasti: dopo frantumazione forma fortemente angolosa e sfericità da alta a molto bassa.

**Analisi modale:**

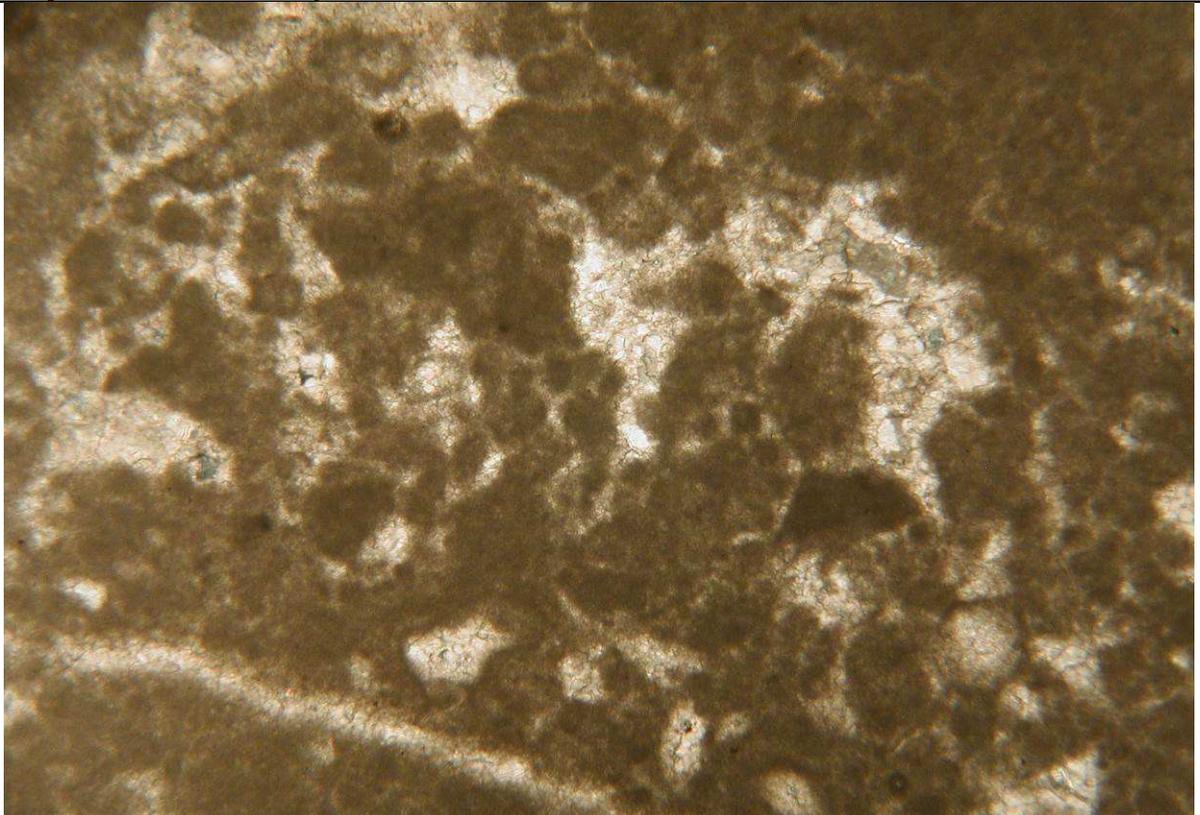
COSTITUENTI	%
Calcare a peloidi con cemento sparitico (raramente con inclusi di ossidi di ferro)	100

Stato fisico: si osserva talora la presenza di ossidi ed idrossidi di ferro di neoformazione.

Classificazione petrografica: lapideo a composizione carbonatica (calcarei a peloidi) con tracce di ossidi di ferro.

Aggregati nocivi	Contenuto	Requisiti UNI 8520-2: 2005
Solfati (gesso e anidrite).	<b>non rilevato</b>	In caso di presenza di solfati deve essere soddisfatta la seguente condizione: Contenuto di solfati solubili in acido $\leq 0.2$ (AS <sub>0,2</sub> ); Contenuto di solfati solubili in acido $\leq 0.8$ (AS <sub>0,8</sub> ).
Solfuri ossidabili (pirite, marcasite e pirrotina).	<b>non rilevato</b>	In caso di presenza di solfuri ossidabili deve essere soddisfatta la seguente condizione: Contenuto totale di Zolfo $\leq 0.1\%$ .
Minerali potenzialmente reattivi agli alcali (opale, silice amorfa idrata, vetro vulcanico ad alto tenore di silice, quarzo microcristallino, calcedonio, selce, quarzo ad estinzione ondulata).	<b>non rilevato</b>	In caso di presenza di minerali potenzialmente reattivi agli alcali è necessario eseguire la seguente prova: Determinazione della potenziale reattività in presenza di alcali (UNI 8520-22:2002).
Miche e scisti cristallini.	<b>non rilevato</b>	La presenza di miche nell'aggregato può comportare riduzioni sia nella resistenza meccanica, sia nel modulo elastico del calcestruzzo.

**Campione 14CA13339.** Fotomicrografia al MOLP in luce trasmessa, sezione sottile, 80 x N+.



### 1.3.2.4 diffrazione di inerti

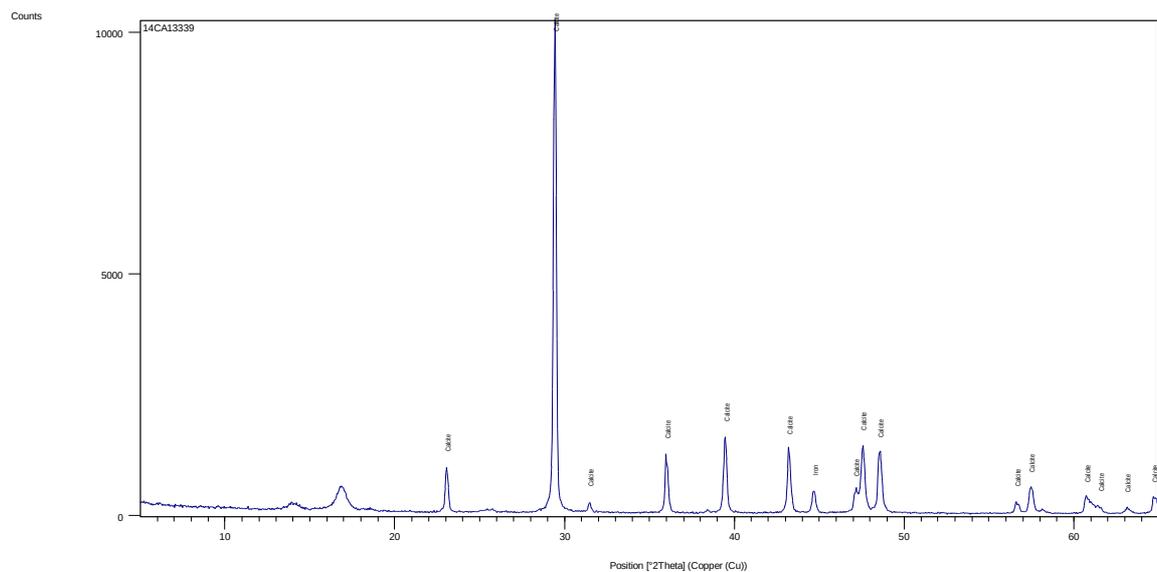
La strumentazione consiste in un Diffratometro a raggi X' tipo Philips X Change, il materiale viene macinato su un mortaio e analizzato direttamente.

Nella Tabella sottostante sono riassunti per comodità di consultazione i principali minerali restituiti dall'analisi:



#### Analisi diffrattometrica ai Raggi X (XRD)

Parametro	Unità di Misura	Valore	Metodo di prova
<b>CALCITE</b> CaCO <sub>3</sub>	% p/p	100	UNI EN 13925-2: 2006



#### Analisi in fluorescenza dei raggi X (XRF)

Parametro	Unità di Misura	Valore (dopo riscaldamento a 975°)	Metodo di Prova
<b>MgO</b>	% p/p	1,0	UNI EN 15309:2007
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	% p/p	0,6	UNI EN 15309:2007
<b>SiO<sub>2</sub></b>	% p/p	0,8	UNI EN 15309:2007
<b>SO<sub>3</sub></b>	% p/p	0,4	UNI EN 15309:2007
<b>CaO</b>	% p/p	97,2	UNI EN 15309:2007
<b>PERDITA AL FUOCO (105°C)</b>	% p/p	0,05	UNI EN 15309:2007
<b>PERDITA AL FUOCO (975°C, RISPETTO A 105°C)</b>	% p/p	43,82	UNI EN 15309:2007

**1.4.1 TIPOLOGIA DI DEPOSITO T2:  
AMMASSO ROCCIOSO CON ALTERAZIONI SUPERFICIALI O  
FRATTURAZIONI CONGENITE**

**1.4.1.1 Prelievo e possibilità di utilizzo**

La qualificazione di un aggregato allo scopo di utilizzo per l'ingegneria si basa sulle normative di Marcatura CE degli aggregati. Solitamente la marcatura CE di un aggregato si applica ad un prodotto di cava lavorato e setacciato per l'utilizzo, nel caso specifico la qualificazione viene invece determinata su depositi ancora da estrarre e lavorare in impianto per poterne ricavare un valore merceologico basato sulle prove di laboratorio e quindi successivamente per poterne indirizzare una valutazione economica a cui si devono applicare delle misure commerciali di base quali il trasporto e la richiesta di mercato del prodotto stesso .

Il deposito denominato T2 è stato selezionato da affioramenti e scavi per sia per il confezionamento di calcestruzzi o conglomerati bituminosi o per l'esecuzione di sottofondi stradali e opere di ingegneria in genere (gabbionate, difese spondali, ecc).

Il materiale deriva dalla miscela di depositi derivanti da affioramenti con presenza sporadica di depositi limosi interstiziali, e quindi il suo utilizzo al naturale è compatibile solo con opere che tollerano la presenza di una parte di materiale fine anche se nell'insieme il deposito risulta prevalentemente granulare; la possibilità di un successivo lavaggio del deposito permette un suo utilizzo anche in confezionamento di prodotti quali calcestruzzi o bitumi. Anche per l'estrazione di depositi di questo tipo si deve prevedere l'uso combinato si benna scavatrice e martellone demolitore, la velocità di prosecuzione, sarà influenzata sia dalla compattezza dei depositi, sia dalla possibilità di scompaginare più facilmente gli strati con maggiore inclinazione rispetto a quelli orizzontali. In alcuni casi questa tipologia di depositi può rappresentare uno strato di passaggio tra il tipo T1 precedente e i terreni superficiali prevalentemente coesivi, dato che le indagini in sito non riescono a differenziare il passaggio tra depositi, nel caso questo avvenga in profondità, nelle sezioni volumetriche non sono stati indicati e si rimanda alla buona pratica dell'operatore la differenziazione durante le operazioni di scavo.

#### **1.4.1.2 Analisi granulometrica e proprietà fisico meccaniche**

Per la descrizione delle modalità di esecuzione della Distribuzione granulometrica (UNI EN 933-1) si faccia riferimento al precedente paragrafo 1.3.2.2.

La classificazione prescelta è la UNI EN 13242 ad uso per sottofondi stradali non legati; dalla granulometria eseguita sul materiale e allegata alla presente relazione, si ricava la sottostante tabella:

<b>T2: AMMASSO ROCCIOSO CON ALTERAZIONI SUPERFICIALI O FRATTURAZIONI CONGENITE</b>				
PROVA N°	RIFERIMENTO INTERNO	Denominazione da norma: Aggregato in frazione unica 0 / 125 mm		ZONA DI PRELIEVO
1	14CA13340	DESIGNAZIONE DELLA CLASSE GRANULOMETRICA	DESIGNAZIONE DELLA CLASSE GRANULOMETRICA DEL FINI	Miscela di scavi
		Categoria: <b>GA 85</b>	Categoria dei fini: <b>f7</b>	

Per la descrizione delle modalità di esecuzione della prova di Equivalente in sabbia (UNI EN 933-8) si faccia riferimento al precedente paragrafo 1.3.2.2. nella tabella sottostante è indicato il valore del campione considerato:

<b>T2: AMMASSO ROCCIOSO CON ALTERAZIONI SUPERFICIALI O FRATTURAZIONI CONGENITE</b>						
PROVA N°	1	RIFERIMENTO INTERNO	14CA13340	<b>ES: 45 %</b>	ZONA DI PRELIEVO	Miscela di scavi

Per la descrizione delle modalità di determinazione della massa volumica in condizioni di saturazione (UNI EN 1097-6) si faccia riferimento al precedente paragrafo 1.3.2.2. nella tabella sottostante è indicato il valore del campione considerato:

<b>T1: AMMASSO ROCCIOSO POCO ALTERATO O COMPATTO</b>						
PROVA N°	1	RIFERIMENTO INTERNO	14CA13339	<b>γ: 2,722 g/cm<sup>3</sup></b>	ZONA DI PRELIEVO	Miscela di scavi

Per la descrizione delle modalità di esecuzione della prova di frantumazione Los Angeles (UNI EN 1097-2) si faccia riferimento al precedente paragrafo 1.3.2.2. nella tabella sottostante è indicato il valore del campione considerato:

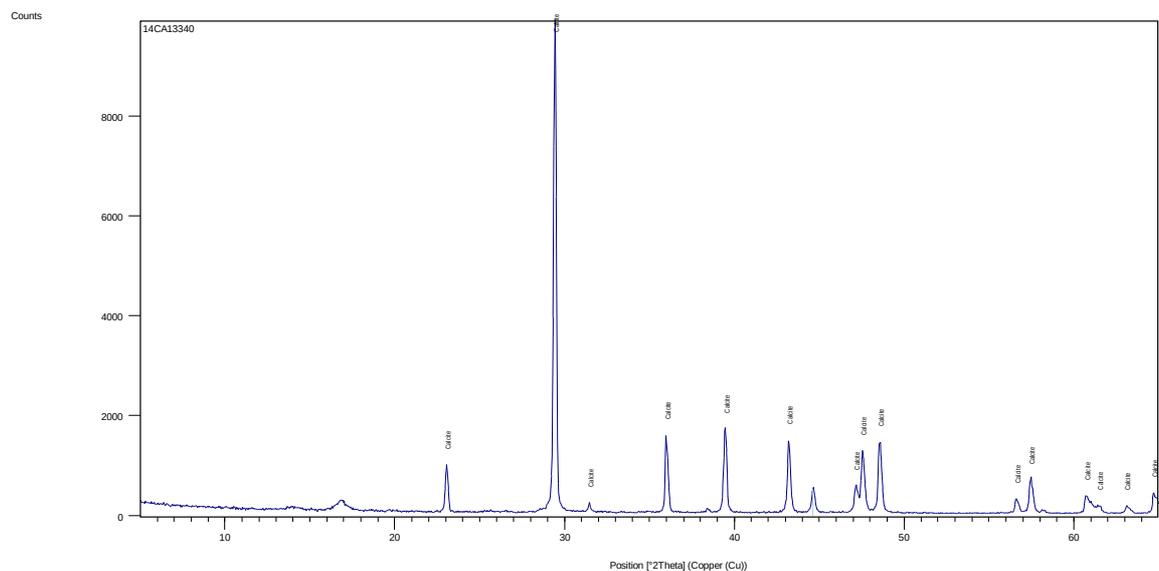
<b>T2: AMMASSO ROCCIOSO CON ALTERAZIONI SUPERFICIALI O FRATTURAZIONI CONGENITE</b>						
PROVA N°	1	RIFERIMENTO INTERNO	14CA13340	<b>LA: 20 %</b>	ZONA DI PRELIEVO	Miscela di scavi

### 1.4.1.3 Analisi ponderali e petrografiche

Per la descrizione delle modalità di esecuzione della prova di diffrazione e fluorescenza ai raggi X si faccia riferimento al precedente paragrafo 1.3.2.3. nella tabella sottostante sono indicati i valori restituiti dalle analisi eseguite:

#### Analisi diffrattometrica ai Raggi X (XRD)

Parametro	Unità di Misura	Valore	Metodo di prova
<b>CALCITE</b> CaCO <sub>3</sub>	% p/p	100	UNI EN 13925-2: 2006



#### Analisi in fluorescenza dei raggi X (XRF)

Parametro	Unità di Misura	Valore (dopo riscaldamento a 975°)	Metodo di Prova
MgO	% p/p	1,3	UNI EN 15309:2007
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% p/p	2,6	UNI EN 15309:2007
SiO <sub>2</sub>	% p/p	3,9	UNI EN 15309:2007
SO <sub>3</sub>	% p/p	0,3	UNI EN 15309:2007
CaO	% p/p	0,4	UNI EN 15309:2007
PERDITA AL FUOCO (105°C)	% p/p	89,8	UNI EN 15309:2007
PERDITA AL FUOCO (975°C. RISPETTO A 105°C)	% p/p	1,7	UNI EN 15309:2007

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

**Analisi petrografica**

**Descrizione preliminare macroscopica:** lapideo di colore nocciola.

**Osservazioni microscopiche**  
(stime quantitative basate sul conteggio delle particelle)

**Morfologia dei clasti:** dopo frantumazione forma fortemente angolosa e sfericità da alta a molto bassa.

**Analisi modale:**

COSTITUENTI	%
Calcarei sparitici con microinclusioni ossidi ed idrossidi di ferro	100

**Stato fisico:** si osservano talora patine di ossidi ed idrossidi di ferro superficiali.

**Classificazione petrografica:** lapideo a composizione carbonatica (calcarei micritici) con tracce di ossidi di ferro.

Aggregati nocivi	Contenuto	Requisiti UNI 8520-2: 2005
Solfati (gesso e anidrite).	<b>non rilevato</b>	In caso di presenza di solfati deve essere soddisfatta la seguente condizione: Contenuto di solfati solubili in acido $\leq 0.2$ ( $AS_{0,2}$ ); Contenuto di solfati solubili in acido $\leq 0.8$ ( $AS_{0,8}$ ).
Solfuri ossidabili (pirite, marcasite e pirrotina).	<b>non rilevato</b>	In caso di presenza di solfuri ossidabili deve essere soddisfatta la seguente condizione: Contenuto totale di Zolfo $\leq 0.1\%$ .
Minerali potenzialmente reattivi agli alcali (opale, silice amorfa idrata, vetro vulcanico ad alto tenore di silice, quarzo microcristallino, calcedonio, selce, quarzo ad estinzione ondulata).	<b>non rilevato</b>	In caso di presenza di minerali potenzialmente reattivi agli alcali è necessario eseguire la seguente prova: Determinazione della potenziale reattività in presenza di alcali (UNI 8520-22:2002).
Miche e scisti cristallini.	<b>non rilevato</b>	La presenza di miche nell'aggregato può comportare riduzioni sia nella resistenza meccanica, sia nel modulo elastico del calcestruzzo.

