

COMUNE DI BELLUNO

ù

PNRR-Missione 5, Componente 2, Investimento 2.1 "Rigenerazione Urbana" - Intervento di Valorizzazione dell'Alpe del Nevegal

Assistenza geologica in fase di esecuzione e verifiche tecniche in sito per la costruzione del rilevato strutturale del nuovo bacino di accumulo idrico a cielo aperto in località La Grava - C.I.G.: FF47AF81

Esito delle verifiche

Prima emissione: Dicembre 2024
Aggiornamento:

	 	
---	---	--

1	Premessa.....	3
2	Sviluppo delle verifiche	3
3	Riscontri sui movimenti terra.....	4
4	Prove di carico su piastra	4
4.1	Ciclo di prove 1	5
4.2	Ciclo di prove 2	8
5	Prove sismiche	10
6	Piezometri	11
7	Osservazioni conclusive.....	12

Ufficio 0437 34995 - Mobile +39 379 1577 146
giorgio.giacchetti@alpigeo.it - Belluno 32100, 45 Via Barozzi



Dott. Geol. Giorgio Giacchetti - Ordine Geol. Reg. Veneto 258
CF GCCGRG60A13A757B - P IVA 00707130258

1 PREMESSA

La presente nota illustra gli aspetti principali delle attività sviluppate per “*assistenza geologica in fase di esecuzione delle opere per accertamenti di laboratorio e verifiche tecniche in sito necessari per la caratterizzazione del terreno e per la determinazione del grado di compattazione raggiunto nel materiale utilizzato per la costruzione del rilevato strutturale. - C.I.G.: FF47AF81 – del nuovo bacino di accumulo idrico a cielo aperto in localita' La Grava (PNRR-Missione 5, Componente 2, Investimento 2.1 "Rigenerazione Urbana" - Intervento di "Valorizzazione dell'Alpe del Nevegal)*”.

2 SVILUPPO DELLE VERIFICHE

Le verifiche sono state attuate con una serie di sopralluoghi che hanno comportato le seguenti attività:

- Accertamento delle condizioni geotecniche nel corso degli scavi e esame della stabilità dei fronti di scavo.
- Controllo della qualità delle terre utilizzate per il rilevato
- Verifica ed assistenza nella posa di piezometri per il monitoraggio
- Assistenza al prelievo dei campioni rappresentativi delle terre rocce da scavo
- Controllo in sede di esecuzione e successiva valutazione delle prove di carico in sito
- Valutazione dei risultati delle prove sismiche a rifrazione.



3 RISCONTRI SUI MOVIMENTI TERRA

I movimenti terra hanno confermato che i terreni in scavo sono costituiti da ghiaia, ciottoli, blocchi di natura calcarea, spigolosi, in scarsa – talora assente - matrice di sabbia limosa, con inclusi trovanti anche di dimensione plurimetrica.

Dal punto di vista geotecnico le terre hanno dimostrato un comportamento sostanzialmente attritivo, a tratti moderatamente coesivo.

Lo scavo è stato a tratti ostacolato dalla presenza dei trovanti plurimetrici, che hanno costretto all'uso del martello demolitore. La roccia costitutiva alla battitura non è mai risultata tenace in quanto sempre disarticolata e suddivisa.



Blocco disarticolato nel detrito

Il substrato roccioso non è mai stato intercettato.

La permeabilità è risultata molto elevata e non sono mai state riscontrate venute d'acqua.

Dal punto di vista genetico viene confermato che i terreni interessati dalla costruzione del bacino sono depositi di frana, in parte sovrapposti a depositi glaciali preesistenti.

4 PROVE DI CARICO SU PIASTRA

Le prove di carico su piastra sono state eseguite per determinare i moduli di deformazione M_d con l'applicazione di un doppio ciclo di carico su piastra circolare (riferimenti CNR BU 146/92). La prova viene eseguita caricando il terreno a gradini successivi, così da poter calcolare il modulo di deformazione o di compressibilità del terreno. Per ripartitore viene

utilizzata una piastra circolare in acciaio del diametro di 300 mm e dello spessore di 25 mm attrezzata con un cilindro idraulico in grado di imprimere una forza di 10 tonnellate. Come contrasto al carico è stato utilizzato un mezzo escavatore del cantiere.

Il Modulo di Deformazione Md (o Modulo di compressibilità) in N/mm, rappresenta la misura convenzionale della capacità portante di una terra ed è dato dalla formula:

$$Md = (\Delta p / \Delta s) \times D$$

dove:

Δp è l'incremento di carico trasmesso dalla piastra alla terra (N/mm²), Δs è il corrispondente incremento di cedimento (mm), D è il diametro della piastra (area 706 cm²).

Nella prassi i risultati della costipazione del terreno sono soddisfacenti quanto il modulo Md vale:

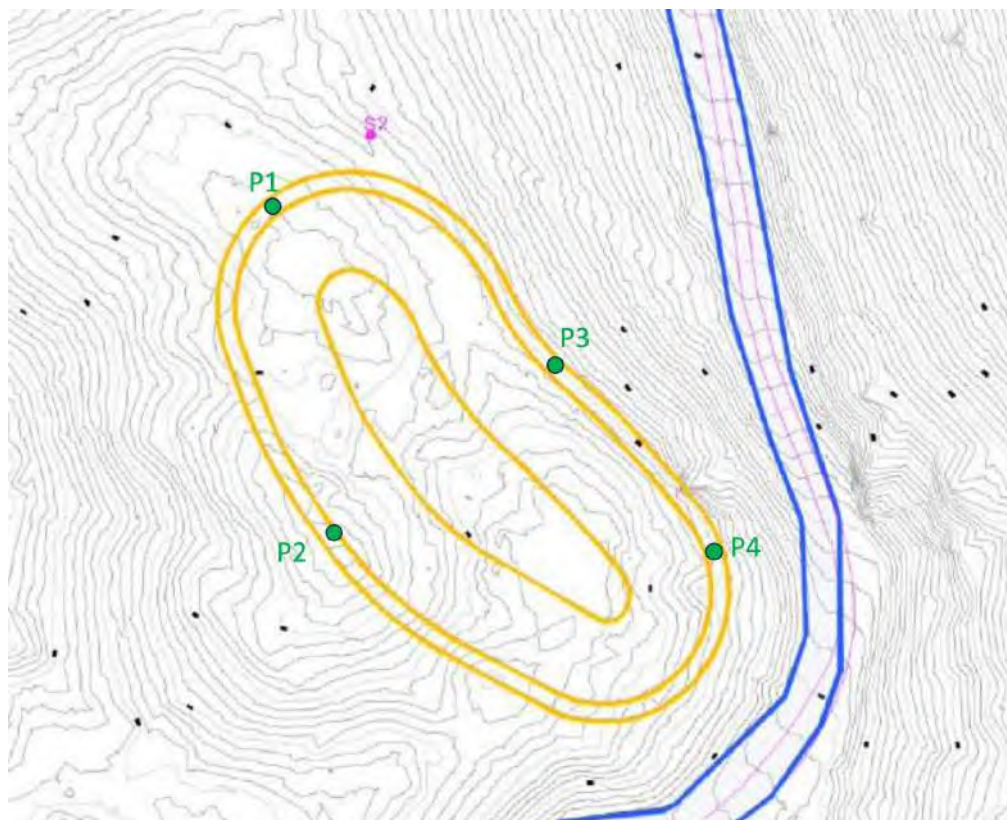
- 50 MPa nell'intervallo di carico compreso tra 0.15-0.25 N/mm² per il piano di posa della sovrastruttura
- 30 MPa nell'intervallo di carico compreso tra 0.05-0.15 N/mm² quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compreso tra 0.5 e 1.00 m.
- 20 MPa nell'intervallo di carico compreso tra 0.05-0.15 N/mm² quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è compreso tra 1.00 e 2.00 m.
- 15 MPa nell'intervallo di carico compreso tra 0.05-0.15 N/mm² quando la distanza del piano di posa del rilevato rispetto al piano di appoggio della pavimentazione è maggiore di 2.00 m.