**Campione 14CA13340.** Fotomicrografia al MPOM in luce trasmessa, sezione sottile, 80 x N+.



**1.5.1 TIPOLOGIA DI DEPOSITO T3:  
DEPOSITO COSTITUITO DA ELEMENTI ROCCIOSI E TERRENO  
SCIOLTO**

**1.5.1.1 Prelievo e possibilità di utilizzo**

Il restante materiale di risulta degli scavi per i lavori di allargamento e messa in sicurezza del versante a monte della SP136 sono generalmente costituiti da depositi terrosi con una componente ghiaiosa che varia divenendo prevalente sulla matrice o essendo del tutto assente in taluni casi.

Il deposito denominato T3 utilizzato per le analisi deriva in gran parte dal materiale di risulta degli scavi geognostici ed è stato diviso in base alla presenza o meno di depositi vulcanitici affioranti in molti scavi eseguiti e che rendono il materiale di risulta con caratteristiche sufficientemente diverse. In particolare quando lo scheletro ghiaioso è costituito da materiale calcareo imprimo, al deposito nel suo complesso una struttura con migliori caratteristiche geotecniche ed una maggiore durata nel tempo; la presenza di elementi grossolani di derivazione vulcanoclastica invece determinano un valore di resistenza inferiore che si esprime essenzialmente mediante l'indice di portanza CBR ed una maggiore tendenza al disfacimento se soggetto agli agenti atmosferici. Oltre alle caratteristiche intrinseche della parte granulare il deposito con presenza di vulcaniti spesso presenta una qualità di materiale fine interstiziale altamente coesivo che rendono i depositi soggetti a rigonfiamenti per assorbimento d'acqua. La presenza di vulcaniti nei depositi è stata segnalata nella tavola geologica con la presenza di un retino sovrapposto al colore di fondo indicante i depositi tipo T3.

L'utilizzo dei materiali tipo T3 deve essere molto attento in quanto in alcuni casi possono essere utilizzati per sottofondi stradali se la matrice non risulta coesiva e lo scheletro ghiaioso è di natura calcarea, mentre per depositi con matrice coesiva prevalente rispetto allo scheletro ghiaioso, ed in particolare se quest'ultimo è di tipo vulcanitico si consiglia di limitare il suo utilizzo a sole opere di riempimento che non abbiano carattere strutturale.

Per l'estrazione di depositi di questo tipo si deve prevedere l'uso principalmente della benna scavatrice e limitare il martellone demolitore solo a casi in cui siano presenti grossi massi e stratificazioni vulcanitiche compatte oltre una certa profondità. Le velocità di avanzamento, rilevate con il mezzo meccanico usato per gli

scavi geognostici, sono certamente più elevate rispetto agli altri depositi e calcolate con un margine di approssimazione in circa 10m all'ora.

### 1.5.1.2 CLASSIFICAZIONE DI UNA TERRA

La classificazione di un terreno a scopi ingegneristici, secondo la specifica normativa di riferimento ASTM D 2487- 93, deriva dall'analisi dei dati ricavati dall'analisi granulometrica e dai limiti di consistenza di Atterberg. Le attrezzature consistono quindi in una bilancia tarata (sensibile a 0.1 g) ed una serie di setacci e vagli per la granulometria. Per quanto riguarda la determinazione del limite liquido di Atterberg si usa una bilancia tarata (sensibile a 0.01 g) ed il cucchiaio di Casagrande con i relativi utensili per l'esecuzione del solco standard.



Il provino sottoposto all'analisi granulometrica è disaggregato tramite essiccazione e vagliato ad aperture via via decrescenti. La prova può essere eseguita anche ad umido tramite sottrazione del peso iniziale secco e rimanenza dopo lavaggio al setaccio 0.075mm.

La curva granulometrica deriva dalla percentuale in peso dei singoli passanti rapportata al peso totale del campione rappresentativo. Il Limite Liquido di un campione di argilla è rappresentato dall'umidità percentuale che un campione è in grado di



assorbire prima di passare da un comportamento del terreno da plastico a liquido. Il successivo passaggio di stato, con diminuzione del contenuto d'acqua, da un comportamento plastico ad uno semisolido costituisce il limite liquido. Sulla base dei diversi comportamenti dei vari terreni introducendo l'indice di consistenza si possono correlare i risultati dei limiti di Atterberg al comportamento meccanico del campione

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

Dall'analisi dei valori ottenuti con le prove sopraccitate è stata stipulata una classificazione convenzionale visibile nei singoli report delle prove di laboratorio allegati alla presente relazione; nella Tabella sottostante sono riassunti per comodità di consultazione i principali valori restituiti dalle prove e la classificazione del campione.

<b>T3: DEPOSITO COSTITUITO DA ELEMENTI ROCCIOSI VULCANITICI E TERRENO SCIOLTO</b>									
PROVA N°	RIFERIMENTO INTERNO	GRANULOMETRIA			LIMITI DI ATTERBERG			CLASSIFICAZIONE	ZONA DI PRELIEVO
		FRAZIONE PASSANTE			LL	LP	IP		
		2,0mm	0,4mm	0,075mm	%	%	%		
1	14CA13341	52,5	34,5	24,8	61,2	36,1	25,1	<b>A2 - 7</b>	Miscela di scavi

<b>T3: DEPOSITO COSTITUITO DA ELEMENTI ROCCIOSI CALCAREI E TERRENO SCIOLTO</b>									
PROVA N°	RIFERIMENTO INTERNO	GRANULOMETRIA			LIMITI DI ATTERBERG			CLASSIFICAZIONE	ZONA DI PRELIEVO
		FRAZIONE PASSANTE			LL	LP	IP		
		2,0mm	0,4mm	0,075mm	%	%	%		
2	14CA13341	55,0	31,4	23,6	9,5	5,3	3,1	<b>A2 - 7</b>	Miscela di scavi

I campioni restituiscono valori compatibili con la natura osservabile macroscopicamente.

### **1.5.1.3 PROVE DI COSTIPAMENTO PROCTOR**

Il costipamento in laboratorio dei provini prelevati in sito è eseguito secondo quanto stabilito dalla norma CNR BU 69 del '78 secondo la modalità AASHTO modificata. Le attrezzature consistono in un pestello meccanico, tipo Tecnotest, una serie di stampi cilindrici indeformabili di dimensioni normalizzate standard: altezza interna 116.4mm e diametro interno 101.6mm; a supporto della strumentazione specifica è prevista anche una bilancia tarata (sensibile a 0.5 g). Il campione sottoposto alla prova di costipamento viene inizialmente suddiviso in almeno 4 provini che vengono idratati con diversi gradi di umidità possibilmente ricreando due situazioni di eccesso d'acqua e due provini con un grado di umidità inferiore all'ottimale, ipotizzato in base alla sensibilità dell'operatore. I provini vengono omogeneizzati con la quantità d'acqua aggiunta mediante mescolamento manuale e lasciati a riposo, coperti in luogo umido, per almeno 12 ore. A seguito di questa prima fase, i provini, vengono costipati con 56 colpi standard, secondo una sequenza preimpostata e viene misurata la massa volumica con l'umidità imposta del cilindro risultante; dopo essiccazione viene infine misurata la massa volumica ad umido del campione e l'umidità corrispondente. Dalla risoluzione dell'equazione parabolica si calcola per via analitica la massima densità apparente realizzabile con quello specifico materiale e la sua umidità ottimale corrispondent

Nelle tabelle sottostanti sono riassunti i parametri del prelievo del campione indisturbato.

<b>T3: DEPOSITO COSTITUITO DA ELEMENTI ROCCIOSI VULCANITICI E TERRENO SCIOLTO</b>				
PROVA N°	RIFERIMENTO INTERNO	MASSA VOLUMICA APPARENTE SECCA $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	UMIDITA' OTTIMALE U (%)	ZONA DI PRELIEVO
1	14CA13341	1,682	21,2	Miscela di scavi

<b>T3: DEPOSITO COSTITUITO DA ELEMENTI ROCCIOSI CALCAREI E TERRENO SCIOLTO</b>				
PROVA N°	RIFERIMENTO INTERNO	MASSA VOLUMICA APPARENTE SECCA $\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	UMIDITA' OTTIMALE U (%)	ZONA DI PRELIEVO
2	14CA13341	1,714	16,3	Miscela di scavi

#### **1.5.1.4 INDICE DI PORTANZA CBR**

L'indice di portanza CBR stabilisce un criterio empirico per determinare le caratteristiche di idoneità dei materiali ad uso stradale. La prova e le attrezzature sono in conformità precisato nelle norme CNR UNI 10009. Le attrezzature consistono nel pestello meccanico identico a quello adottato per la prova di costipamento proctor e una serie di stampi cilindrici indeformabili di dimensioni normalizzate standard: altezza interna 177.8mm e diametro interno 152.4mm a cui viene aggiunto un disco spaziatore inseribile all'interno; a supporto della strumentazione specifica è prevista anche una bilancia tarata (sensibile a 0.5 g). Il campione sottoposto alla prova viene idratato all'umidità ottimale secondo quanto accertato con la prova di costipamento proctor, viene successivamente costipato con 56 colpi standard secondo una sequenza meccanica preimpostata e lasciato 4 giorni immerso in acqua con un comparatore centesimale che misura il rigonfiamento del materiale. La prova infine consiste nel far penetrare un pistone con dimensioni standard a velocità costante all'interno del campione ancora contenuto nella fustella, l'apparecchiatura provvista di anello dinamometrico misura la forza necessaria a mantenere costante la velocità di avanzamento del pistone. L'interpretazione della curva carichi – penetrazione in particolare in corrispondenza di due carichi significativi di penetrazione (2.5 e 5.0 mm) permette di ricavare l'indice di portanza CBR che è espresso in percentuale riferito alla differenza di portanza con un campione standard di riferimento (sabbia silicea californiana) a cui si attribuisce il 100%.

Nelle tabelle sottostanti sono riassunti i parametri del prelievo del campione

<b>T3: DEPOSITO COSTITUITO DA ELEMENTI ROCCIOSI VULCANITICI E TERRENO SCIOLTO</b>							
PROVA N°	RIFERIMENTO INTERNO	COSTIPAMENTO		MATURAZIONE	RIGONFIAMENT O PERCENTUALE	INDICE DI PORTANZA	ZONA DI PRELIEVO
		DENSITÀ: Y (g/cm <sup>3</sup> )	UMIDITÀ: U (%)		(%)	(%)	
1	14CA13341	1,660	22,7	4 GIORNI IN ACQUA	4,15	<b>9,6</b>	Miscela di scavi

<b>T3: DEPOSITO COSTITUITO DA ELEMENTI ROCCIOSI CALCAREI E TERRENO SCIOLTO</b>							
PROVA N°	RIFERIMENTO INTERNO	COSTIPAMENTO		MATURAZIONE	RIGONFIAMENT O PERCENTUALE	INDICE DI PORTANZA	ZONA DI PRELIEVO
		DENSITÀ: Y (g/cm <sup>3</sup> )	UMIDITÀ: U (%)		(%)	(%)	
2	14CA13341	1,645	17,3	4 GIORNI IN ACQUA	2,15	<b>13,8</b>	Miscela di scavi

### **1.6.1 PRELIEVO DI UN CAMPIONE INDISTURBATO**

Durante la campagna di scavi geognostici si è presentato un unico caso in cui i depositi erano privi di scheletro ghiaioso per cui si è provveduto all'esecuzione di un prelievo indisturbato nelle modalità descritte di seguito, il prelievo di un campione in tali modalità permette di eseguire alcune specifiche prove per la determinazione dei parametri geotecnici. Il prelievo di un campione indisturbato viene eseguito solo in terreni fini di natura coesiva o anche in terreni sabbiosi con una certa percentuale di deposito coesivo limoso argilloso e comunque in assenza di elementi grossolani tipo ghiaiosi con elementi di dimensioni centimetriche. L'infissione avviene con una fustella in acciaio dal bordo tagliente, a cui si applica una spinta in questo caso direttamente con la benna del mezzo meccanico usato per gli scavi geognostici. La qualità del campionamento è in molta parte dovuta alla buona pratica dell'operatore che non deve schiacciare il campione spingendo eccessivamente la fustella in profondità; tale manovra nel caso specifico è stata diretta e accertata per la sua buona esecuzione dal geologo che assiste alle operazioni di cantiere. I campioni indisturbati con fustelle tipo Shelby sono stati subito dopo sigillati con paraffina e tappati con appositi tappi in plastica fermati da nastro adesivo.

Nelle tabella sottostante sono riassunti i parametri del prelievo del campione indisturbato.

<b>Prelievo del campione C1 dallo scavo SC11</b>			
STRATO	DESCRIZIONE LIVELLO	QUOTA STRATO	FUSTELLA SC11C1 (PRELEVATA TRA 1,50 – 1,70m da p.c.)
A	TERRENO ARGILLOSO LIMOSO	1,20 – 1,70	

### **1.6.1.1 CLASSIFICAZIONE DI UNA TERRA**

La classificazione di un terreno a scopi ingegneristici, secondo la specifica normativa di riferimento ASTM D 2487- 93, deriva dall'analisi dei dati ricavati dall'analisi granulometrica e dai limiti di consistenza di Atterberg. Le attrezzature consistono quindi in una bilancia tarata (sensibile a 0.1 g) ed una serie di setacci e vagli per la granulometria. Per quanto riguarda la

determinazione del limite liquido di Atterberg si usa una bilancia tarata (sensibile a 0.01 g) ed il cucchiaio di Casagrande con i relativi utensili per l'esecuzione del solco standard.

Il provino sottoposto all'analisi granulometrica è disaggregato tramite essiccazione e vagliato ad aperture via via decrescenti. La prova può essere eseguita anche ad umido tramite sottrazione del peso iniziale secco e rimanenza dopo lavaggio



al setaccio 0.075mm. La curva granulometrica deriva dalla percentuale in peso dei singoli passanti rapportata al peso totale del campione rappresentativo. Il Limite Liquido di un campione di argilla è rappresentato dall'umidità percentuale che un campione è in grado di assorbire prima di passare da un comportamento del terreno da plastico a liquido. Il successivo passaggio di stato, con diminuzione del contenuto d'acqua, da un comportamento plastico ad uno semisolido costituisce il limite liquido. Sulla base dei diversi comportamenti dei vari terreni introducendo l'indice di consistenza si possono correlare i risultati dei limiti di Atterberg al comportamento meccanico del campione



**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

Dall'analisi dei valori ottenuti con le prove sopracitate è stata stipulata una classificazione convenzionale visibile nei singoli report delle prove di laboratorio allegati alla presente relazione; nella Tabella sottostante sono riassunti per comodità di consultazione i principali valori restituiti dalle prove e la classificazione del campione.

<b>SC11 C1</b>									
PROVA N°	RIFERIMENTO INTERNO	GRANULOMETRIA			LIMITI DI ATTERBERG			CLASSIFICAZIONE	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
		FRAZIONE PASSANTE			LL	LP	IP		
		2,0mm	0,4mm	0,075mm	%	%	%		
2	14CA13341	100,0	98,5	89,8	87,5	48,8	38,7	<b>A7 - 6</b>	Argilla limosa

I campioni restituiscono valori compatibili con la natura osservabile macroscopicamente.

### **1.6.1.3 PROVA DI COMPRESSIONE ESPANSIONE LATERALE LIBERA**

La strumentazione consiste in una pressa tipo Controls con anello dinamometrico e misuratore di spostamento analogico. Il provino è ricavato, dalla fustella del campione indisturbato, tramite cilindro fustellatore in acciaio a compressione manuale; le dimensioni sono quelle standard suggerite dalla normativa di riferimento ASTM D 2166-85: diametro  $\varnothing$  38,1 mm, altezza h: 76,2 mm; la velocità di prova è impostata in 1,0 mm/min.

Il provino è sottoposto a compressione con espansione laterale libera acquisendo il numero di divisioni dell'anello dinamometrico, ogni 0.1 mm del misuratore di spostamento.



Moltiplicando il numero di divisioni per la costante di taratura dell'anello dinamometrico e dividendo per la sezione media del provino si ottiene la tensione di deformazione. Il valore di riferimento è ottenuto dalla media di almeno due valori massimi di tensione, ottenuti per due provini diversi; esso è proporzionale alla coesione non drenata ( $C_u$ ) del campione sottoposto a prova.

Con gli stessi provini è possibile ottenere la massa volumica apparente con umidità naturale, pesando il campione prima di sottoporlo a prova e avendo note le caratteristiche volumetriche del cilindro fustellatore. Dalla successiva pesatura, a secco dello stesso set di provini, si ottiene l'umidità naturale del campione, prelevato in condizioni di minimo disturbo.

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

Nella Tabella sottostante sono riassunti per comodità di consultazione i principali valori restituiti dalle prove:

<b>CAMPIONE INDISTURBATO SC11C1</b>		<b>14CA13341</b>	
Profondità prelievo		Rottura provino tipo mista, in prevalenza configurazione a "barile" in parte con piani di taglio nettamente definiti	
1,5 – 1,7		Rottura provino tipo mista, in prevalenza configurazione a "barile" in parte con piani di taglio nettamente definiti	
Compressione 4,47 N/cm <sup>2</sup>		Compressione 4,29 N/cm <sup>2</sup>	
		<b>MEDIA: 4,38 N/cm<sup>2</sup></b>	

### 1.6.1.4 PROVA DI CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA

La strumentazione consiste in un edometro frontale a fulcro fisso tipo Tecnotest con trasduttore digitale di spostamento a ponte estensimetrico, corsa 25mm e sensibilità 0,001mm. L'apparato digitale di spostamento è abbinato ad una centralina di acquisizione a microprocessore con memoria fino a 100 dati che acquisisce e trasmette ad intervalli programmati le registrazioni ad un calcolatore elettronico. Il laboratorio è dotato di un sistema centralizzato per acquisire contemporaneamente fino a 6 prove ed è espandibile fino a 32. Il provino è ricavato, dalla fustella del campione indisturbato, tramite cilindro fustellatore in acciaio a compressione manuale; le dimensioni del provino sono suggerite dalla normativa di riferimento ASTM D 2435-80: diametro  $\Phi$  50,47 mm, altezza h: 20,0mm.



Il provino è sottoposto a compressione, confinata lateralmente dalla fustella cilindrica, si applicano, normalmente, 7 gradini di carico e 3 gradini di scarico per una prova a ciclo singolo ed il doppio per una prova a doppio ciclo; gli step temporali di acquisizione dei cedimenti sono su base logaritmica decrescente e ogni gradino di carico è mantenuto per 24 ore. Il processo di consolidazione è legato alla fuoriuscita dell'acqua intergranulare quindi alle caratteristiche di deformabilità e permeabilità del terreno. I tabulati di prova forniscono quindi valori riferiti al coefficiente di compressibilità  $m_v$  e al coefficiente di permeabilità  $K$ ; il grafico risultante è legato in modo semilogaritmico al carico applicato e all'indice dei vuoti del campione analizzato. In allegato alla prova si esegue, necessariamente, la determinazione della massa volumica reale dei granuli del campione che è determinante per l'analisi dell'indice dei vuoti iniziale del provino. Nella Tabella sottostante sono riassunti per comodità di consultazione i principali valori restituiti dalle prove:

SCAVO 11 CAMPIONE 1								
PROVA N°	RIF. INTERNO	FASE DI CARICO				FASE DI SCARICO		DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
		$\sigma' = 0,25$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma' = 1,0$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma' = 4,0$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma' = 16,$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma' = 4,0$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	$\sigma' = 0,25$ [daN/cm <sup>2</sup> ]	
CEDIMENTO VERTICALE [%]								
1	14CA13341	2,283	4,003	8,424	15,522	15,170	14,240	Argilla limosa

## **1.7 MODELLAZIONE GEOLOGICA**

### **1.7.1 Analisi geologico-stratigrafica e geomorfologica**

Nello specifico l'area di stretta pertinenza delle indagini è situata in un versante esposto a sud compreso tra la quota 1210 m e 1540 S.L.d.M.. Dal rilevamento geologico e geomorfologico del sito di pertinenza si osserva che il sito può essere diviso in due aree il cui limite si pone circa a quota 1415 S.L.d.M.. Nell'area sottostante si riscontra una netta prevelenza superficiale di depositi tipo T3 e in alcune specifiche zone substrato litico prevalentemente di tipo calcareo (Formazione dei Calcari Grigi) ma anche vulcaniti stratificate o vulcanoclastiti aggregate caoticamente in conglomerati. Su alcune aree specifiche i depositi superficiali sono di tipo colluviale con netta prevalenza di matrice argillosa ma depositi caotici anche a grossi massi in matrice limoso argillosa e ghiaia di litologie miste. In particolare in queste zone e nelle aree in cui si osservano evidenti fenomeni di dilavamento superficiale concentrato e diffuso sono stati previsti degli approfondimenti di indagine che vadano ad accertare la natura dei fenomeni e dei depositi riscontrati; nelle rimanenti aree le indagini sono state indirizzate soprattutto alla qualificazione dei materiali oggetto degli scavi e all'individuazione di aree particolarmente instabili che richiedano lavori di messa in sicurezza e stabilizzazione.

Dal punto di vista geomorfologico gli elementi che hanno interagito alla genesi del versante di pertinenza sono molteplici, dagli eventi glaciali pleistocenici fino alle forme crionivali del quaternario, per giungere infine alla modellazione determinata dall'idrografia di superficie, agli eventi franosi e all'apporto antropico che hanno obliterato le forme precedenti. La stratigrafia riflette in parte tutte la complessa genesi dell'area, in particolare le indagini penetrometriche, le indagini sismiche indirette, gli stendimenti georadar e gli scavi fondazionali restituiscono una situazione orizzontale riassunta nelle sezioni stratigrafiche allegate alla relazione.

### **1.7.2 Analisi idrogeologica**

Particolare attenzione deve essere posta all'idrogeologica dell'area, legata alla stratigrafia molto varia lungo tutto il tratto stradale preso in considerazione. In particolare si osservano in alcune zone specifiche dei ruscellamenti concentrati e diffusi sul versante che sono localizzati in prossimità delle aree dove le indagini hanno fatto emergere la presenza di un ampio livello di depositi vulcano-clastici e vulcanitici, in particolare tra le sezioni 100 e 120 dove si osservano fenomeni a valle

del ciglio stradale e dove alcune testimonianze riferiscono di una fonte spontanea non permanente poco a valle della curva alla sezione 114. Alcuni fenomeni simili si riscontrano a monte del ciglio superiore della strada anche nel tratto a quota 1440 m S.L.d.M. dove si concentrano in uno stretto canale conico di riempito da depositi terrosi colluviali e a quota 1520 m S.L.d.M. dove si osservano ruscellamenti diffusi derivanti dalla disposizione ad impluvio di un ampio versante prativo superiore. Questi fenomeni pur avendo le possibilità morfologiche di attingere da un bacino maggiore rispetto a quelli a quote più basse sono di intensità minore, in quanto il substrato calcareo permette un maggiore assorbimento d'acqua, favorito inoltre dagli strati a giacitura verticale e da possibili fenomeni carsici ipogei.

Nel tratto della strada inferiore inoltre, a partire circa dalla sezione 315 verso il basso, la stratigrafia sovrappone depositi piuttosto diversi dal punto di vista della permeabilità propria, e data la disomogeneità orizzontale dei depositi stessi e la presenza di strati caotici con elementi ghiaiosi anche a grossi massi e matrice coesiva interstiziale, si presume che non si possa individuare la presenza di una vera e propria falda permanente nel sottosuolo, ma si ipotizza comunque la presenza di effimere e estese venute d'acqua, diffuse su tutta l'area, in particolare in concomitanza con eventi meteorici piovosi e con lo scioglimento delle precipitazioni nevose.

In particolare nella zona tra le sezioni 288 e 292, dove è stato possibile prelevare un campione indisturbato per la prova di consolidazione edometrica, si è anche potuto ricavare, in modo indiretto, un coefficiente di permeabilità la conclusione delle analisi edometriche non presenti nella presente versione determinerà il valore preciso da prendere a riferimento. Di seguito si riportano le sezioni geosismiche 2D che poi vengono comunque allegate alla presente relazione.

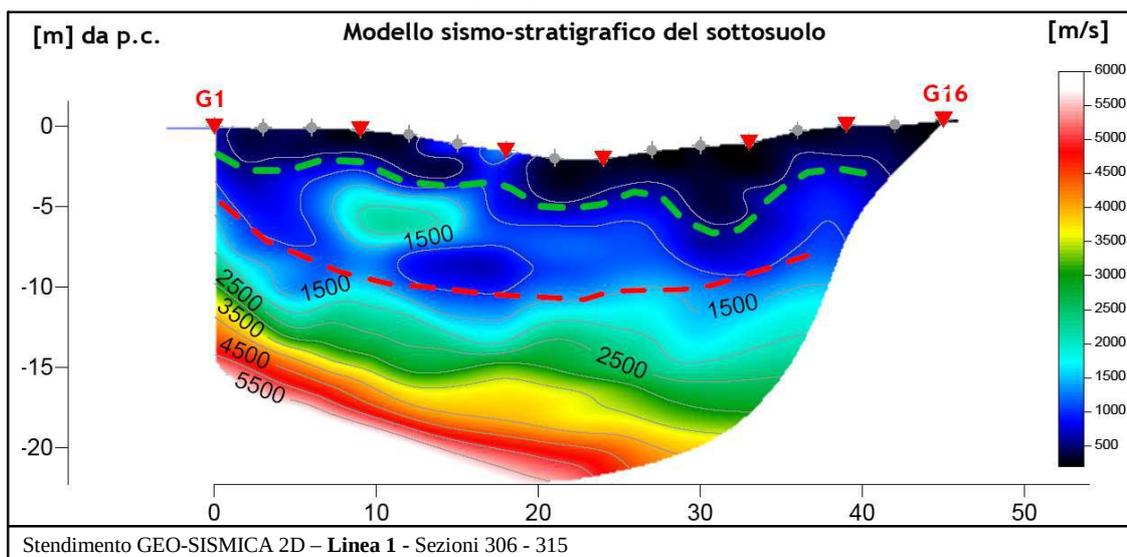
### 1.7.3 Analisi mirate ai siti in dissesto

Particolare attenzione è stata posta in alcune zone ove le prime indagini hanno rilevato dei depositi scadenti dal punto di vista geotecnico o con delle evidenze geomorfologiche superficiali che implicano dei processi o movimenti ancora attivi o potenzialmente attivabili dai lavori di allargamento della strada. In particolare le analisi prescelte per il completamento delle analisi sono le seguenti:

#### 1.7.3.1 prospezione sismica a rifrazione

Il metodo si basa sulla misura del tempo richiesto perché una perturbazione impressa si propaghi dalla sorgente ai geofoni percorrendo gli strati superficiali a bassa velocità e la superficie di separazione di due mezzi elastici differenti a velocità più elevata. Sul piano di rilevazione costituito dall'allineamento dei geofoni si susseguono le famiglie di curve che correlano le velocità delle onde con la distanza dalla sorgente, tali curve, dette dromocroni, sono alla base della ricostruzione pseudo-stratigrafica del sottosuolo e sono particolarmente indicate per ricerche profonde ad ampio raggio dove non ci siano elementi strutturali con velocità decrescenti a profondità maggiori e con spessori esigui.

Gli stendimenti sono stati eseguiti in particolare nella porzione a monte della strada attuale tra le sezioni 306 e 315 (stendimento SISM 1) e nella porzione a monte della strada attuale tra le sezioni 288 e 297 (stendimento SISM 2), sono lunghi rispettivamente 45 e 60 metri e con un'interasse tra geofoni di 3 e 4 metri raggiungono entrambi profondità di prospezione di circa 20 m.

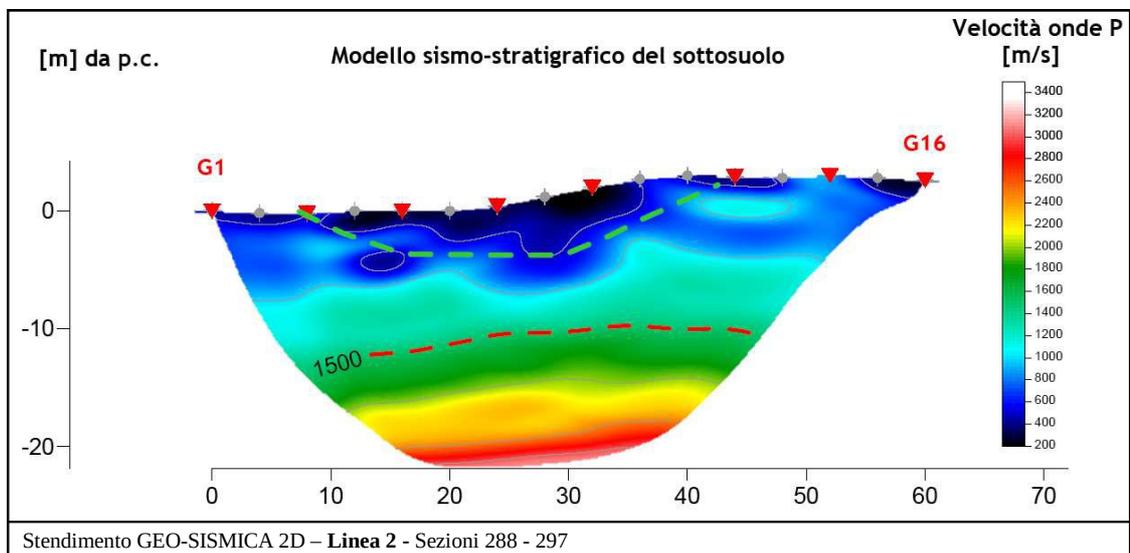


Dall'analisi della Linea **Sismica Nr.1** è stato possibile individuare tre principali unità geosismiche in funzione dei contrasti di velocità. Le unità sono state così distinte:

Sopra la linea tratteggiata color verde, un primo strato superficiale, caratterizzato da valori di velocità  $V_p$  inferiori o uguali a 500 m/s e costituito da depositi poco addensati attribuibili a materiale coesivo argilloso limoso;

Tra la linea tratteggiata verde e la linea tratteggiata rossa un secondo strato caratterizzato da un materiale moderatamente addensato ( $V_p < 1500$  m/s – probabile materiale di copertura prevalentemente granulare o roccia fratturata/alterata);

Sotto la linea tratteggiata color rosso si registrano velocità superiori ai 1500 m/s. Queste sono verosimilmente attribuibili alla presenza dell'ammasso roccioso più o meno fratturato.



Dall'analisi della Linea **Sismica Nr.2** è stato possibile individuare tre principali unità geosismiche in funzione dei contrasti di velocità. Le unità sono state così distinte:

Sopra la linea tratteggiata color verde, un primo strato superficiale, caratterizzato da valori di velocità  $V_p$  inferiori a 500 m/s e costituito da depositi poco addensati attribuibili a materiale coesivo argilloso limoso;

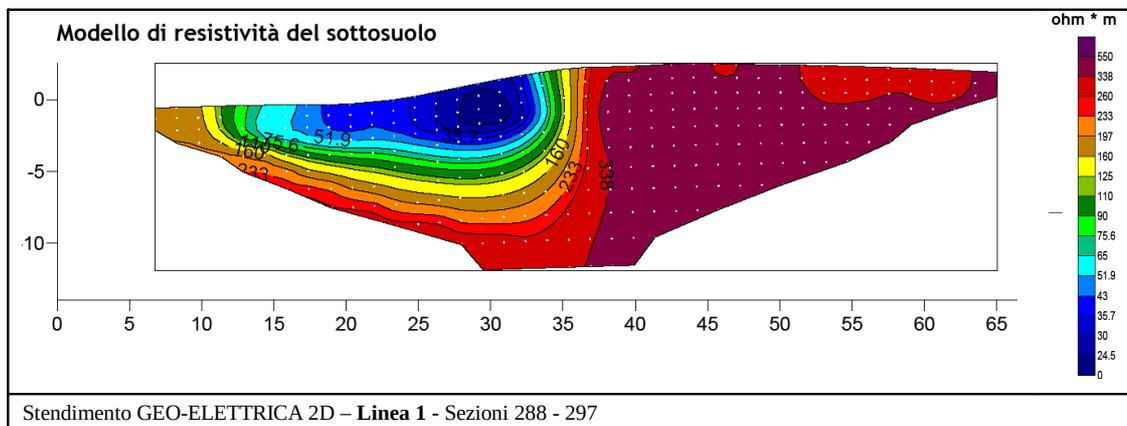
Tra la linea tratteggiata verde e la linea tratteggiata rossa un secondo strato caratterizzato da un materiale moderatamente addensato ( $V_p < 1500$  m/s – probabile materiale di copertura prevalentemente granulare o roccia fratturata/alterata);

Sotto la linea tratteggiata color rosso si registrano velocità superiori ai 1500 m/s. Queste sono verosimilmente attribuibili alla presenza dell'ammasso roccioso più o meno fratturato.

### 1.7.3.2 prospezione di tomografia elettrica

Il metodo si basa sulla misura della resistività del terreno inducendo delle correnti alternate a cicli di alcuni secondi con voltaggi variabili da 0,2 mV a 400 V e con intensità di corrente variabili da 0,001 mA a 50 mA. La procedura di acquisizione ed elaborazione è automatizzata da un software dedicato che gestisce la configurazione geometrica dello stendimento e la sequenza del gran numero di letture che vengono eseguite; impiegando dei cavi multicore che collegano i georesistivimetri si ottiene come risultato una pseudo-zonazione che viene poi, in sede di elaborazione dei dati, adattata all'elettro-stratigrafia reale ottenuta tramite varie tecniche di inversione e con l'ausilio di alcune tarature come sondaggi meccanici, prove penetrometriche o scavi geognostici.

Gli stendimenti sono stati eseguiti in particolare nella porzione a monte della strada attuale tra la sezioni 288 e 297 (stendimento ERT 1) in sovrapposizione con lo stendimento sismico 2 e nella porzione a monte della strada attuale tra la sezioni 100 e 125 (stendimento ERT 2), sono lunghi rispettivamente 69 e 46 metri e con un'interasse tra geofoni di 3 e 2 metri raggiungono profondità di prospezione di circa 10 m per la prima linea e poco più di 7 m per la linea due.



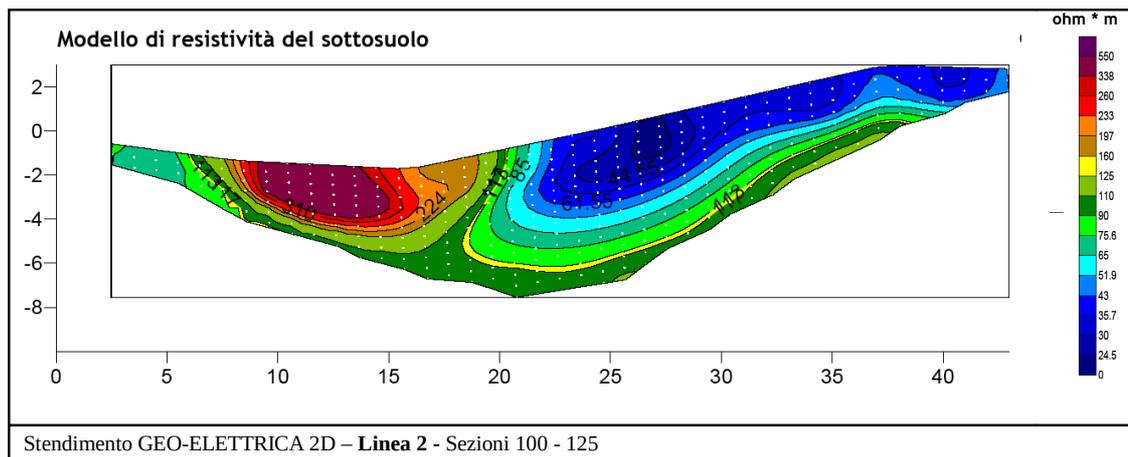
Il modello elettrico ottimizzato della **Linea Elettrica Nr. 1**, che restituisce la resistività reale del terreno, presenta un *range* di valori compresi tra pochi ohm \* m ed oltre 340 Ohm \* m.