Si noti che nel presente caso non ci sono fondazioni da posare ma semplicemente dei controlli per verificare il grado di costipazione raggiunto. Si può quindi assumere che i moduli di deformabilità sono soddisfacenti se si attestano a valori Md > 30 MPa per carichi compresi tra 0.05-0.15 N/mm².

4.1 Ciclo di prove 1

Le prove sono state eseguite il 20.06.24 durante la fase di costruzione del rilevato nelle posizioni di seguito indicate in mappa. Esse hanno dato valori di Md compresi tra 38 e 54 N/mm² per intervalli di carico 0.05-0.15 N/mm². Si tratta quindi di terreni molto addensati, con modulo di deformazione molto elevato.





Disposizione delle prove



Ciclo di prove 1 - Prova 1



Ciclo di prove 1 - Prova 2



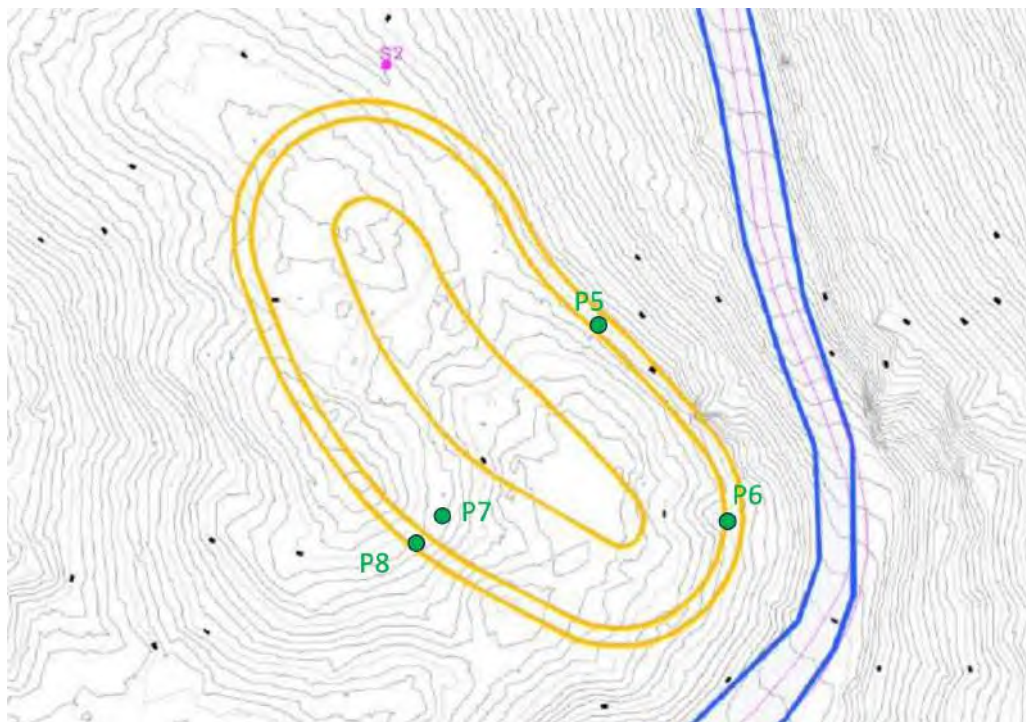
Ciclo di prove 1 - Prova 3



Ciclo di prove 1 - Prova 4

4.2 Ciclo di prove 2

Le prove sono state eseguite il 02.09.24 quasi al completamento del rilevato nelle posizioni di seguito indicate in mappa. Esse hanno dato valori di M_d compresi tra 33 e 69 N/mm^2 per intervalli di carico 0.05-0.15 N/mm^2 . Anche in questo caso i terreni risultano molto addensati.