In particolare la linea in esame, caratterizzata generalmente da valori di resistività superiori ai 110 – 125 Ohm\*m, presenta un'area maggiormente conduttiva tra la progressiva 12 m e 35 m dall'inizio dello stendimento, in cui sono stati riscontrati valori di resistività compresi tra i 110 e i 24 Ohm\*m.

Tale area maggiormente conduttiva trova riscontro anche nei risultati ottenuti nella Linea Sismica 1, eseguita in corrispondenza dello stendimento geoelettrico, dai quali

è stato possibile individuare un'area superficiale caratterizzata da bassi valori di velocità delle onde P.

Il materiale resistivo risulta verosimilmente correlabile ad un terreno granulare addensato o ad una roccia fortemente fratturata e/o alterata, mentre il materiale più conduttivo, grazie alle evidenze emerse dalle trincee esplorative eseguite in sito, risulta costituito da depositi coesivi di natura argilloso-limoso.



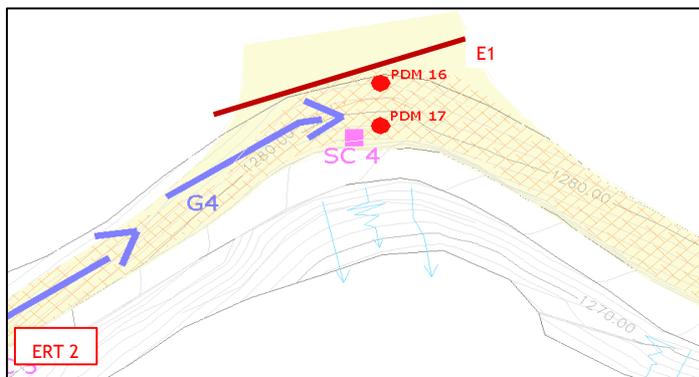
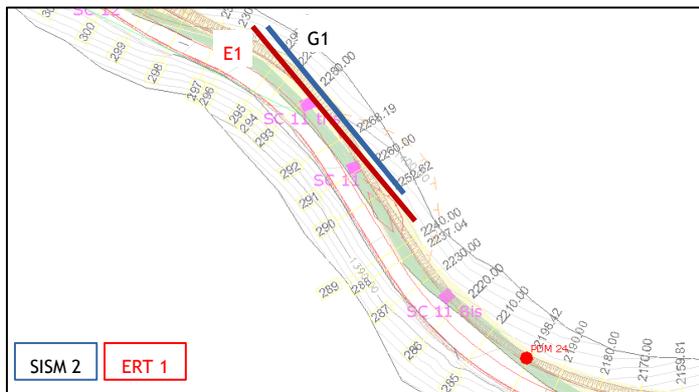
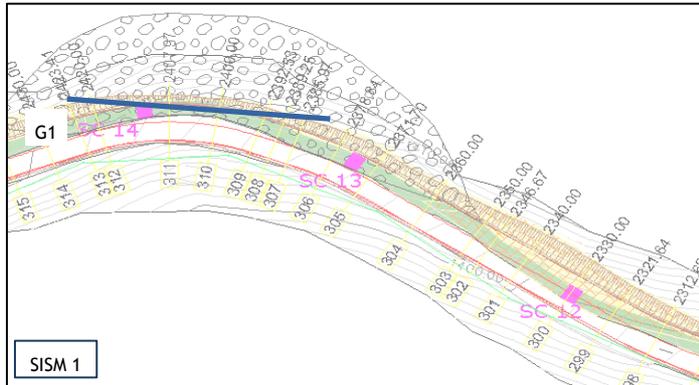
Il modello elettrico ottimizzato della **Linea Elettrica Nr. 2**, che restituisce la resistività reale del terreno, presenta un *range* di valori compresi tra pochi ohm \* m ed oltre 360 Ohm \* m.

In particolare la linea in esame, caratterizzata generalmente da valori di resistività inferiori ai 188 Ohm\*m, presenta un'area maggiormente resistiva tra la progressiva 8 m e 20 m dall'inizio dello stendimento, in cui sono stati riscontrati valori di resistività compresi tra i 188 e i 360 Ohm\*m.

Il materiale resistivo risulta verosimilmente correlabile ad un terreno granulare, mentre per quanto riguarda la restante porzione conduttiva della sezione, con buona probabilità è caratterizzata da depositi fini interessati da circolazione idrica localizzata.

Si fa notare, per una miglior lettura dei risultati, che la linea geoelettrica riportata in figura e rappresentata con progressive crescenti da sinistra verso destra, in campo è stata acquisita in direzione est-ovest, per questo motivo il punto a coordinate 0,0 dell'immagine seguente, rappresenta l'area più est della linea.

Ubicazione delle prove di prospezione sismica e geoelettrica



### 1.3.4 Modello geologico di sintesi per la progettazione

Le considerazioni dei paragrafi precedenti hanno permesso, in conformità del § 6.2.1 del D.M. 14/01/2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”, di identificare un *modello geologico del sito* tramite la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

Sono stati individuati alcune tipologie di depositi omogenei riassunte nei modelli geologici indicati nelle successive tabelle le cui unità stratigrafiche individuate all'interno dell'area in esame sono caratterizzate da parametri geotecnici medi tratti dalla bibliografia e dalle prove in sito eseguite.

MODELLO GEOLOGICO TIPO A						
VALIDO PER AREE CON STRATO SUPERIORE TIPO T3 E STRATO INFERIORE TIPO T1						
Strato	Deposito	profondità	$\gamma_m$	$c'_m$	$\phi'_m$	SMR
1	<i>Deposito con attività biologica vegetiva superiore (circa 20 cm) e successivamente composto da depositi prevalentemente coesivi con scheletro ghiaioso eterometrico</i>	0,00 – 2,00	1900	0,10	25	---
2	<i>Substrato calcareo indifferenziato poco alterato</i>	> 2,00	1900	---	---	62 Buono

MODELLO GEOLOGICO TIPO B						
VALIDO PER AREE CON STRATO SUPERIORE TIPO T3 E STRATO INFERIORE TIPO T2						
Strato	Deposito	profondità	$\gamma_m$	$c'_m$	$\phi'_m$	SMR
1	<i>Deposito con attività biologica vegetiva superiore (circa 20 cm) e successivamente composto da depositi prevalentemente coesivi con scheletro ghiaioso eterometrico</i>	0,00 – 2,00	1900	0,10	25	---
2	<i>Substrato calcareo indifferenziato fratturato</i>	> 2,00	1900	---	---	53 mediocre

MODELLO GEOLOGICO TIPO C						
VALIDO PER AREE CON STRATO SUPERIORE TIPO T3 E STRATO INFERIORE TIPO T3 VULCANITICO (SEZ. 127)						
Strato	Deposito	profondità	$\gamma_m$	$c'_m$	$\phi'_m$	SMR
1	<i>Deposito con attività biologica vegetiva superiore (circa 20 cm) e successivamente composto da depositi coesivi con scarso scheletro ghiaioso eterometrico</i>	0,00 – 2,00	1900	0,10	20	---
2	<i>Substrato vulcanoclastico</i>	> 2,00	1900	---	35	---

MODELLO GEOLOGICO TIPO D						
VALIDO PER AREE CON STRATO SUPERIORE TIPO T3 E STRATO INFERIORE TIPO T3 VULCANITICO (SEZ. 292)						
Strato	Deposito	profondità	$\gamma_m$	$c'_m$	$\phi'_m$	SMR
1	<i>Deposito coesivo argilloso</i>	0,00 – 2,00	1900	0,08	---	---
2	<i>Substrato vulcanoclastico</i>	> 2,00	1900	---	35	---

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

dove:

- $\gamma_m =$  peso di volume medio (daN/m<sup>3</sup>)
- $c'_m =$  coesione media (daN /cm<sup>2</sup>)
- $\varphi'_m =$  angolo di attrito medio (°)
- SMR = Slope Mass Rating e valutazione qualitativa restituita in base al rilevamento geomeccanico

## 1.8 VERIFICHE DI STABILITÀ

Al fine di verificare la stabilità globale in alcuni tratti considerati critici, sono state effettuate analisi di stabilità in alcune sezioni lungo il tracciato il cui profilo sarà modificato dagli interventi previsti. È stata eseguita pertanto una analisi per le sezioni 8, 127, 241, 280 e 292.

L'analisi di stabilità è stata condotta con il Metodo dell'Equilibrio Limite (LEM).

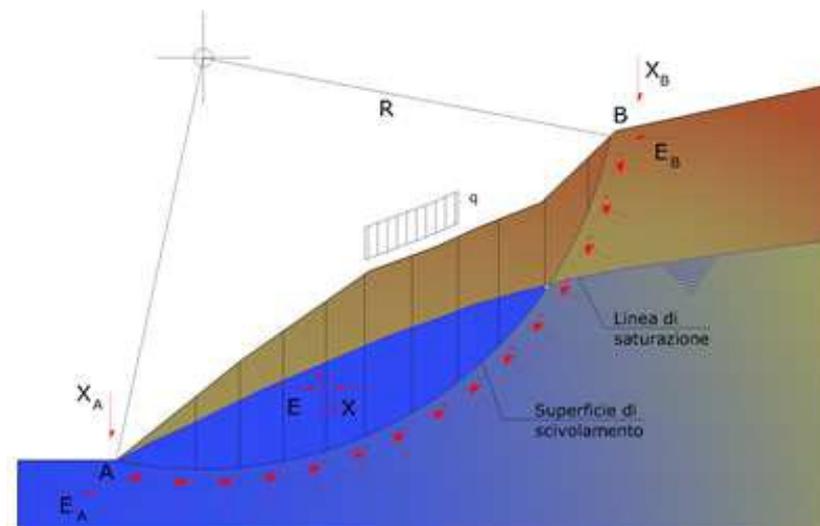
### **Metodo equilibrio limite (LEM)**

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 ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), 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  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;
- $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$ ;
- $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;
- $(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ .

Mentre 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  $N_i$  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.

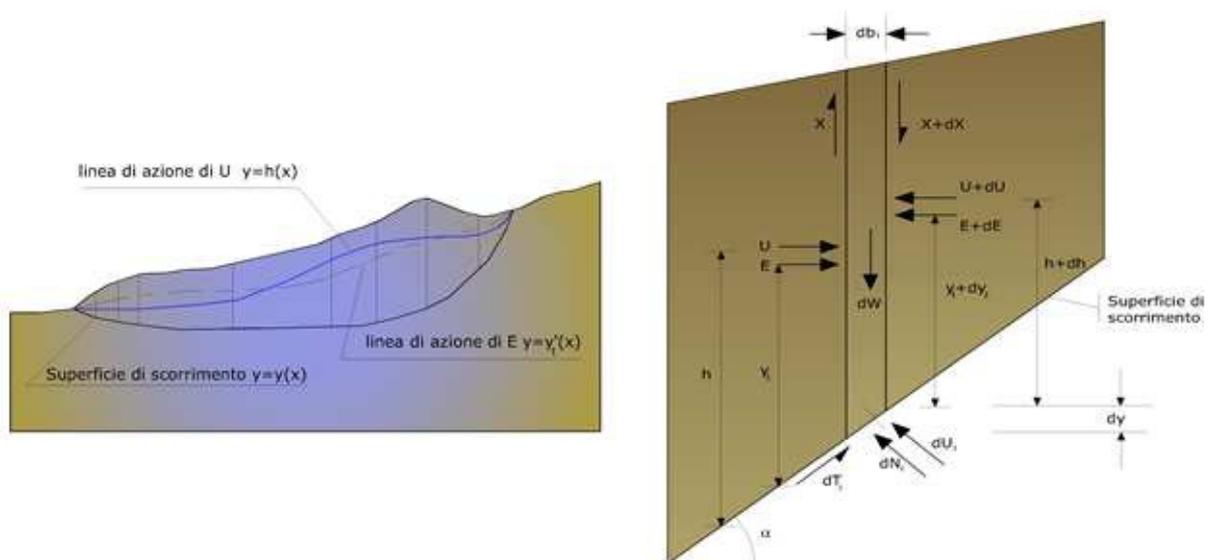
**Metodo di Morgenstern e Price (1965)**

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo  $X = \lambda f(x)E$ , dove  $\lambda$  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":

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



*Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Morgenster e Price e rappresentazione d'insieme dell'ammasso*

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.

### **Ricerca della superficie di scorrimento critica**

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengono ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia mxn e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Nel caso in esame, come premesso, sono state selezionate alcune sezioni di progetto lungo il tracciato considerate critiche.

Si riporta di seguito una tabella riepilogativa dove vengono riportati i fattori di sicurezza ricavati da ogni verifica di stabilità.

<b>Sezione</b>	<b>Fattore di sicurezza Fs</b>
8	1,05
127	0,52
241	0,59
280	0,84
292	0,32

## **CONCLUSIONI**

Le verifiche fatte, ricavate dalla ricerca cartografica e bibliografica; dalla presa visione degli elaborati inviati dal committente; dal rilevamento geologico e geomorfologico dell'area e dalle indagini in sito permettono di trarre le seguenti conclusioni:

1. Dal punto di vista **geomorfologico** gli elementi che hanno interagito alla genesi del versante di pertinenza sono molteplici, dagli eventi glaciali pleistocenici fino alle forme crionivali del quaternario, per giungere infine alla modellazione determinata dall'idrografia di superficie, agli eventi franosi e all'apporto antropico che hanno obliterato le forme precedenti. La stratigrafia riflette in parte tutte la complessa genesi dell'area, in particolare potrebbe risultare ancora attiva la modellazione determinata da fenomeni gravitativi, si sono individuate almeno tre aree che necessitano di approfondimenti in quanto le prime analisi hanno individuato una certa instabilità: ~~tra le sezioni 300 e 315~~ e le sezioni ~~258 e 262~~ dove compaiono numerosi massi superficiali instabili e gli scavi hanno individuato che proseguono anche in profondità; ~~tra le sezioni 286 e 295~~ dove da un'osservazione morfologica si individua una piccola contropendenza al bordo strada che ha spostato i muri di sostegno a secco e si osservano più a monte dei pali di sostegno della rete elettrica inclinati; ed infine ~~tra le sezioni 100 e 125~~ dove si osservano numerosi ruscellamenti concentrati e diffusi, risorgenze spontanee d'acqua non permanenti e la presenza costante di depositi di sottofondo vulcanoclastici alla base di depositi colluviali caotici.

2. Dal punto di vista **geologico** in base ai risultati delle prove in sito e in particolare in base all'osservazione stratigrafica diretta dei depositi sottostanti l'area di stretta pertinenza delle indagini si può affermare che l'area non presenta delle condizioni omogenee, in particolare il limite di due macroaree potrebbe essere posto circa a quota 1415 S.L.d.M., al di sopra si osservano zone con maggiore prevalenza di rocce compatte mentre al di sotto i depositi sono spesso più caotici e frequentemente alternati.

3. Dal punto di vista **idrogeologico** l'area non presenta una falda freatica vera e propria, ma possono facilmente essere rinvenute risorgenze d'acqua in livelli o canalizzazioni ben definite. La variabilità dei depositi che formano terreni con diversi

coefficienti di permeabilità sono elementi di potenziale dissesto che devono essere attentamente monitorati sia durante le fasi di cantiere sia a lavori ultimati. I ruscellamenti superficiali devono essere incanalati e deviati verso aree perimetrali della proprietà; i ruscellamenti profondi e le risorgenze d'acqua possono avvenire più facilmente in livelli o canalizzazioni concentrate al limite tra formazioni di depositi con differenti permeabilità in concomitanza con eventi meteorici intensi e brevi come anche durante le fasi primaverili di scioglimento delle nevi che saturano per lunghi periodi i terreni.

4. Per quanto riguarda stabilità dei versanti sono stati analizzati i tratti a monte in relazione alle opere di allargamento e per alcune sezioni specifiche (sez. 8, 127, 241, 280, 292) sono state eseguite delle verifiche di stabilità dei nuovi fronti di scavo con un programma dedicato. In aggiunta a quanto riscontrato con le prime indagini inoltre, in alcune zone particolari, sono state eseguite alcune indagini integrative (tomografie sismiche ed elettriche) mirate alla verifica in profondità della situazione geologica relativamente alla possibilità di destabilizzare con gli scavi di sbancamento delle aree potenzialmente franose.

- Zona tra sezioni 305 e 314, versante esteso, regolare con numerosi massi subaffioranti; l'analisi tomografica sismica 1 restituisce una sismostratigrafia che evidenzia come i depositi superficiali proseguono fino a circa 2,0 m di profondità con caratteristiche di scarso addensamento e di natura prevalentemente argillosa, in cui si distinguono elementi a blocchi di grosse dimensioni. Al di sotto della profondità di 2,0 m fino a circa 7,0 / 8,0 m si osserva un deposito moderatamente addensato, che potrebbe essere interpretato anche come una roccia molto fratturata. Infine, oltre tale quota si registrano velocità superiori a 1500 m/s corrispondenti al substrato roccioso poco o non alterato. L'area, quindi soggetta ad un taglio del versante per un'altezza di circa 4,0 m, deve essere sostenuta con delle opere permanenti corredate da drenaggio a tergo ed un disaggio del versante a monte dei blocchi più instabili; per condizioni geomorfologiche e stratigrafiche simili inoltre si consigliano simili opere di sostegno nell'area tra le sezioni 258 e 262.
- Zona tra sezioni 286 e 295, area con numerose indicazioni

geomorfologiche di dissesto, quali pali della luce inclinati, piccole contropendenze e muretti a secco spinti in avanti rispetto al normale andamento nelle aree limitrofe. Nel sito sono state eseguite due analisi aggiuntive, tomografica sismica e geoelettrica, in particolare la sismica 2 e la geoelettrica 1. Per entrambe le analisi si osserva un'area specifica che va da 10 a 35 metri dall'inizio delle indagini e per una profondità di circa 5 metri, costituita da depositi coesivi e con scarse caratteristiche geomeccaniche come anche visibile dallo scavo 11. A profondità maggiori si riscontra il substrato vulcanoclastico compatto, assimilabile (anche nel modello geologico) ad un deposito granulare ben addensato ed infine a circa 15 m si osserva un cambio della sismo-stratigrafia correlabile con i depositi calcarei osservati anche nel precedente stendimento. Dalla verifica di stabilità eseguita a lungo termine nella sezione 292 risulta che il fronte di scavo dell'altezza di circa 4,0 m necessita di opere di sostegno permanenti e corredate da drenaggi a tergo; dato che il taglio del versante a monte risulta con pendenze relativamente blande, a solo titolo esemplificativo le stabilizzazioni potrebbero essere tipo gabbionate.