Disposizione delle prove



Ciclo di prove 2 - Prova 5



Ciclo di prove 2 - Prova 6



Ciclo di prove 2 - Prova 7



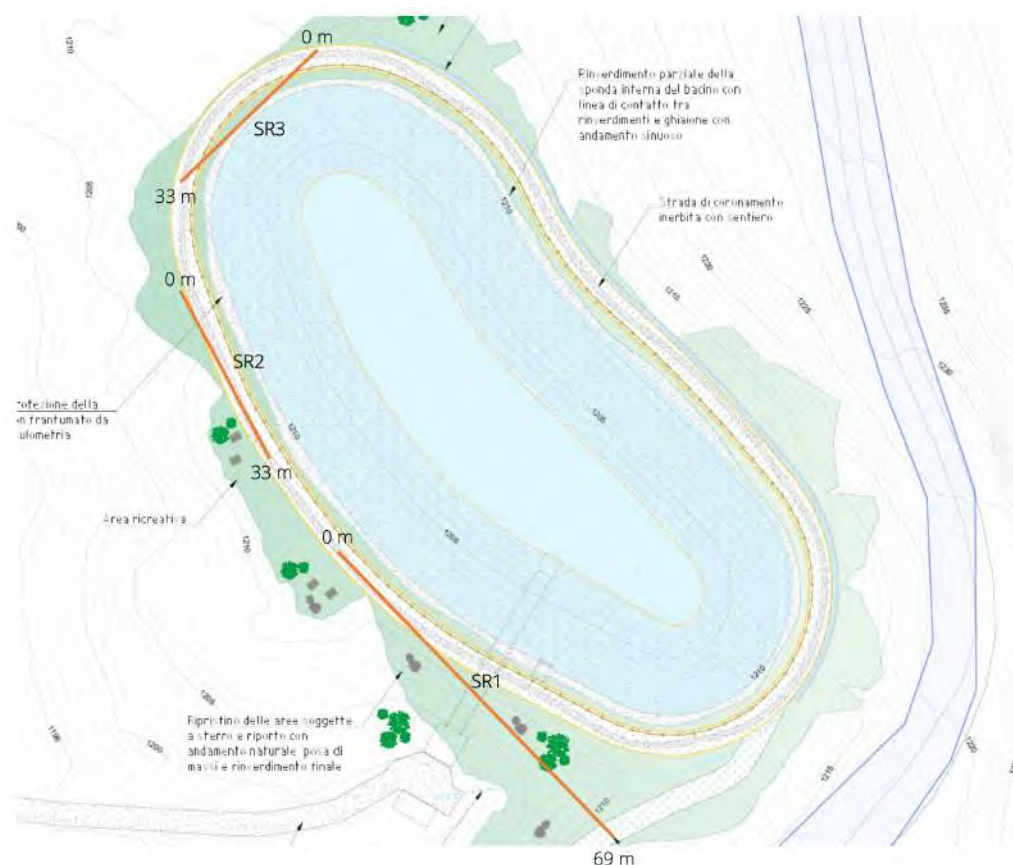
Ciclo di prove 2 - Prova 8

5 PROVE SISMICHE

Con l'incremento della densità del terreno si manifesta un proporzionale incremento delle velocità sismiche, Sulla base di questa considerazione, al termine della costruzione del rilevato sono state eseguite tre linee sismiche al fine di accertare la consistenza e l'omogeneità dei terreni. Allo scopo sono state eseguite 3 prospezioni geofisiche con metodo sismico a rifrazione con metodo di elaborazione tomografico, mediante stendimenti da 69 m con 24 geofoni (SR1) e 33 m con 12 geofoni (SR2 e SR3). Le indagini si basano sull'ipotesi che in prima approssimazione i terreni investigati siano caratterizzati da stratificazione orizzontale piana parallela, che le velocità di trasmissione siano crescenti con la profondità e che la trasmissione delle onde sismiche avvenga entro un piano normale alla stratificazione passante per la linea sismica. I risultati dei rilievi strumentali devono poi essere interpretati con una serie di reiterazioni di calcolo che tengano conto delle possibili disomogeneità dei terreni e della topografia. Le linee sono state tracciate sui punti potenzialmente critici che contraddistinguono la cresta del bacino:

- linea SR1: è tracciata in corrispondenza del riporto di maggiore spessore, dove è stato collocato anche il tunnel per il passaggio dei servizi tecnologici.
- linea SR2: è tracciata al passaggio tra una zona di scavo e una di riporto. La linea consente di apprezzare la differenza di velocità esistente tra i terreni naturali e quelli di riporto.
- linea SR3: è tracciata dove il terreno è stato riportato per colmare la depressione naturale sul fronte nord del bacino.





Disposizione delle linee sismiche SR1, SR2 e SR3. – La posizione delle linee è orientativa.

Nel commentare i risultati dell'indagine, si considera la disposizione delle linee sismiche riportata nelle foto e non nella planimetria che è approssimata. L'esito delle prove mette in evidenza quanto segue:

- I terreni di riporto hanno velocità V_p attorno a 450-600 m/s nei primi 2 m di spessore che sono sempre più rilassati. Essendo tali velocità tipiche di ghiaia ben addensata, se ne deduce che i terreni sono ben costipati. Tenendo conto che le indagini sismiche eseguite sui terreni naturali nell'ambito del progetto si attestavano attorno V_p 200 – 400 m/s sempre per i primi 2 m di spessore, risulta che il rilevato è molto più addensato dei terreni preesistenti.
- Escludendo zone a velocità più elevata da correlarsi alle inevitabili incertezze del metodo, il rilevato risulta omogeneo con velocità crescenti con la profondità.

6 PIEZOMETRI

Lungo la pista del coronamento sono stati posati i seguenti piezometri finestrati sui primi 3 m da fondo foro:

- No. 2 piezometri da 10 m eseguiti sul lato di monte del bacino
- No. 2 piezometri da 18 m eseguiti sul lato di valle del bacino

In nessuna perforazione è stato intercettato il substrato roccioso, né livelli di falda.

I piezometri di progetto sono stati posati con qualche difficoltà correlata alla perforazione a distruzione accompagnata da rivestimento. Durante la posa del piezometro 4, il tubo è stato disposto con la finestratura a quota sbagliata e si è rotto nel tentativo di ricollocazione. Tale piezometro è stato interamente riperforato e quindi sigillato con ghiaia nella parte finestrata e miscela bentonitica in quella cieca per consentirne la sicura posa in opera.



Posa del piezometro 4

7 OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Nel corso degli scavi i fronti sono sempre stati mantenuti con angolo di scarpa minore di 40° e non sono state mai create situazioni di pericolo. I movimenti terra sono stati in qualche punto rallentati dalla presenza di trovanti di dimensione plurimettrica.

I risultati delle prove di carico su piastra e quelli delle prove sismiche indicano che i terreni del rilevato strutturale sono stati costipati in modo omogeneo e con un elevato grado di addensamento, ottimale per la stabilità dei paramenti del bacino.

Dott. Geol. Giorgio Giacchetti

ALLEGATO

Referti delle prove di carico

Ufficio 0437 34995 - Mobile +39 379 1577 146
giorgio.giacchetti@alpegeo.it - Belluno 32100, 45 Via Barozzi



Dott. Geol. Giorgio Giacchetti - Ordine Geol. Reg. Veneto 258
CF GCCGRG60A13A757B - P IVA 00707130258

RAPPORTO DI PROVA

PROVA N. 5042 **RICHIESTA N.** 363 **IN DATA** 20/06/24 **pag.** 1/1

RICHIEDENTE: COMUNE DI BELLUNO - SETTORE TERRITORIO 1276

INDIRIZZO: PIAZZA CASTELLO, 14 32100 BELLUNO BL

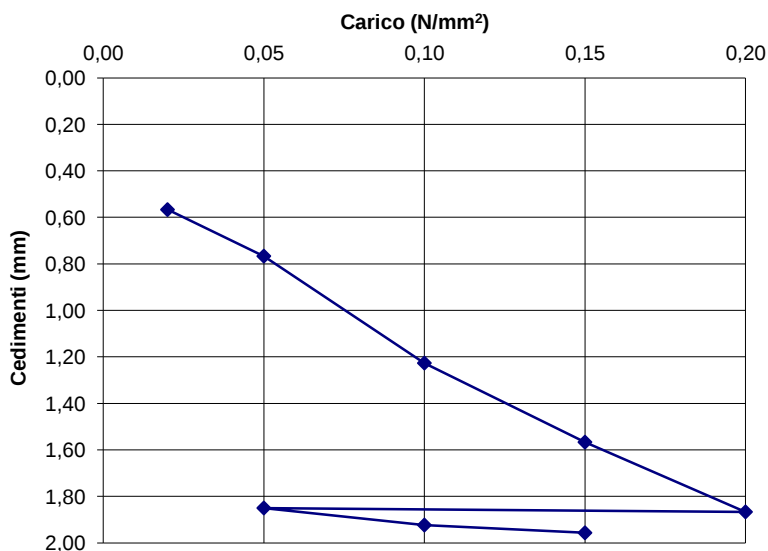
TIPO DI CAMPIONE: TERRENO DI SOTTOFONDO.

SPECIFICA DI PROVA: DETERMINAZIONE DEI MODULI DI DEFORMAZIONE M_d MEDIANTE PROVA DI CARICO A DOPPIO CICLO CON PIASTRA CIRCOLARE (CNR 146).

CANTIERE: PNRR - missione 5, componente 2, investimento 2.1 "Rigenerazione Urbana" - Intervento di "valorizzazione dell' Alpe del Nevegal: nuovo bacino di accumulo idrico a cielo aperto in località La Grava con funzione antincendio boschivo, turistico-ricreativa e per innevamento". - Interventi finanziati dall'Unione Europea - NextGenerationEU. C.U.P.: I37B20001970006.
Affidamento dell'esecuzione degli accertamenti di Laboratorio e delle verifiche tecniche in sito necessari per la caratterizzazione del terreno e del grado di compattazione raggiunto nel materiale utilizzato per la costruzione del rilevato strutturale e autorizzazione all'esecuzione in via d'urgenza. - C.I.G.: B21A1CC91A.

DATA E SITO DI PROVA: 20/06/24, posizione di prova, punto P1.**TECNICO RESPONSABILE:** dott. geol. Giorgio Giacchetti, che ha indicato la posizione di prova.**TEMPERATURA DI PROVA:** 22,6÷23,1 °C**RISULTATI DELLA PROVA**

Ora:	09.29	Sereni			
Ø piastra (D) 300 mm		Sup. 70685,8 mm ²			
Tempi (h min.)	DEFORMAZIONE Lettura ai comparatori mm			CARICO N/mm ²	Media lettura comparatori mm
09.23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
09.24	0,54	0,53	0,44	0,02	0,50
09.26	0,60	0,59	0,51	0,02	0,57
09.28	0,83	0,79	0,68	0,05	0,77
09.30	1,30	1,29	1,09	0,10	1,23
09.33	1,64	1,62	1,44	0,15	1,57
09.35	1,94	1,93	1,73	0,20	1,87
09.39	1,93	1,93	1,69	0,05	1,85
09.41	2,01	1,97	1,79	0,10	1,92
09.43	2,04	2,01	1,82	0,15	1,96

Intervallo di carico tra 0,05 e 0,15 N/mm²:Differenza della media della deformazioni corrispondenti all'intervallo di carico Δp :**Modulo di compressione $M_d = (\Delta p / \Delta s) \times D$**

$$(\Delta p) = 0,10 \text{ N/mm}^2$$

$$(\Delta s) = 0,80 \text{ mm}$$

$$= 38 \text{ N/mm}^2$$

Intervallo di carico tra 0,05 e 0,15 N/mm²:Differenza della media della deformazioni corrispondenti all'intervallo di carico $\Delta p'$:**Modulo di compressione $M'_d = (\Delta p' / \Delta s') \times D$**

$$(\Delta p') = 0,10 \text{ N/mm}^2$$

$$(\Delta s') = 0,11 \text{ mm}$$

$$= 281 \text{ N/mm}^2$$

Qualità del costipamento (M_d / M'_d) ≤ 1

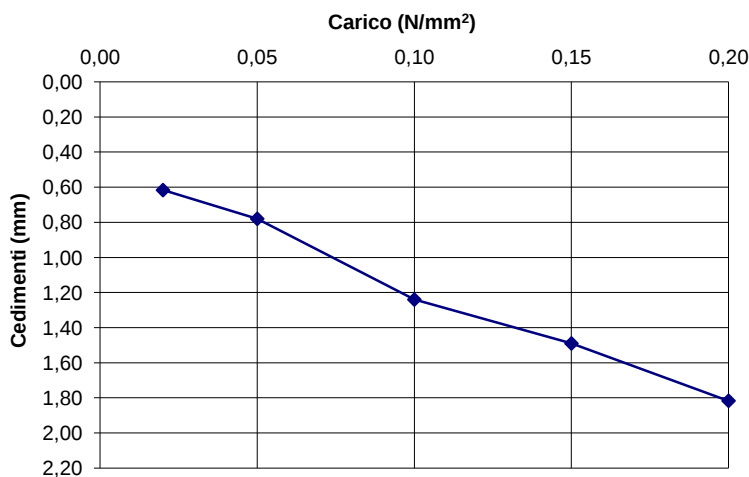
$$= 0,14$$

Io Sperimentatore	il Resp. di Settore
geol. Pietropaolo Melidoro	arch. Giorgio Clai

NOTE:**BELLUNO, 27/06/24****IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
(dott. geol. David Pomarè)**