- ~~Zona tra sezioni 111 e 118~~, area con numerose indicazioni geomorfologiche di dissesto, quali ruscellamenti diffusi nell'impluvio a valle della strada e la presenza, indicata da testimonianze raccolte sul posto, di una sorgente spontanea d'acqua poco a valle del piano stradale. Nel sito è stato eseguito uno stendimento di tipo geoelettrico che indica la presenza di materiale prevalentemente coesivo per quasi tutta la porzione indagata, mentre nelle progressive tra 7 a 18 metri si osserva un deposito, limitato a 4 metri di profondità, di natura prevalentemente granulare che è stato osservato direttamente nello scavo 4. Anche in questo caso dalla verifica di stabilità a lungo termine eseguita in corrispondenza della sezione 127, risulta che l'area necessita di opere di sostegno permanenti e corredate da drenaggi a tergo. Dato che il taglio del versante a monte risulta con pendenze relativamente blande si consiglia di prendere in considerazione a titolo esemplificativo la tipologia a gabbionate.
- ~~Zona del primo e secondo tornante, dell'ingresso di fronte al Chiosco~~

~~Alpino e del tratto tra le sezioni 169 e 175~~ le aree sono caratterizzate da un fronte di scavo elevato, in media di circa 9,0 metri e dalla presenza di roccia che nel caso del primo tornante e dell'area di fronte al Chiosco Alpino risulta poco fratturata e nel caso del secondo tornante e del tratto tra le sezioni 169 e 175 risulta più intensamente fratturata. Su tutte le aree indicate si consiglia di prevedere delle opere di contenimento da caduta massi quali reti e chiodature a prevenire fenomeni sporadici di crolli di elementi rocciosi prevalentemente di piccole dimensioni.

- ~~Zona del tratto tra le sezioni 15 e 22~~: l'area è caratterizzata da quanto riscontrato nello scavo 1 che pur essendo previsto un piccolo taglio di versante di soli 2 metri circa, restituisce una stratigrafia con depositi argillosi che devono essere necessariamente sostenuti a lungo termine con piccole opere quali ad esempio a gabbionate o terre armate. Potrebbero rendersi necessari tali piccoli interventi anche nelle aree dove il substrato roccioso è costituito da vulcanite che a lungo termine tende a fenomeni di disfacimento se esposto ad agenti atmosferici quali acqua, neve e cicli gelo disgelo in modo diretto; le aree dove gli scavi metteranno in luce tali depositi sono nello specifico nei tratti tra le sezioni 99 e 112; tra le sezioni 115 e 131 e tra le sezioni 298 e 304.
- ~~Alcune zone non necessitano di opere di sostegno permanenti~~ ma in fase di scavo si rendono necessarie alcune azioni sia per rendere sicuro il fronte di scavo e l'area durante le lavorazioni, sia per rendere sicura il versante e la strada con opere di messa in sicurezza che devono essere periodicamente ripetute come ordinaria manutenzione. In particolare nei tratti dove i tagli del versante sono di circa 2,0 metri di altezza si rendono necessari disaggi di elementi lapidei instabili e riprofilature delle porzioni di terreno vegetale o dei depositi coesivi che eventualmente si presentano a cappello delle pareti rocciose o sui versanti a monte. Se i depositi di tali pareti derivanti dagli scavi risultano particolarmente fratturate o con giaciture a franapoggio si rendono necessarie aggiunte di reti per trattenere sporadici crolli di elementi lapidei anche se limitati alle aree superiori del profilo. Aree specifiche dove si possono trovare condizioni di tal genere sono per

**Dott. Paolo Cornale**  
**Geotecnica e Ingegneria strutturale**

esempio tra le tra le sezioni 24 e 50, tra le sezioni 136 e 148; tra le sezioni 160 e 168 ed infine tra le sezioni 189 e 212 sui tratti prima del secondo tornante. Nel tratto della strada oltre la quota 1415 S.L.d.M. inoltre, la maggior parte delle zone rientrano nella categoria ritenuta stabile per la presenza di roccia compatta e con giaciture favorevoli alla stabilità generale, ma comunque si devono tenere presenti i relativi distinguo in relazione all'altezza dello scasso stradale e delle giaciture.

5. Sulla base dei dettagli contenuti negli elaborati forniti dal committente, si può confermare la fattibilità delle opere previste ~~con le seguenti prescrizioni:~~

- non effettuare alcun movimento terra senza prima avvertire la Direzione Lavori che valuterà se è necessaria anche la presenza del geologo;
- contattare tempestivamente lo scrivente per gli opportuni accertamenti nel caso in cui:

venissero riscontrate delle evidenze stratigrafiche diverse da quelle ipotizzate nella presente relazione;

le lavorazioni fossero eseguite in periodi piovosi e si riscontrasse presenza d'acqua in un'area inerente la zona di impronta della struttura.

Vicenza, 10 dicembre 2014

**Dott. Geol. Paolo Cornale**

Allegati: Tabulati e grafici delle prove in sito  
Certificati delle prove di laboratorio

Ufficio: Strada di Saviabona, 278/1A - 36100 VICENZA, tel. 0444/304091 fax 0444/313136  
Abitazione: Strada di Costabissara, 17/A, 36100 VICENZA

Rif. 14C019 pag. 82 di 82

REGIONE DEL VENETO



VI.ABILITA' S.p.A.



PROVINCIA DI VICENZA



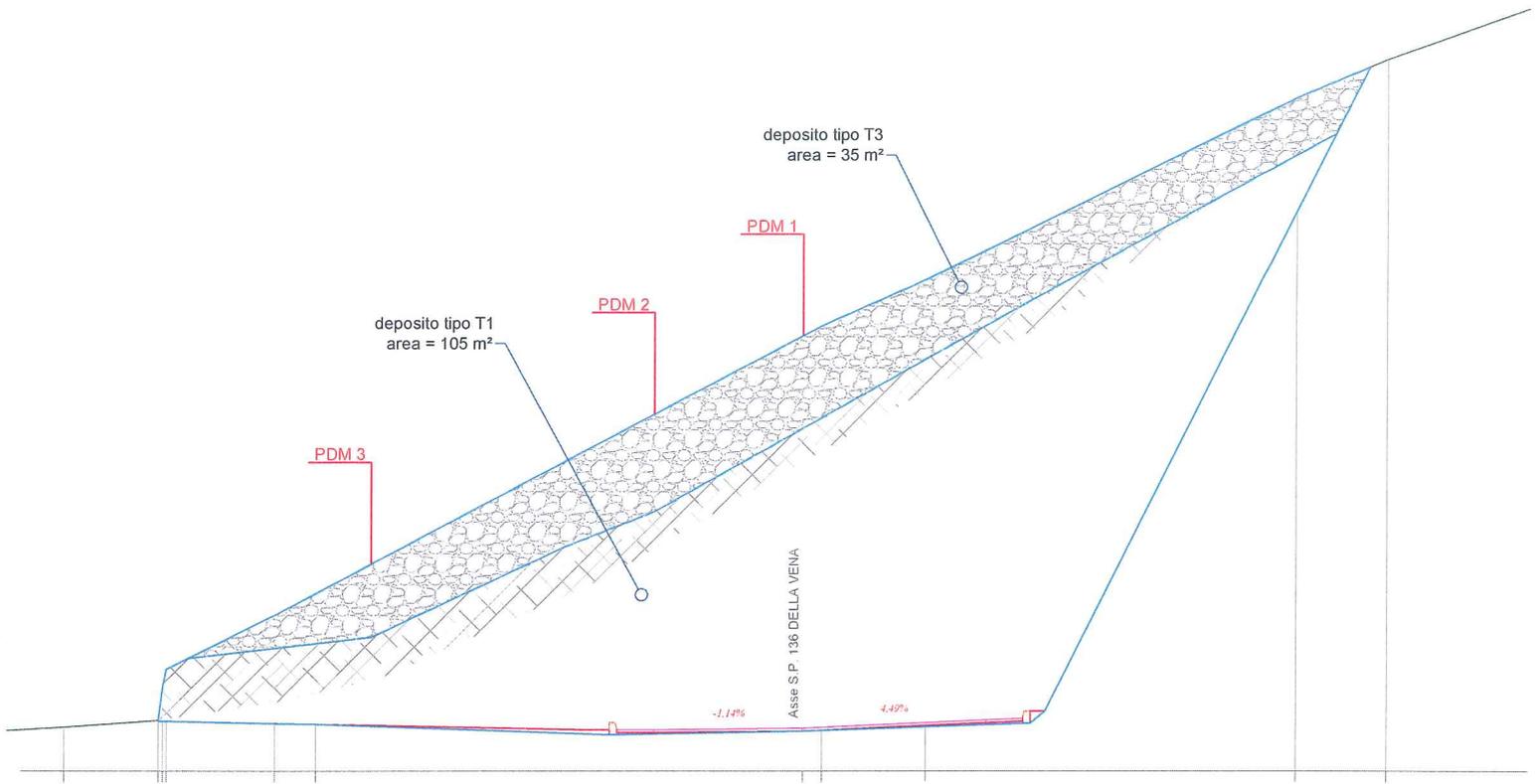
## S.P. 136 della Vena dal Km 0+300 al Km 3+800

### *Comune di Tonezza del Cimone Provincia di Vicenza*

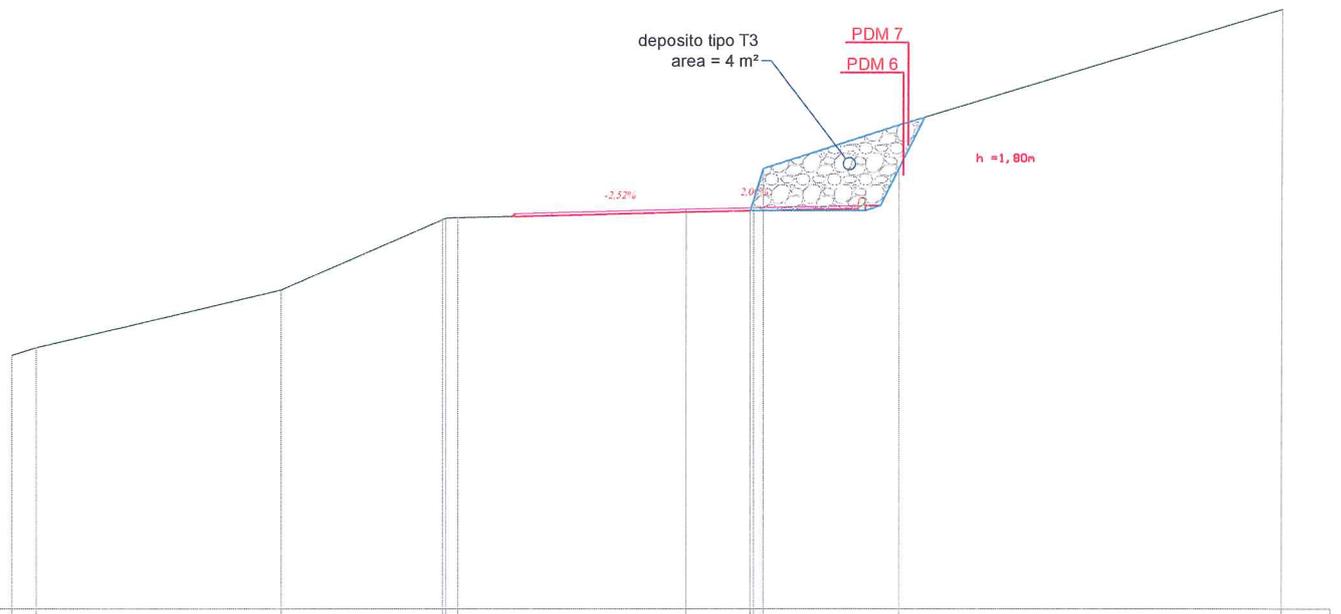
### ISTANZA PER IL RILASCIO DEL PARERE VINCOLANTE ALL'ESECUZIONE DEL SERVIZIO DI BONIFICA BELLICA

oggetto	<b>ALLEGATI</b> alla Relazione Geologica Sezioni tipologiche	
Il Direttore dell'Area Tecnica Dott. Ing. Sandro Morandotti	Amministratore Unico di Vi.abilità S.p.A. Dott.ssa Cinzia Giaretta	Il Dirigente del Settore Tecnico Operativo Dott. Ing. Fabio Zeni
progettazione  Dott. Ing. Stefano Mottin	responsabile dei lavori (D.Lgs. 81/08)  Dott. Ing. Fabio Zeni	elaborato
collaborazione  Dott. Ing. Marco Salvatore Dott. Pierluigi Chenet geom. Marco Nicolini geom. Massimiliano Sorzato geom. Marco Vincenzi geom. Lucio Pinaffo geom. Paola Franco	coordinatore per la progettazione (D.Lgs. 81/08)  Dott. Ing. Stefano Mottin	Data  <b>Agosto 2016</b>
direzione lavori	coordinatore per l'esecuzione dei lavori (D.Lgs. 81/08)  geom. Faustino De Boni	aggiornamento/i data e numero  scala/e  commessa/e  <b>02/2014</b>
eseguito	controllato	codice elaborato  <b>STO022014BB</b>
Vi. abilità S.p.A. Via L.L. Zamenhof, 829 36100 – Vicenza - Italy	Tel. +39 0444 385711 Fax +39 0444 385799 E – mail <a href="mailto:info@vi-abilita.it">info@vi-abilita.it</a> Web site <a href="http://www.vi-abilita.it">www.vi-abilita.it</a>	Capitale sociale: 5.050.000,00 euro Partita IVA: 02928200241 Registro Imprese di Vicenza: 02928200241 R:E:A: di Vicenza: n. 285329
QUESTO DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO IN TUTTO O IN PARTE SENZA IL CONSENSO SCRITTO DI VI.ABILITA' S.p.A. (Legge 22.04.1941, n. 633 – art. 2575 E SEGG. C.C.)		