RAPPORTO DI PROVA**PROVA N.** 5043 **RICHIESTA N.** 363 **IN DATA** 20/06/24 **pag.** 1/1**RICHIEDENTE:** COMUNE DI BELLUNO - SETTORE TERRITORIO **COD.** 1276
INDIRIZZO: PIAZZA CASTELLO, 14 32100 BELLUNO BL**TIPO DI CAMPIONE:** TERRENO DI SOTTOFONDO.
SPECIFICA DI PROVA: DETERMINAZIONE DEI MODULI DI DEFORMAZIONE M_d MEDIANTE PROVA DI CARICO A CICLO SINGOLO CON PIASTRA CIRCOLARE (CNR 146).**CANTIERE:** PNRR - missione 5, componente 2, investimento 2.1 "Rigenerazione Urbana" - Intervento di "valorizzazione dell' Alpe del Nevegal: nuovo bacino di accumulo idrico a cielo aperto in località La Grava con funzione antincendio boschivo, turistico-ricreativa e per innevamento". - Interventi finanziati dall'Unione Europea - NextGenerationEU. C.U.P.: I37B20001970006.
Affidamento dell'esecuzione degli accertamenti di Laboratorio e delle verifiche tecniche in sito necessari per la caratterizzazione del terreno e del grado di compattazione raggiunto nel materiale utilizzato per la costruzione del rilevato strutturale e autorizzazione all'esecuzione in via d' urgenza.
- C.I.G.: B21A1CC91A.**DATA E SITO DI PROVA:** 20/06/24, posizione di prova, punto P2.**TECNICO RESPONSABILE:** dott. geol. Giorgio Giacchetti, che ha indicato la posizione di prova.**TEMPERATURA DI PROVA:** 23,4÷23,9 °C**RISULTATI DELLA PROVA**

Ora: 10.04		Sereno			
Ø piastra (D) 300 mm				Sup. 70685,8 mm ²	
Tempi (h min.)	DEFORMAZIONE Lettura ai comparatori mm			CARICO N/mm ²	Media lettura comparatori mm
10.06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.08	0,44	0,64	0,75	0,02	0,61
10.10	0,45	0,65	0,75	0,02	0,62
10.12	0,58	0,82	0,94	0,05	0,78
10.14	1,04	1,20	1,48	0,10	1,24
10.16	1,31	1,38	1,78	0,15	1,49
10.18	1,69	1,59	2,17	0,20	1,82

Intervallo di carico tra 0,05 e 0,15 N/mm²:Differenza della media della deformazioni corrispondenti all'intervallo di carico Δp :**Modulo di compressione $M_d = (\Delta p / \Delta s) \times D$** $(\Delta p) = 0,10 \text{ N/mm}^2$ $(\Delta s) = 0,71 \text{ mm}$ **= 42 N/mm²**

Io Sperimentatore	il Resp. di Settore
geol. Pietropaolo Melidoro	arch. Giorgio Clai

NOTE:**BELLUNO,** 27/06/24**IL DIRETTORE DEL LABORATORIO**
(dott. geol. David Pomarè)

LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT.MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1687 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC - Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg.Impr.Trib.BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255
32020 LIMANA (BL) - zona industriale "Cesa" - via U. Bracalenti 36

PROVA SU PIASTRA
DIAMETRO 300 mm
TE-PS 02 - TE-B1
(UNI CEI EN ISO/IEC 17025)
Rev. 02 - gennaio 2008

tel 0437 960399
fax 0437 960399
cell 340 5402445
www.rbk.it - info@rbk.it
AZIENDA CON SISTEMA
DI GESTIONE QUALITÀ
CERTIFICATO DA DNV GL
= ISO 9001 =

RAPPORTO DI PROVA

PROVA N. 5044 **RICHIESTA N.** 363 **IN DATA** 20/06/24 **pag.** 1/1

RICHIEDENTE: COMUNE DI BELLUNO - SETTORE TERRITORIO **COD.** 1276
INDIRIZZO: PIAZZA CASTELLO, 14 32100 BELLUNO BL

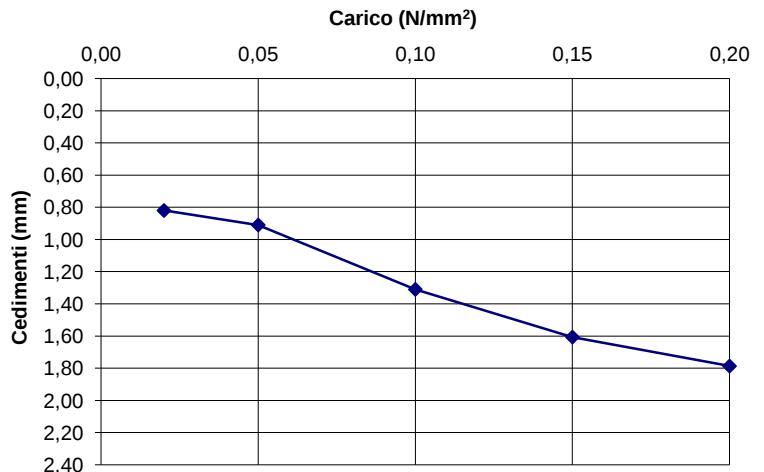
TIPO DI CAMPIONE: TERRENO DI SOTTOFONDO.
SPECIFICA DI PROVA: DETERMINAZIONE DEI MODULI DI DEFORMAZIONE M_d MEDIANTE PROVA DI CARICO A CICLO SINGOLO CON PIASTRA CIRCOLARE (CNR 146).

CANTIERE: PNRR - missione 5, componente 2, investimento 2.1 "Rigenerazione Urbana" - Intervento di "valorizzazione dell' Alpe del Nevegal: nuovo bacino di accumulo idrico a cielo aperto in località La Grava con funzione antincendio boschivo, turistico-ricreativa e per innevamento". - Interventi finanziati dall'Unione Europea - NextGenerationEU. C.U.P.: I37B20001970006.
Affidamento dell'esecuzione degli accertamenti di Laboratorio e delle verifiche tecniche in sito necessari per la caratterizzazione del terreno e del grado di compattazione raggiunto nel materiale utilizzato per la costruzione del rilevato strutturale e autorizzazione all'esecuzione in via d' urgenza. - C.I.G.: B21A1CC91A.

DATA E SITO DI PROVA: 20/06/24, posizione di prova, punto P3.
TECNICO RESPONSABILE: dott. geol. Giorgio Giacchetti, che ha indicato la posizione di prova.
TEMPERATURA DI PROVA: 25,7÷26,6 °C

RISULTATI DELLA PROVA

Ora: 10.57		Sereno			
Ø piastra (D) 300 mm				Sup. 70685,8 mm ²	
Tempi (h min.)	DEFORMAZIONE Lettura ai comparatori mm			CARICO N/mm ²	Media lettura comparatori mm
10.58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.00	1,40	0,42	0,60	0,02	0,81
11.02	1,42	0,42	0,62	0,02	0,82
11.04	1,60	0,46	0,67	0,05	0,91
11.06	2,31	0,67	0,95	0,10	1,31
11.08	2,81	0,83	1,18	0,15	1,61
11.10	3,11	0,93	1,32	0,20	1,79



Intervallo di carico tra 0,05 e 0,15 N/mm²:

Differenza della media della deformazioni corrispondenti all'intervallo di carico Δp :

Modulo di compressione $M_d = (\Delta p / \Delta s) \times D$

$(\Delta p) = 0,10 \text{ N/mm}^2$

$(\Delta s) = 0,70 \text{ mm}$

= 43 N/mm²

Io Sperimentatore	il Resp. di Settore
geol. Pietropaolo Melidoro	arch. Giorgio Clai

NOTE:

BELLUNO, 27/06/24



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
(dott. geol. David Pomarè)

LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT.MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1687 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg.Impr.Trib.BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255
32020 LIMANA (BL) - zona industriale "Cesa" - via U. Bracalenti 36

PROVA SU PIASTRA
DIAMETRO 300 mm

TE-PS 02 – TE-B1

(UNI CEI EN ISO/IEC 17025)

Rev. 02 – gennaio 2008

tel 0437 960399
fax 0437 960399
cell 340 5402445
www.rbk.it - info@rbk.it
AZIENDA CON SISTEMA
DI GESTIONE QUALITÀ
CERTIFICATO DA DNV GL
= ISO 9001 =

RAPPORTO DI PROVA

PROVA N. 5045 RICHIESTA N. 363 IN DATA 20/06/24 pag. 1/1

RICHIEDENTE: COMUNE DI BELLUNO - SETTORE TERRITORIO COD. 1276
INDIRIZZO: PIAZZA CASTELLO, 14 32100 BELLUNO BL

TIPO DI CAMPIONE: TERRENO DI SOTTOFONDO.
SPECIFICA DI PROVA: DETERMINAZIONE DEI MODULI DI DEFORMAZIONE M_d MEDIANTE PROVA DI CARICO A CICLO SINGOLO CON PIASTRA CIRCOLARE (CNR 146).

CANTIERE: PNRR - missione 5, componente 2, investimento 2.1 "Rigenerazione Urbana" - Intervento di "valorizzazione dell' Alpe del Nevegal: nuovo bacino di accumulo idrico a cielo aperto in località La Grava con funzione antincendio boschivo, turistico-ricreativa e per innevamento". - Interventi finanziati dall'Unione Europea - NextGenerationEU. C.U.P.: I37B20001970006.
Affidamento dell'esecuzione degli accertamenti di Laboratorio e delle verifiche tecniche in sito necessari per la caratterizzazione del terreno e del grado di compattazione raggiunto nel materiale utilizzato per la costruzione del rilevato strutturale e autorizzazione all'esecuzione in via d' urgenza. - C.I.G.: B21A1CC91A.

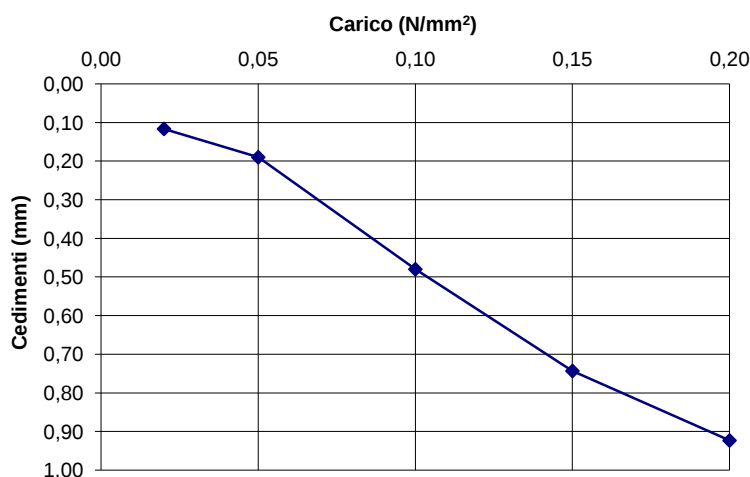
DATA E SITO DI PROVA: 20/06/24, posizione di prova, punto P4.

TECNICO RESPONSABILE: dott. geol. Giorgio Giacchetti, che ha indicato la posizione di prova.

TEMPERATURA DI PROVA: 27,4÷28,2 °C

RISULTATI DELLA PROVA

Ora: 11.32		Sereno			
Ø piastra (D) 300 mm				Sup. 70685,8 mm ²	
Tempi (h min.)	DEFORMAZIONE Lettura ai comparatori mm			CARICO N/mm ²	Media lettura comparatori mm
11.33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.35	0,11	0,07	0,08	0,02	0,09
11.37	0,14	0,10	0,11	0,02	0,12
11.39	0,22	0,18	0,17	0,05	0,19
11.41	0,53	0,45	0,46	0,10	0,48
11.43	0,81	0,69	0,73	0,15	0,74
11.45	1,02	0,84	0,91	0,20	0,92



Intervallo di carico tra 0,05 e 0,15 N/mm²:

Differenza della media della deformazioni corrispondenti all'intervallo di carico Δp :

Modulo di compressione $M_d = (\Delta p / \Delta s) \times D$

(Δp) = 0,10 N/mm²

(Δs) = 0,55 mm

= 54 N/mm²

Io Sperimentatore geol. Pietropaolo Melidoro	il Resp. di Settore arch. Giorgio Clai

NOTE:

BELLUNO, 27/06/24



IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
(dott. geol. David Pomarè)

RAPPORTO DI PROVA

PROVA N. 5066 **RICHIESTA N.** 366 **IN DATA** 27/08/24 **pag.** 1/1

RICHIEDENTE: COMUNE DI BELLUNO - SETTORE TERRITORIO **COD.** 1276
INDIRIZZO: PIAZZA CASTELLO, 14 32100 BELLUNO BL

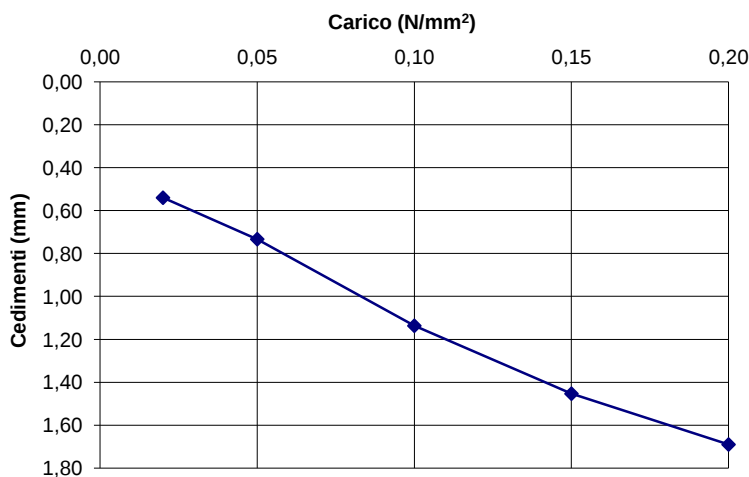
TIPO DI CAMPIONE: TERRENO DI SOTTOFONDO.
SPECIFICA DI PROVA: DETERMINAZIONE DEI MODULI DI DEFORMAZIONE M_d MEDIANTE PROVA DI CARICO A CICLO SINGOLO CON PIASTRA CIRCOLARE (CNR 146).