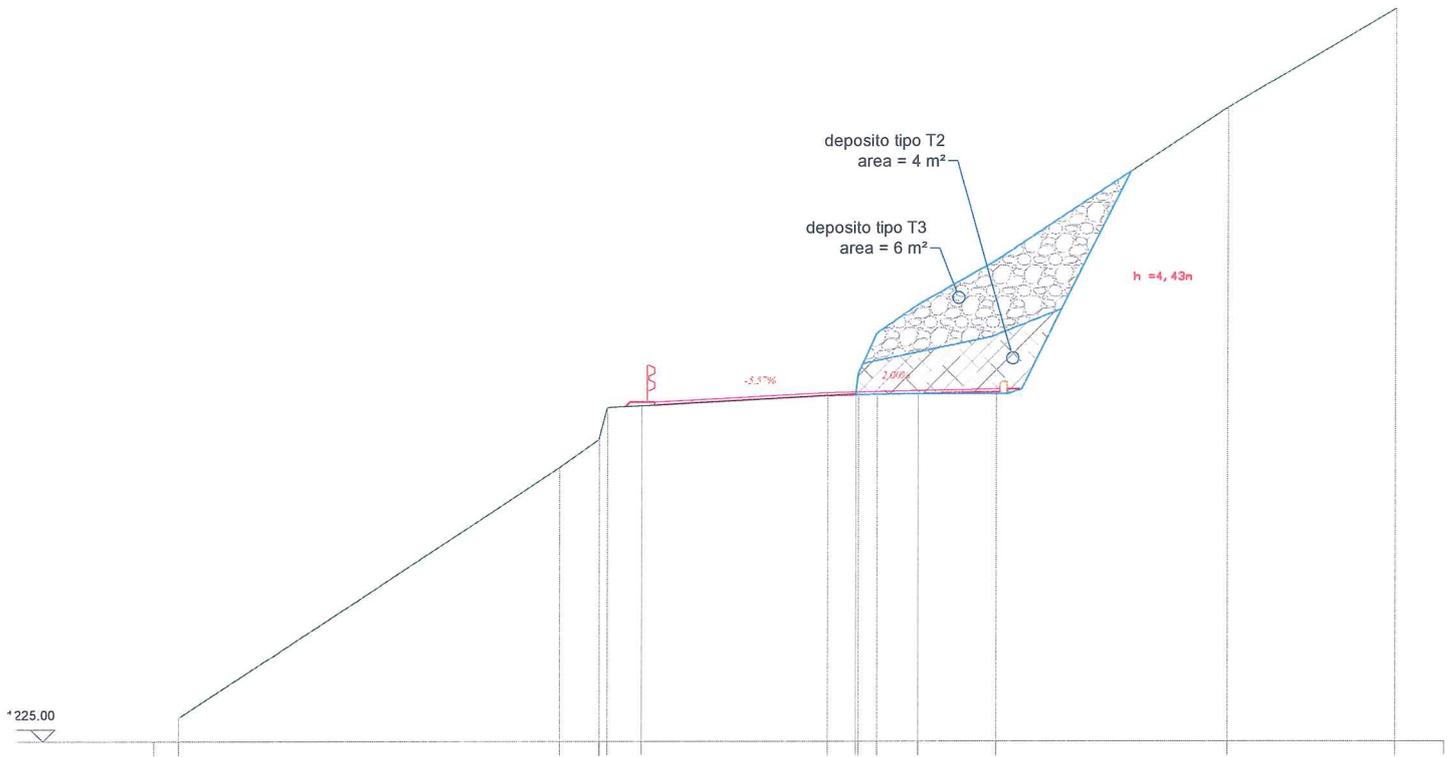
# Sez. 8



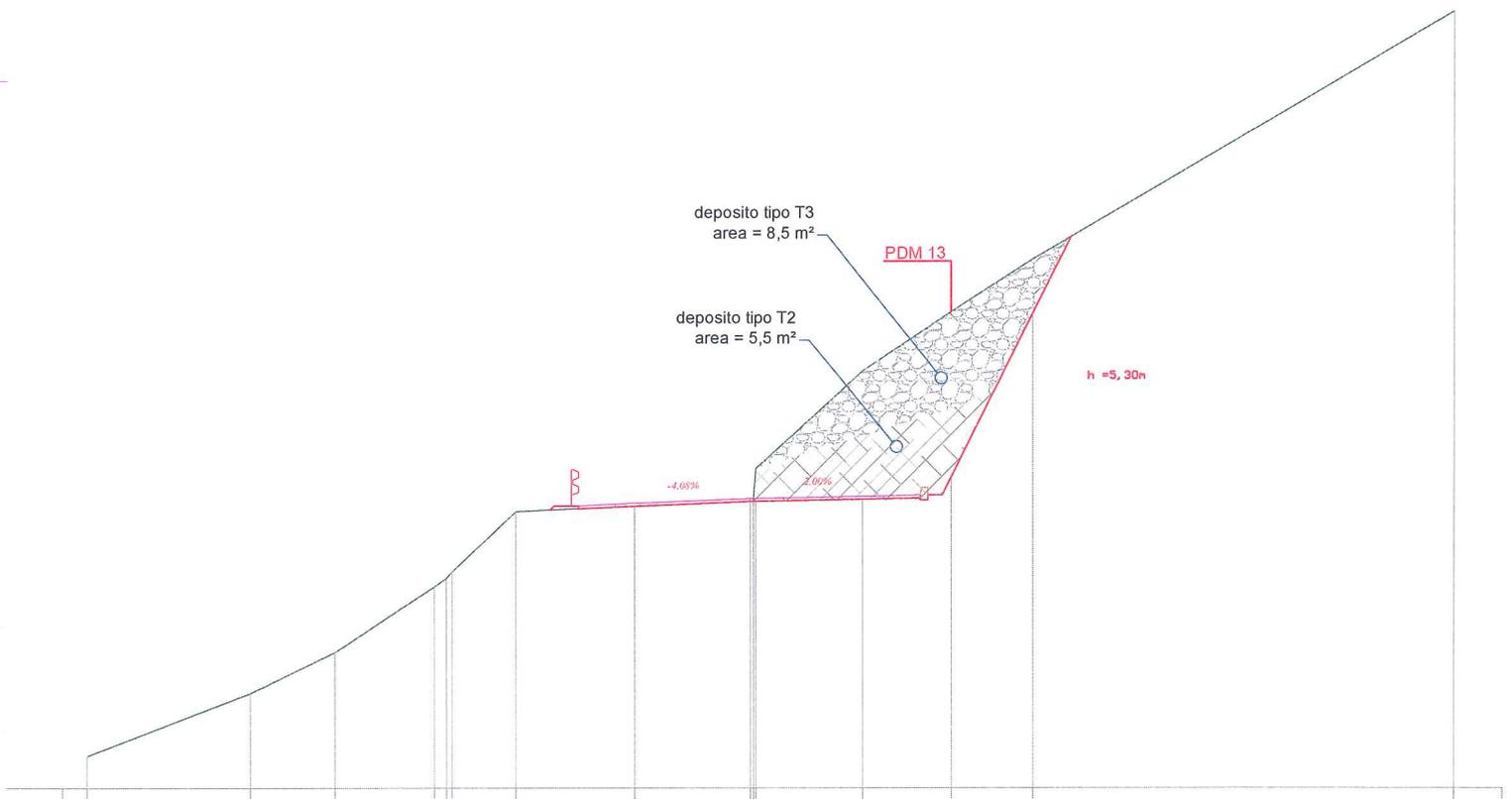
# Sez. 15



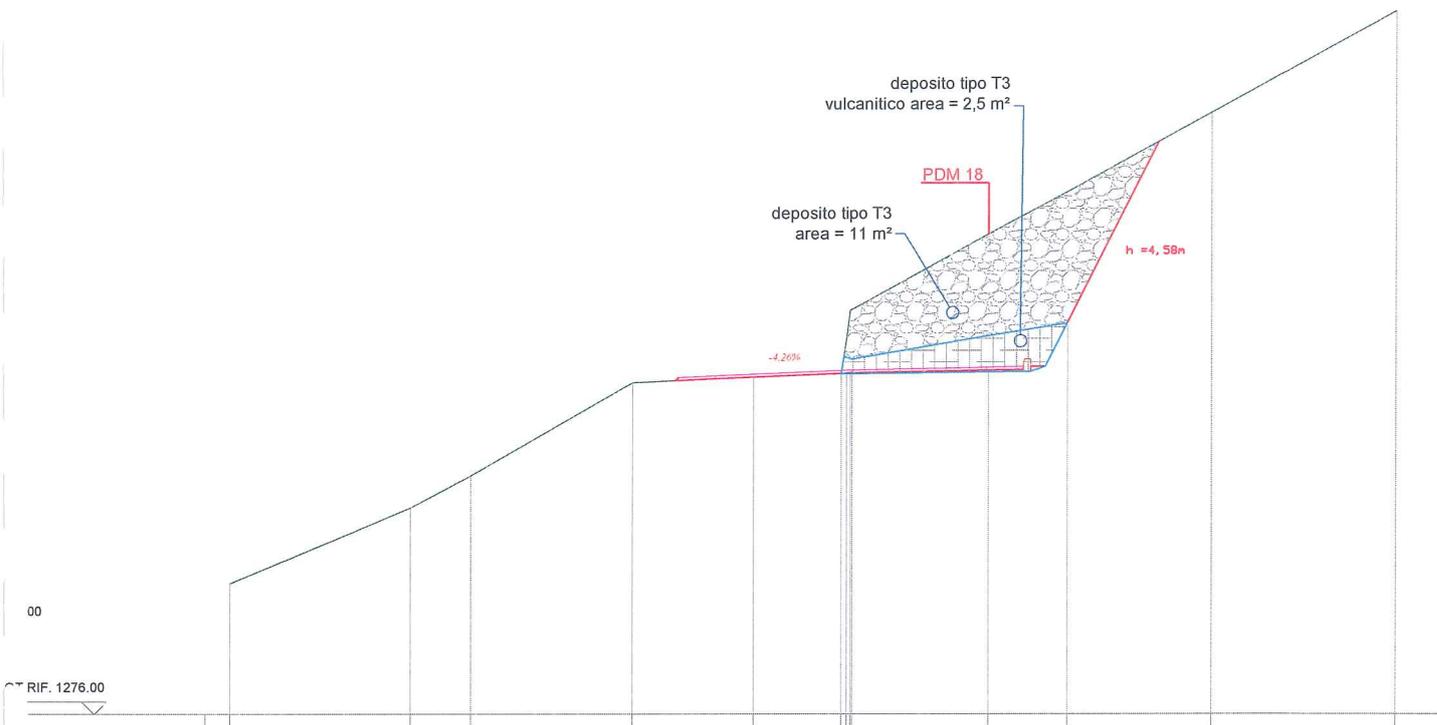
# Sez. 42



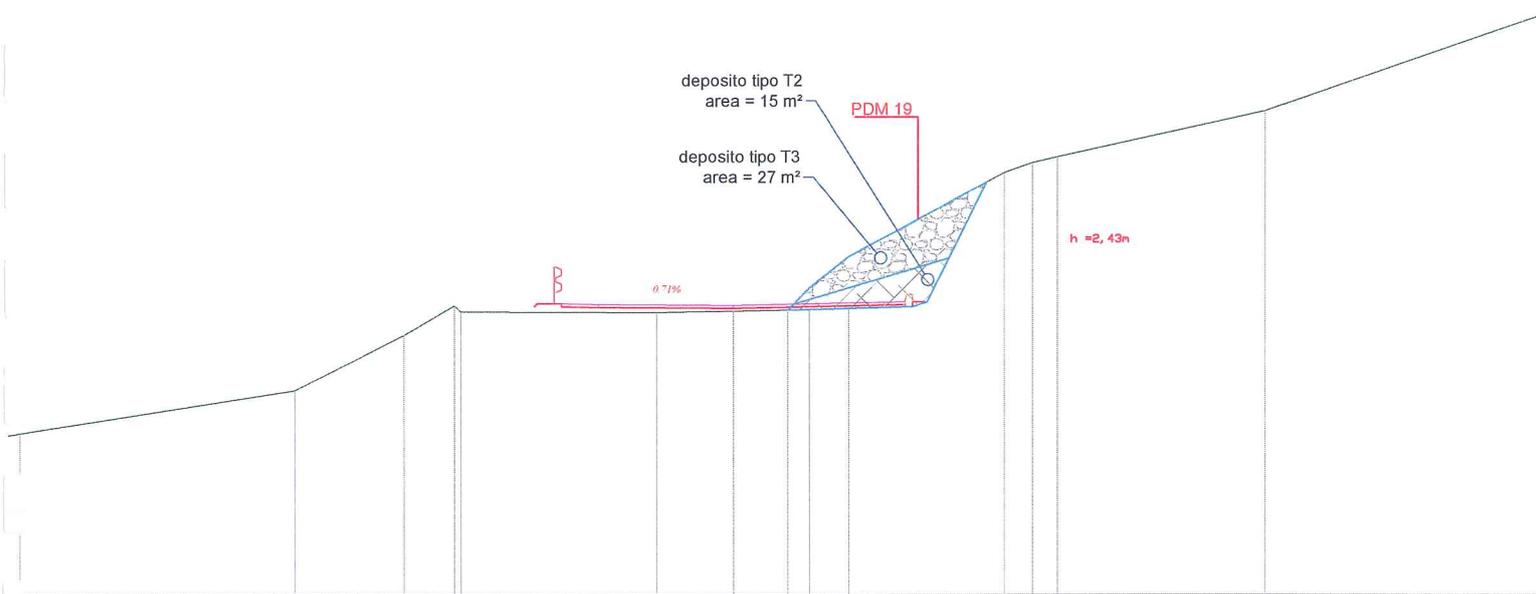
# Sez. 82



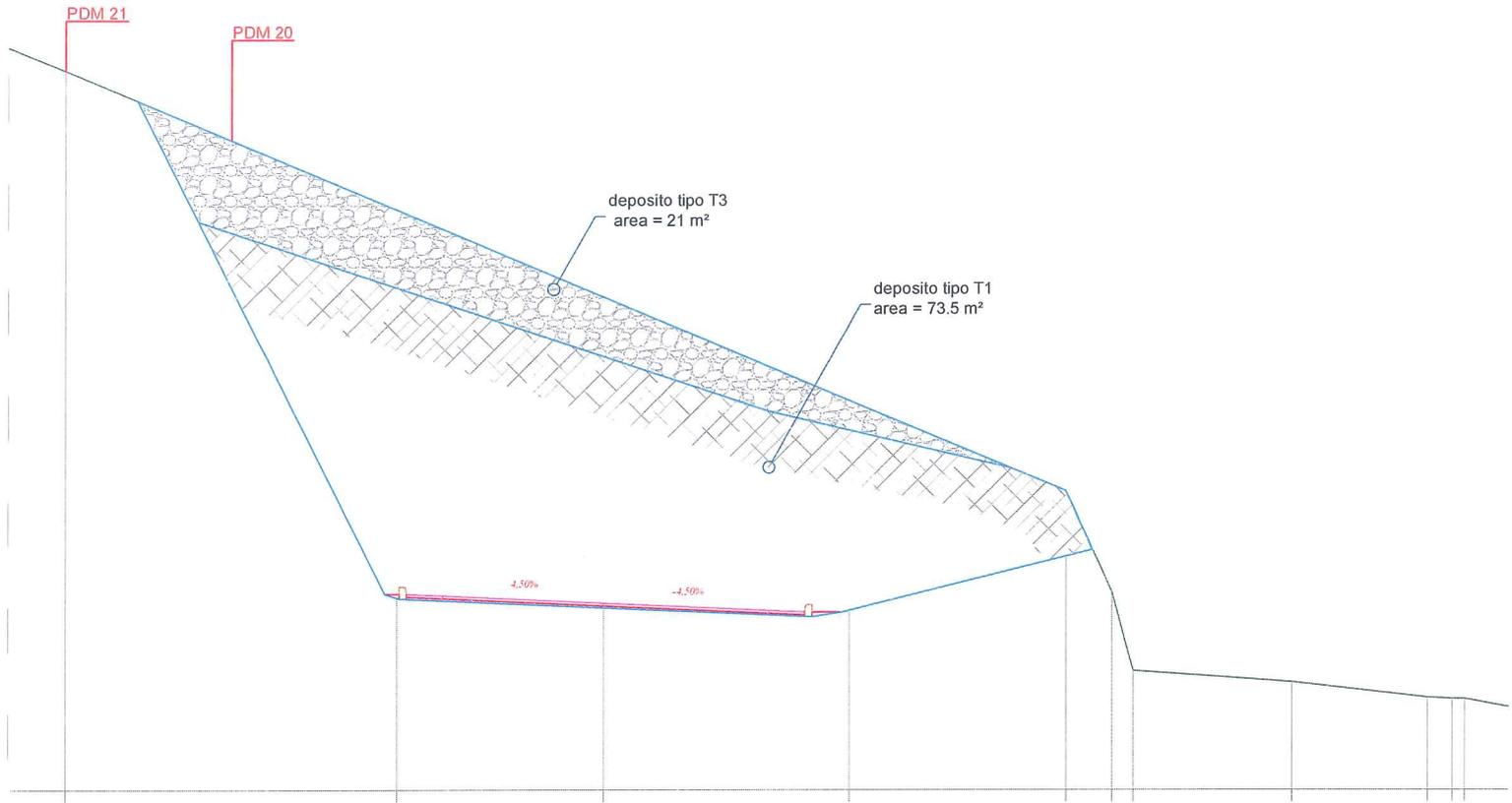
# Sez. 127



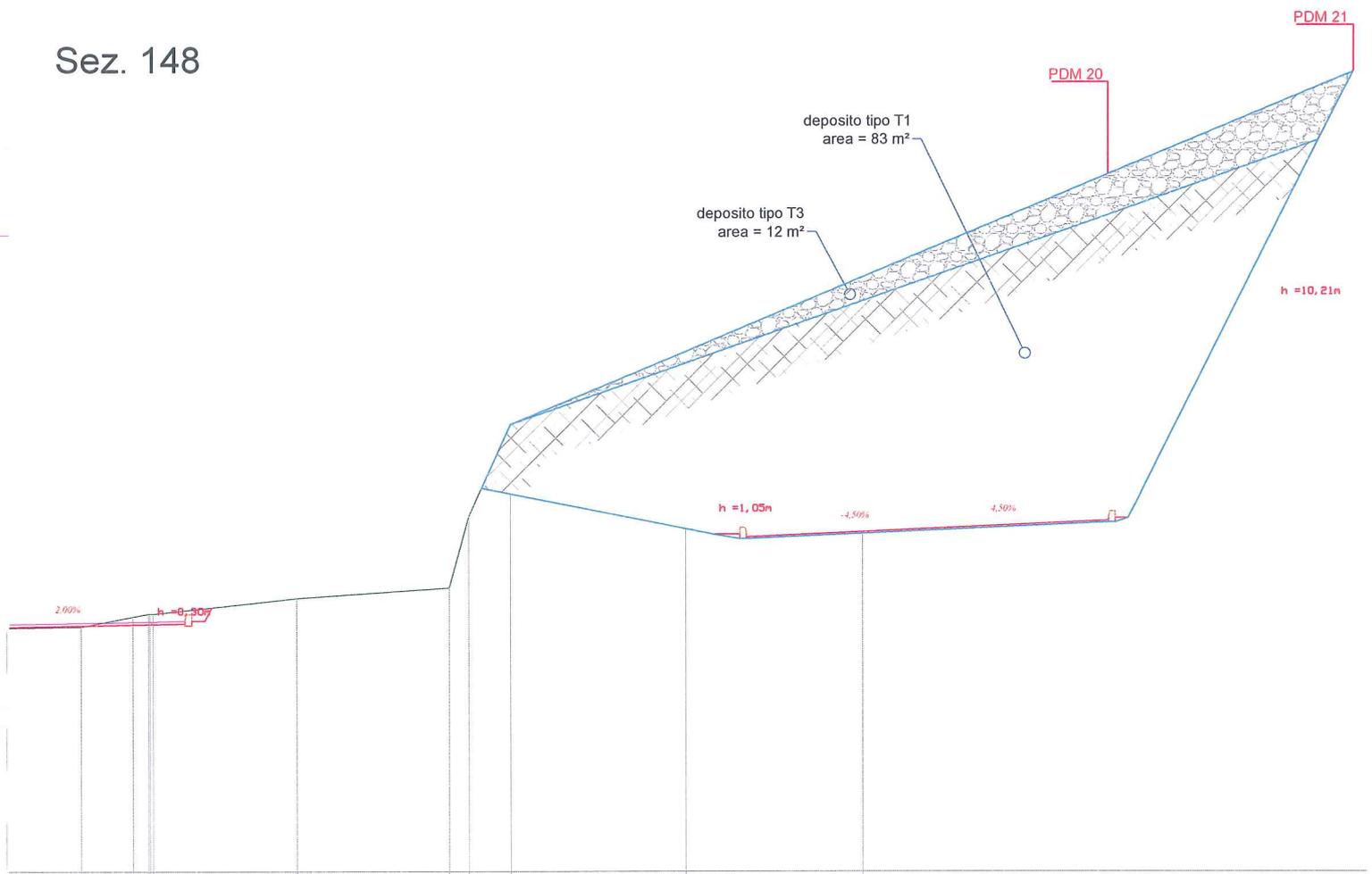