CANTIERE: PNRR - missione 5, componente 2, investimento 2.1 "Rigenerazione Urbana" - Intervento di "valorizzazione dell' Alpe del Nevegal: nuovo bacino di accumulo idrico a cielo aperto in località La Grava con funzione antincendio boschivo, turistico-ricreativa e per innevamento". - Interventi finanziati dall'Unione Europea - NextGenerationEU. C.U.P.: I37B20001970006. Affidamento dell'esecuzione degli accertamenti di Laboratorio e delle verifiche tecniche in sito necessari per la caratterizzazione del terreno e del grado di compattazione raggiunto nel materiale utilizzato per la costruzione del rilevato strutturale e autorizzazione all'esecuzione in via d' urgenza. - C.I.G.: B21A1CC91A.

DATA E SITO DI PROVA: 27/08/24, posizione di prova, punto P5.
TECNICO RESPONSABILE: dott. geol. Giorgio Giacchetti, che ha indicato la posizione di prova.
TEMPERATURA DI PROVA: 17,6÷17,9 °C

RISULTATI DELLA PROVA

Ora: 10.05		Sereno			
Ø piastra (D) 300 mm				Sup. 70685,8 mm ²	
Tempi (h min.)	DEFORMAZIONE Lettura ai comparatori mm			CARICO N/mm ²	Media lettura comparatori mm
10.07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.09	0,40	0,65	0,52	0,02	0,52
10.11	0,41	0,67	0,54	0,02	0,54
10.13	0,58	0,87	0,75	0,05	0,73
10.15	0,92	1,27	1,22	0,10	1,14
10.17	1,21	1,54	1,61	0,15	1,45
10.19	1,39	1,77	1,91	0,20	1,69

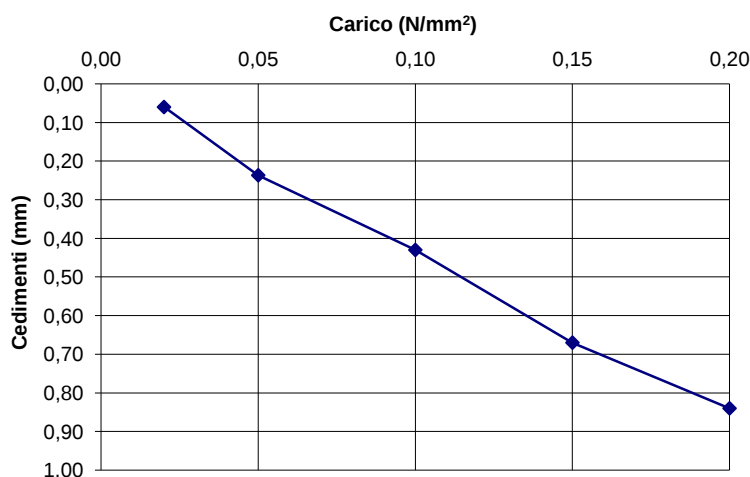
Intervallo di carico tra 0,05 e 0,15 N/mm²:Differenza della media della deformazioni corrispondenti all'intervallo di carico Δp :**Modulo di compressione $M_d = (\Delta p / \Delta s) \times D$** $(\Delta p) = 0,10 \text{ N/mm}^2$ $(\Delta s) = 0,72 \text{ mm}$ **= 42 N/mm²**

Io Sperimentatore	il Resp. di Settore
geol. Pietropaolo Melidoro	arch. Giorgio Clai

NOTE:**BELLUNO, 28/08/24****IL DIRETTORE DEL LABORATORIO
(dott. geol. David Pomarè)**

RAPPORTO DI PROVA**PROVA N.** 5067 **RICHIESTA N.** 366 **IN DATA** 27/08/24 **pag.** 1/1**RICHIEDENTE:** COMUNE DI BELLUNO - SETTORE TERRITORIO **COD.** 1276
INDIRIZZO: PIAZZA CASTELLO, 14 32100 BELLUNO BL**TIPO DI CAMPIONE:** TERRENO DI SOTTOFONDO.
SPECIFICA DI PROVA: DETERMINAZIONE DEI MODULI DI DEFORMAZIONE M_d MEDIANTE PROVA DI CARICO A CICLO SINGOLO CON PIASTRA CIRCOLARE (CNR 146).**CANTIERE:** PNRR - missione 5, componente 2, investimento 2.1 "Rigenerazione Urbana" - Intervento di "valorizzazione dell' Alpe del Nevegal: nuovo bacino di accumulo idrico a cielo aperto in località La Grava con funzione antincendio boschivo, turistico-ricreativa e per innevamento". - Interventi finanziati dall'Unione Europea - NextGenerationEU. C.U.P.: I37B20001970006. Affidamento dell'esecuzione degli accertamenti di Laboratorio e delle verifiche tecniche in sito necessari per la caratterizzazione del terreno e del grado di compattazione raggiunto nel materiale utilizzato per la costruzione del rilevato strutturale e autorizzazione all'esecuzione in via d' urgenza. - C.I.G.: B21A1CC91A.**DATA E SITO DI PROVA:** 27/08/24, posizione di prova, punto P6.**TECNICO RESPONSABILE:** dott. geol. Giorgio Giacchetti, che ha indicato la posizione di prova.**TEMPERATURA DI PROVA:** 18,4÷19,2 °C**RISULTATI DELLA PROVA**

Ora: 10.45		Sereno			
Ø piastra (D) 300 mm				Sup. 70685,8 mm ²	
Tempi (h min.)	DEFORMAZIONE Lettura ai comparatori mm			CARICO N/mm ²	Media lettura comparatori mm
10.47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10.49	0,05	0,05	0,03	0,02	0,04
10.51	0,06	0,07	0,05	0,02	0,06
10.53	0,29	0,31	0,11	0,05	0,24
10.55	0,58	0,57	0,14	0,10	0,43
10.57	0,88	0,86	0,27	0,15	0,67
10.59	1,09	1,07	0,36	0,20	0,84