# Sez. 139



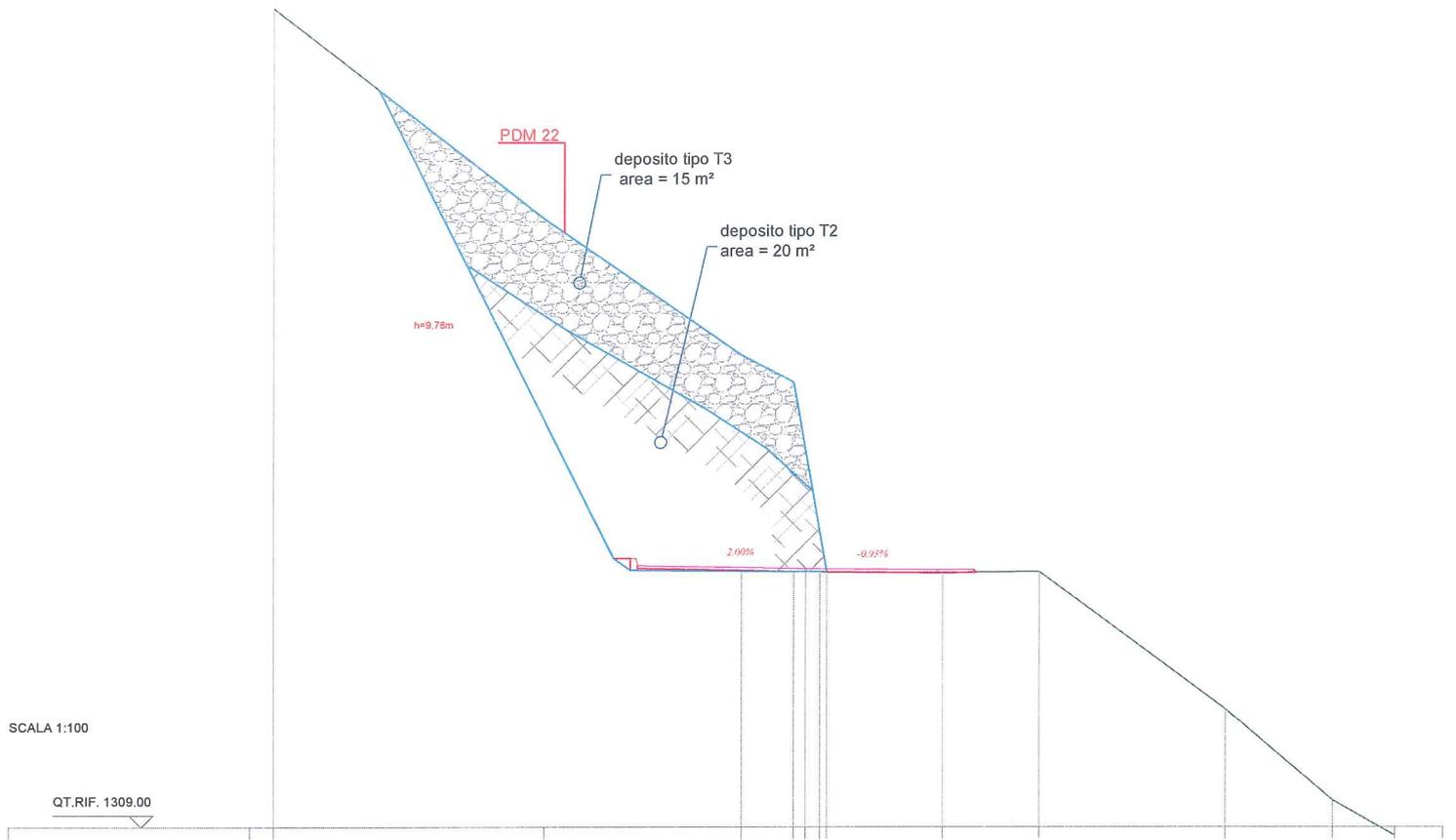
# Sez. 153



# Sez. 148



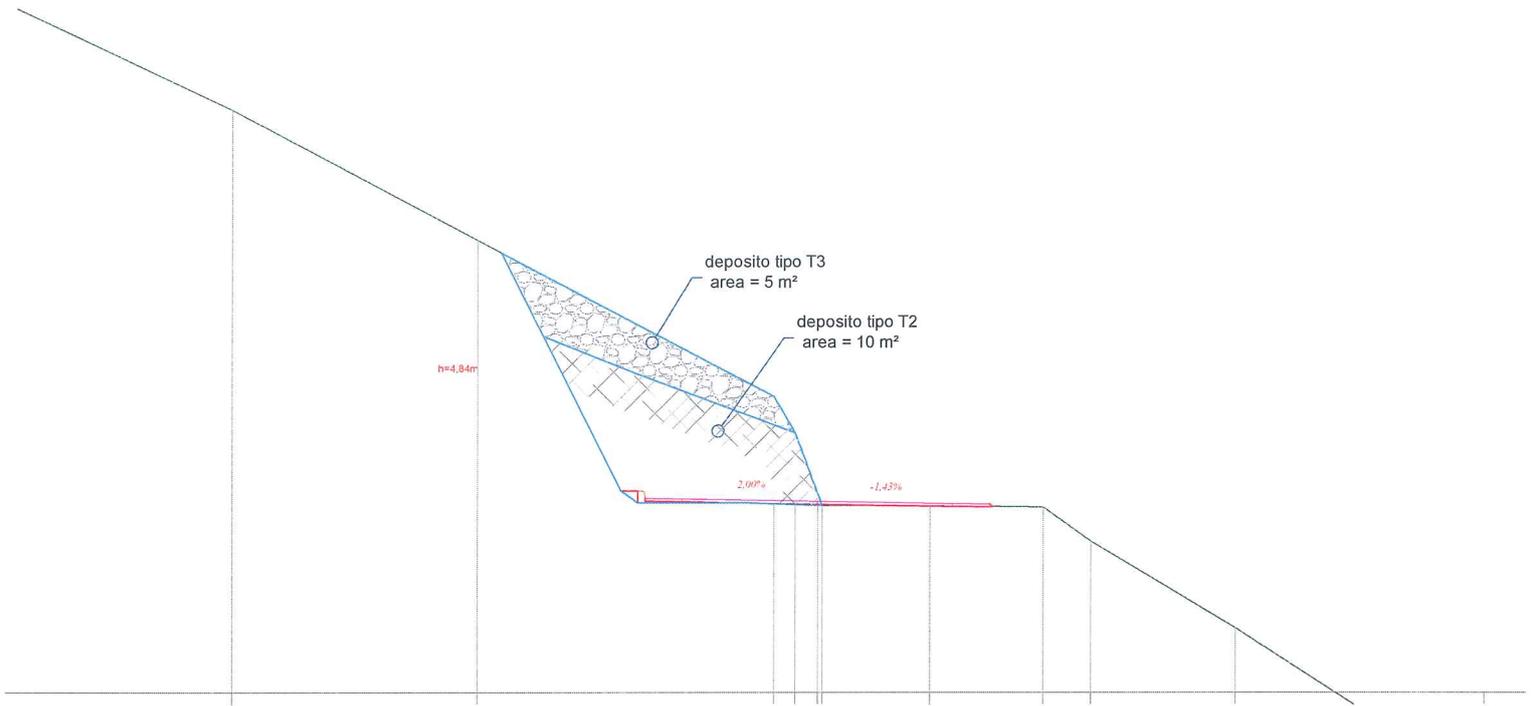
# Sez. 172



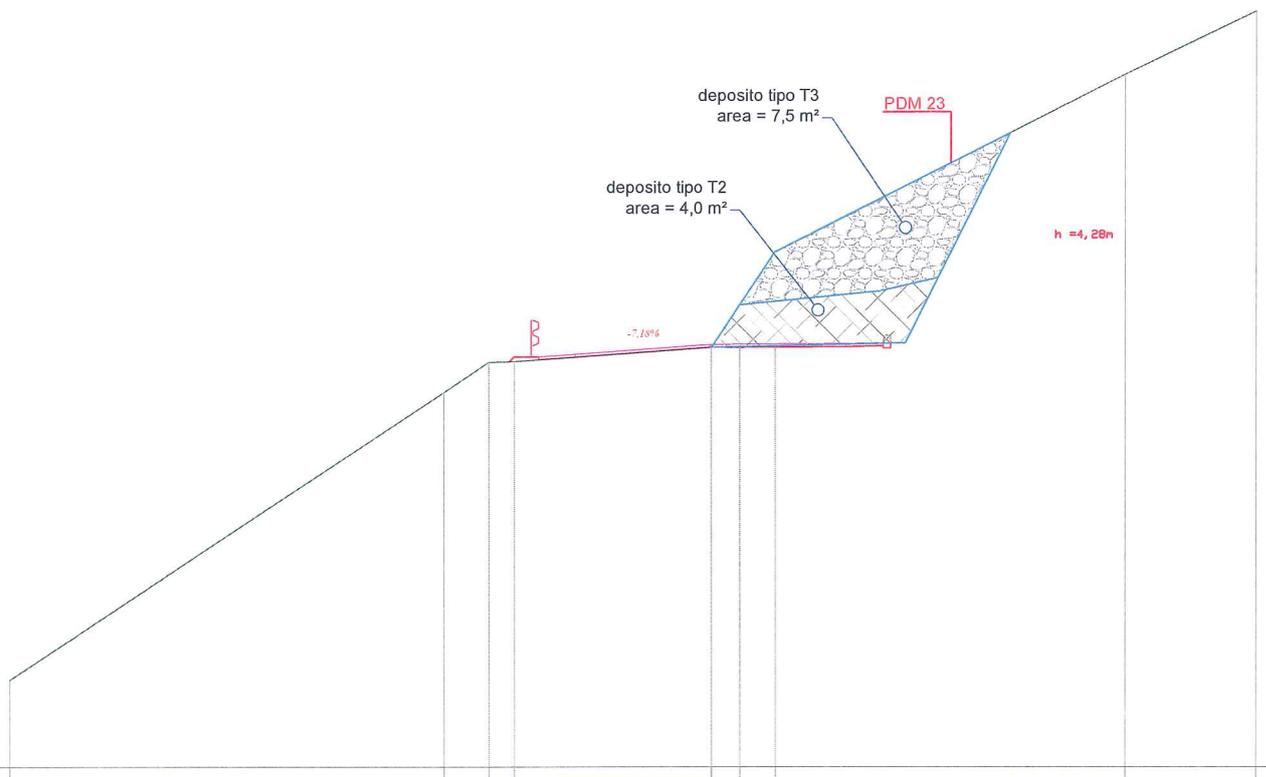
# Sez. 215 Secondo tornate



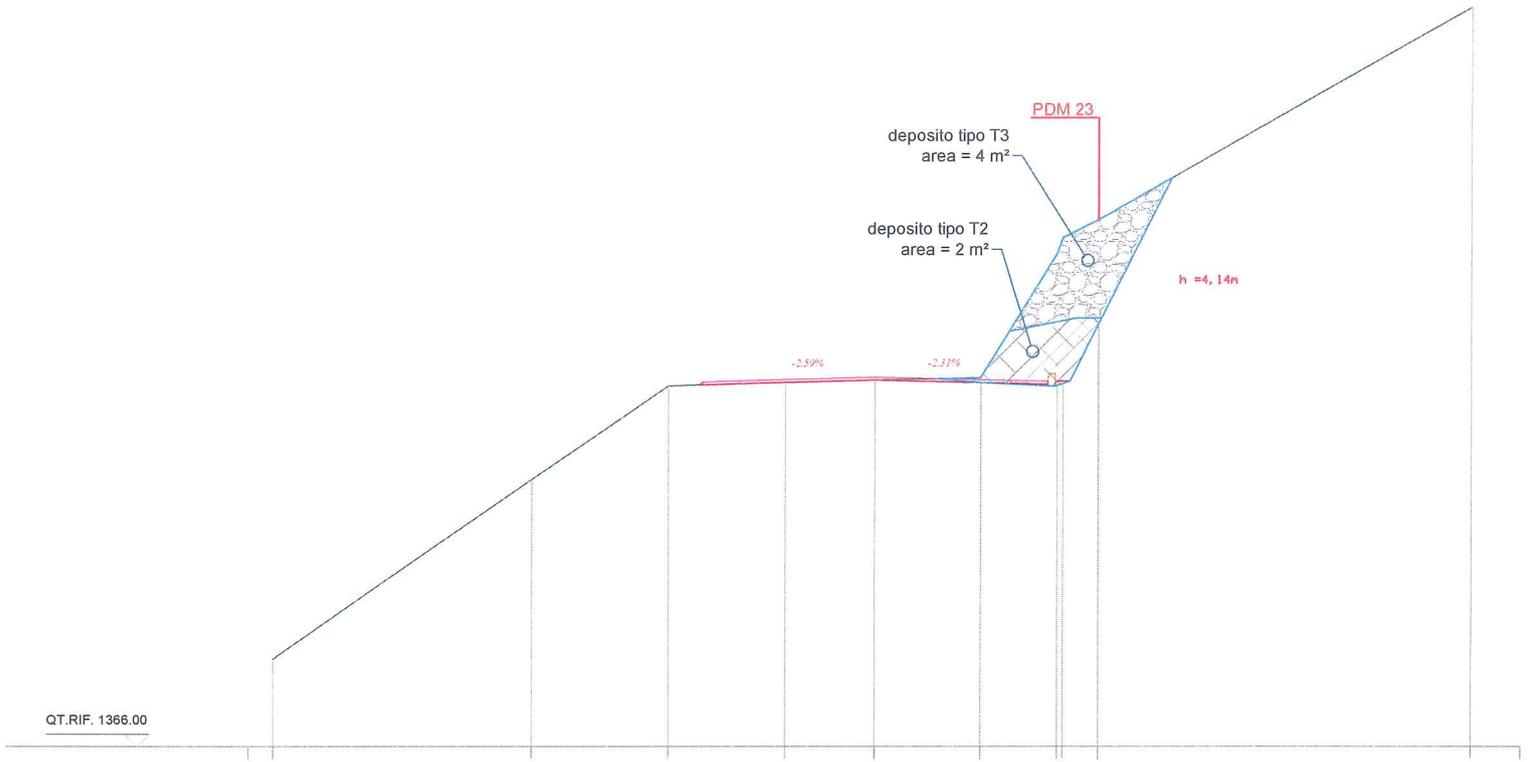
# Sez. 202



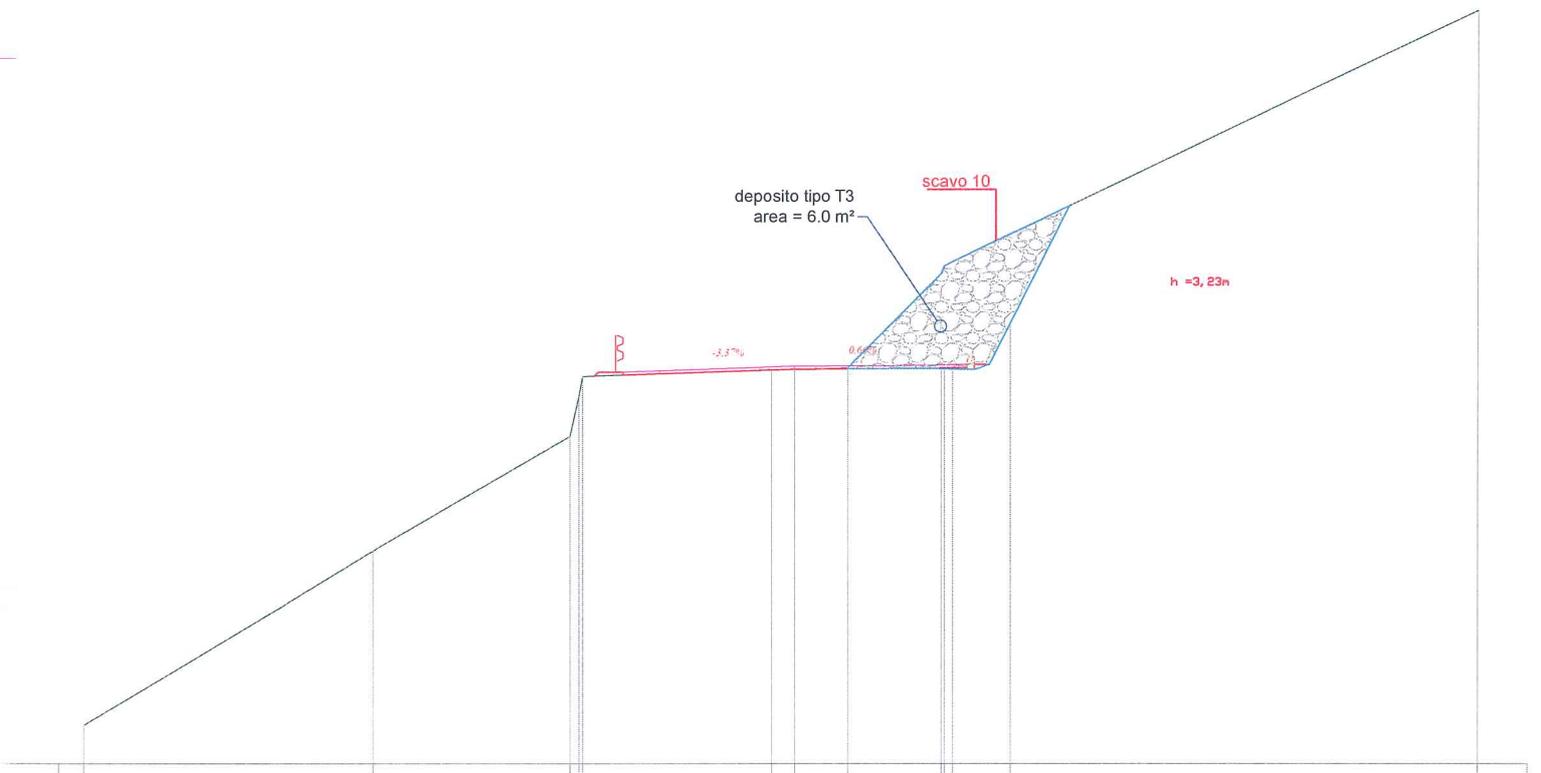
# Sez. 241



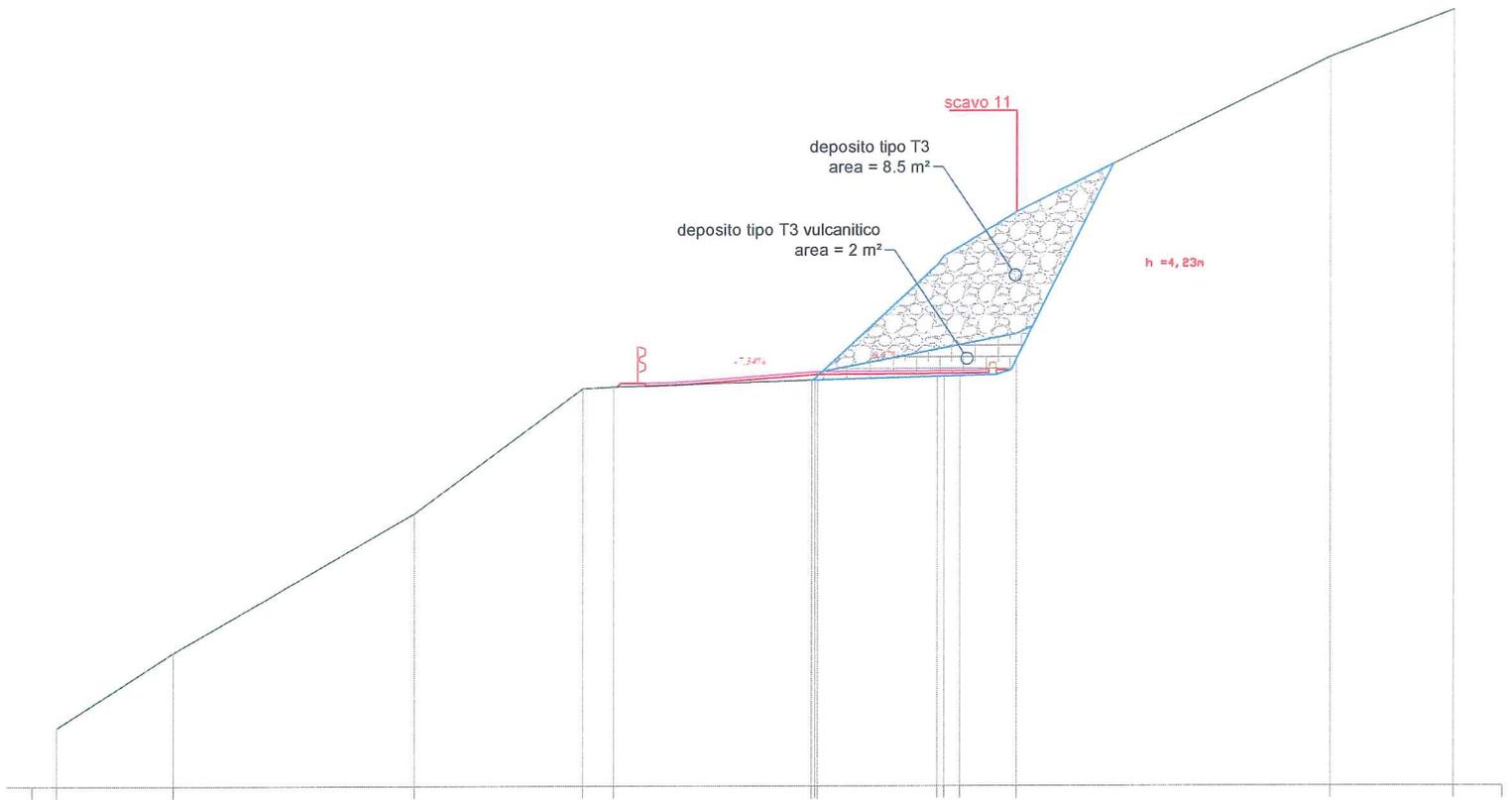
# Sez. 260



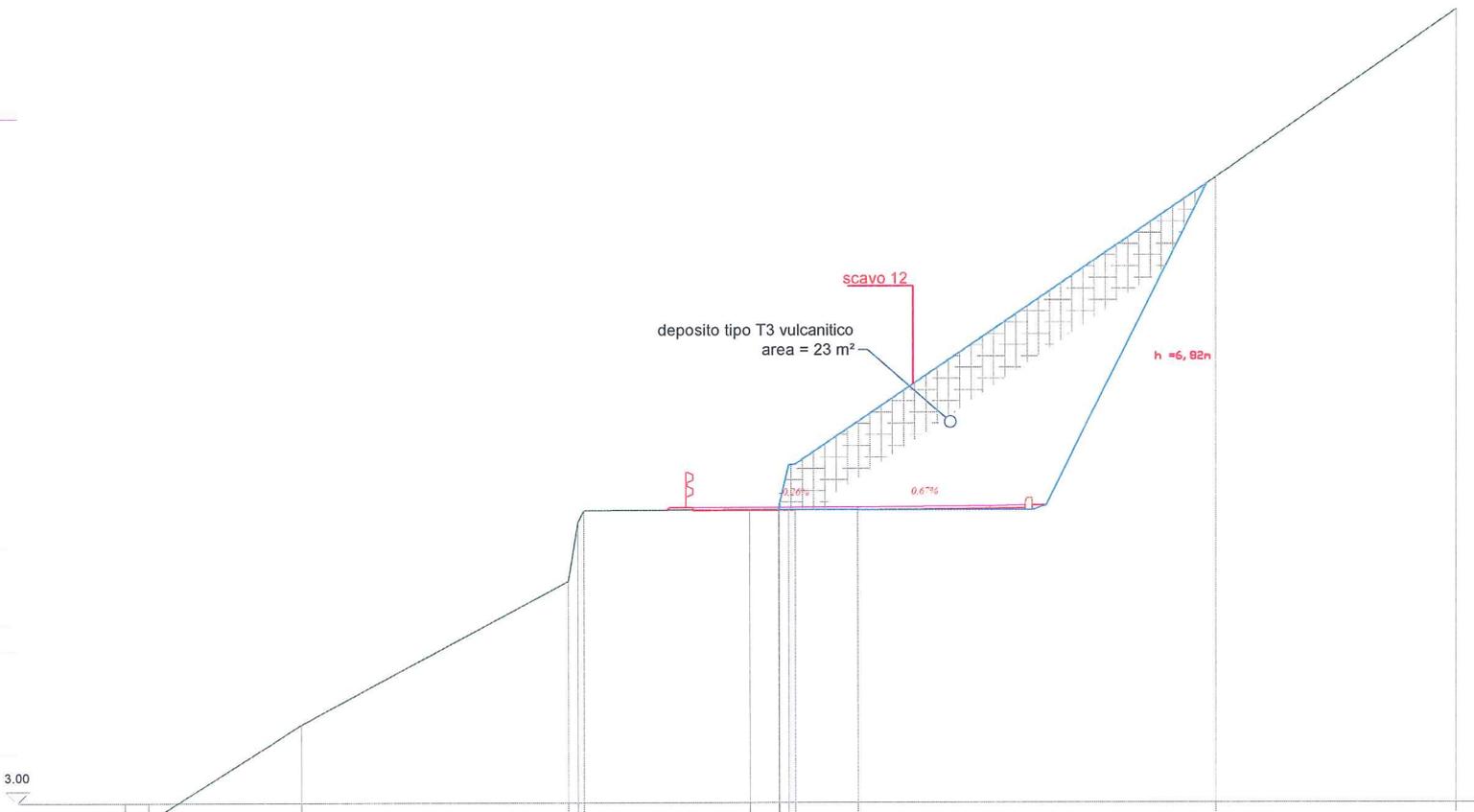
# Sez. 280



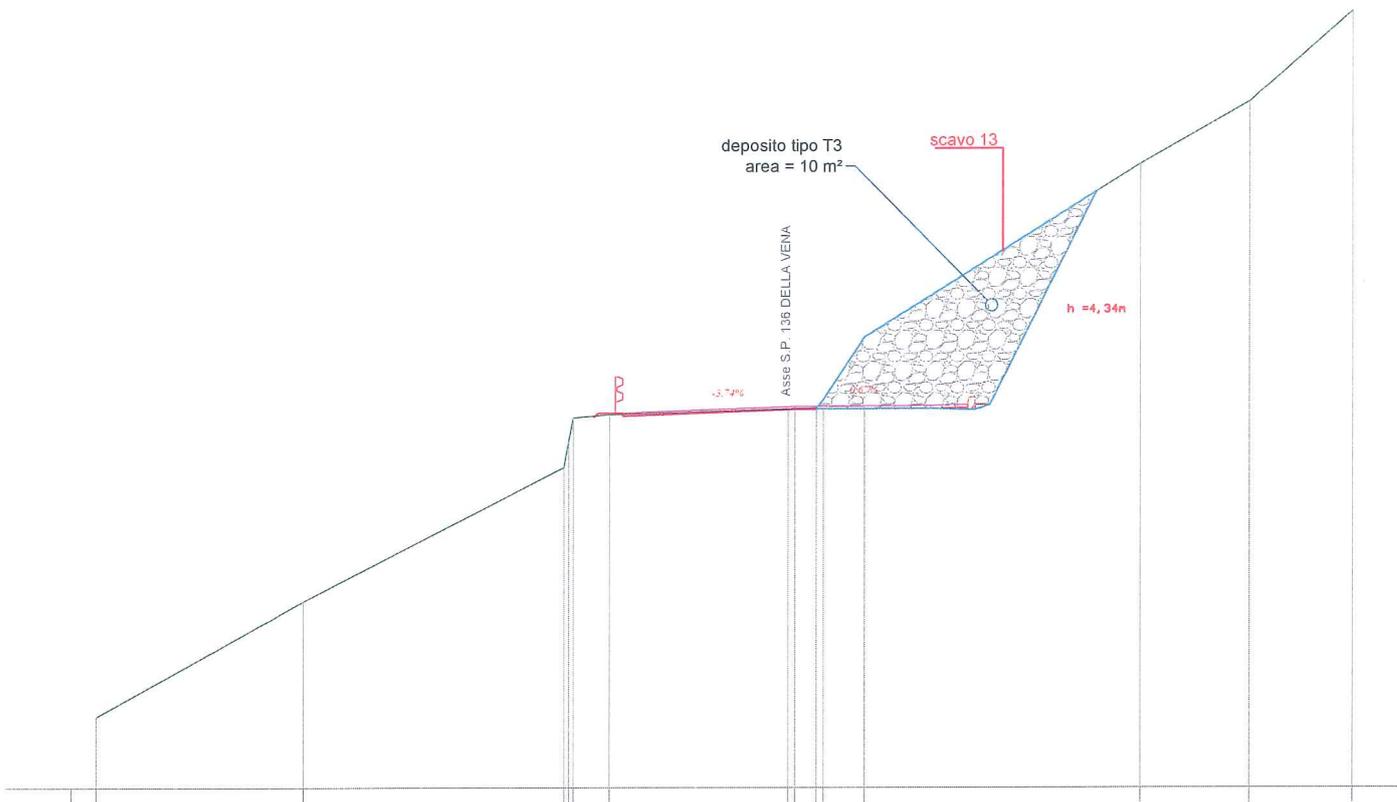
Sez. 292



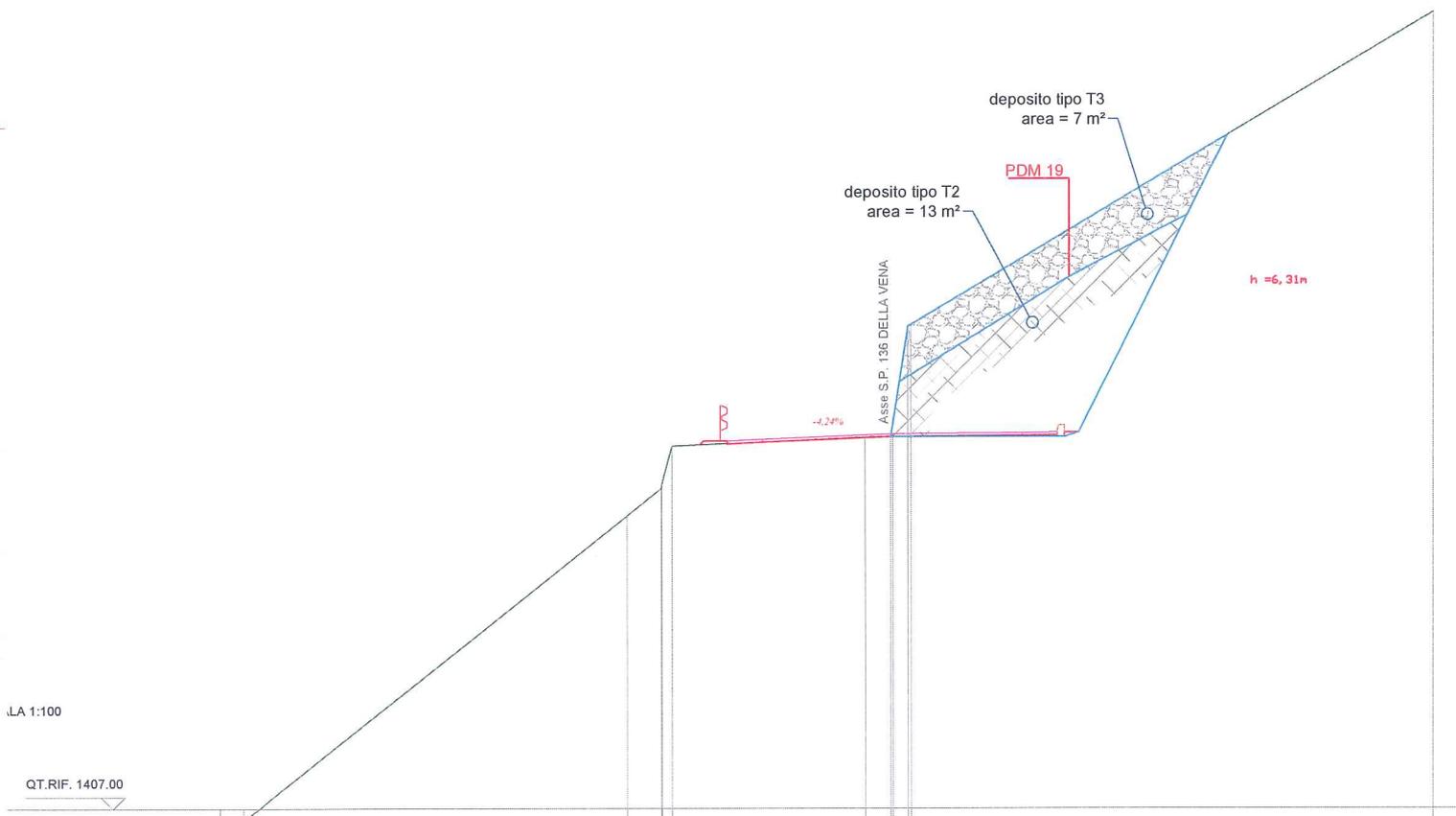
Sez. 300



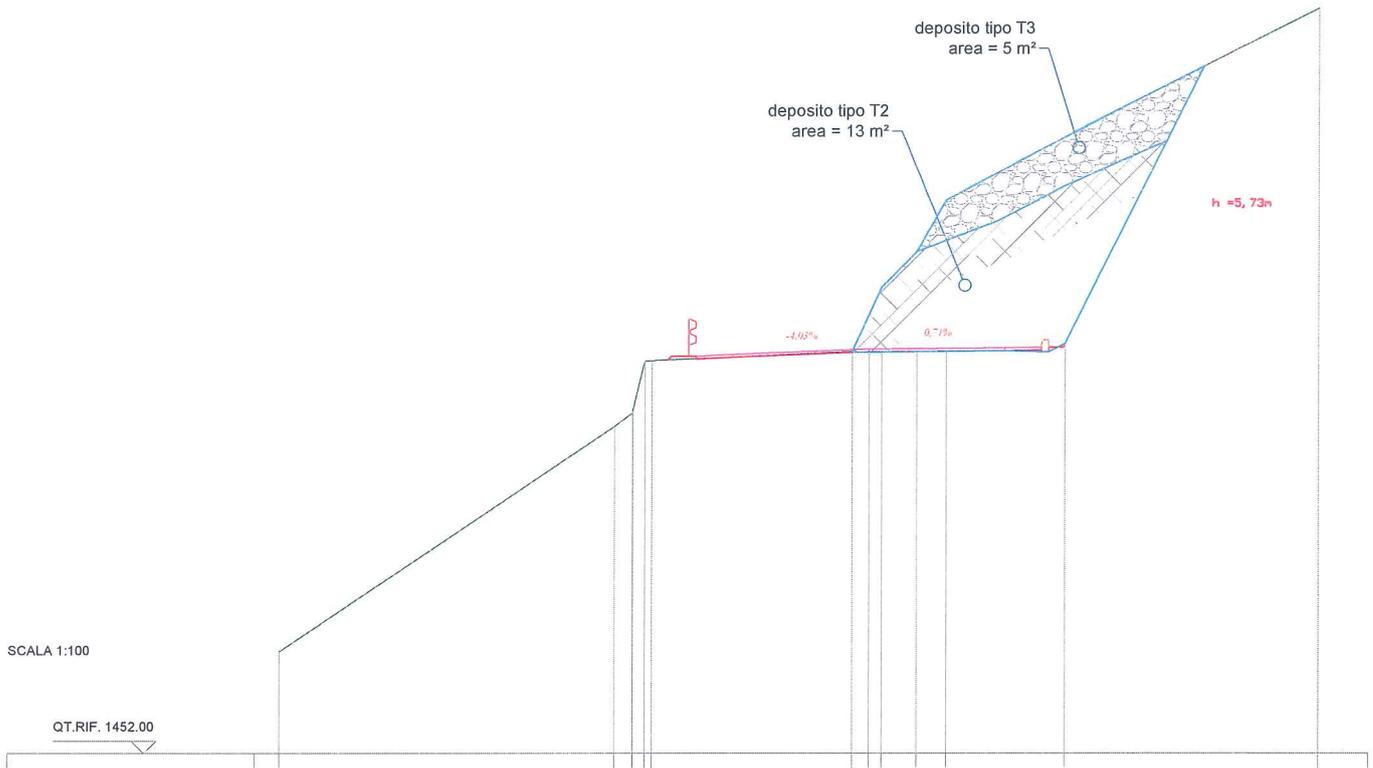
# Sez. 305



# Sez. 320



# Sez. 375



# Sez. 407