Intervallo di carico tra 0,05 e 0,15 N/mm²:Differenza della media della deformazioni corrispondenti all'intervallo di carico Δp :**Modulo di compressione $M_d = (\Delta p / \Delta s) \times D$** $(\Delta p) = 0,10 \text{ N/mm}^2$ $(\Delta s) = 0,43 \text{ mm}$ **= 69 N/mm²**

Io Sperimentatore	il Resp. di Settore
geol. Pietropaolo Melidoro	arch. Giorgio Clai

NOTE:**BELLUNO, 28/08/24****IL DIRETTORE DEL LABORATORIO**
(dott. geol. David Pomarè)

RAPPORTO DI PROVA

PROVA N. 5068 **RICHIESTA N.** 366 **IN DATA** 27/08/24 **pag.** 1/1

RICHIEDENTE: COMUNE DI BELLUNO - SETTORE TERRITORIO **COD.** 1276
INDIRIZZO: PIAZZA CASTELLO, 14 32100 BELLUNO BL

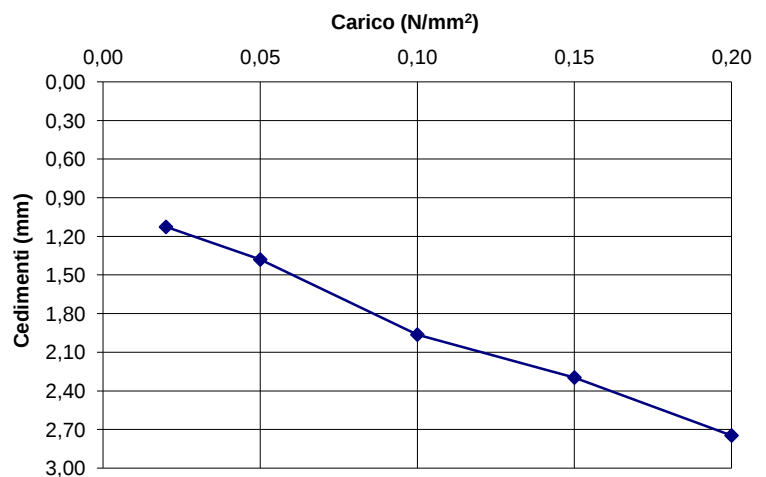
TIPO DI CAMPIONE: TERRENO DI SOTTOFONDO.
SPECIFICA DI PROVA: DETERMINAZIONE DEI MODULI DI DEFORMAZIONE M_d MEDIANTE PROVA DI CARICO A CICLO SINGOLO CON PIASTRA CIRCOLARE (CNR 146).

CANTIERE: PNRR - missione 5, componente 2, investimento 2.1 "Rigenerazione Urbana" - Intervento di "valorizzazione dell' Alpe del Nevegal: nuovo bacino di accumulo idrico a cielo aperto in località La Grava con funzione antincendio boschivo, turistico-ricreativa e per innevamento". - Interventi finanziati dall'Unione Europea - NextGenerationEU. C.U.P.: I37B20001970006. Affidamento dell'esecuzione degli accertamenti di Laboratorio e delle verifiche tecniche in sito necessari per la caratterizzazione del terreno e del grado di compattazione raggiunto nel materiale utilizzato per la costruzione del rilevato strutturale e autorizzazione all'esecuzione in via d' urgenza. - C.I.G.: B21A1CC91A.

DATA E SITO DI PROVA: 27/08/24, posizione di prova, punto P7.
TECNICO RESPONSABILE: dott. geol. Giorgio Giacchetti, che ha indicato la posizione di prova.
TEMPERATURA DI PROVA: 20,6÷21,4 °C

RISULTATI DELLA PROVA

Ora: 11.33		Sereno			
Ø piastra (D) 300 mm				Sup. 70685,8 mm ²	
Tempi (h min.)	DEFORMAZIONE Lettura ai comparatori mm			CARICO N/mm ²	Media lettura comparatori mm
11.35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11.37	1,20	1,14	0,98	0,02	1,11
11.39	1,21	1,16	1,01	0,02	1,13
11.41	1,45	1,43	1,26	0,05	1,38
11.43	2,02	2,01	1,86	0,10	1,96
11.45	2,40	2,35	2,14	0,15	2,30
11.47	2,86	2,81	2,57	0,20	2,75

Intervallo di carico tra 0,05 e 0,15 N/mm²:Differenza della media della deformazioni corrispondenti all'intervallo di carico Δp :**Modulo di compressione $M_d = (\Delta p / \Delta s) \times D$** $(\Delta p) = 0,10 \text{ N/mm}^2$ $(\Delta s) = 0,92 \text{ mm}$ **= 33 N/mm²**

Io Sperimentatore	il Resp. di Settore
geol. Pietropaolo Melidoro	arch. Giorgio Clai

NOTE:**BELLUNO, 28/08/24****IL DIRETTORE DEL LABORATORIO**
(dott. geol. David Pomarè)

RAPPORTO DI PROVA

PROVA N. 5069 **RICHIESTA N.** 366 **IN DATA** 27/08/24 **pag.** 1/1

RICHIEDENTE: COMUNE DI BELLUNO - SETTORE TERRITORIO **COD.** 1276
INDIRIZZO: PIAZZA CASTELLO, 14 32100 BELLUNO BL

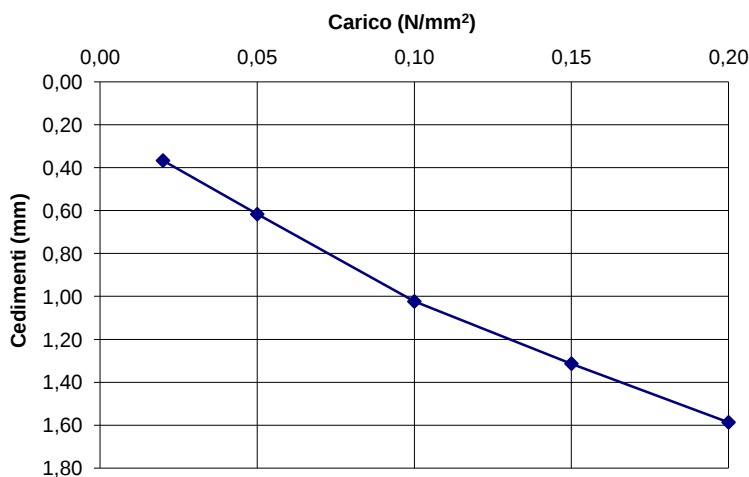
TIPO DI CAMPIONE: TERRENO DI SOTTOFONDO.
SPECIFICA DI PROVA: DETERMINAZIONE DEI MODULI DI DEFORMAZIONE M_d MEDIANTE PROVA DI CARICO A CICLO SINGOLO CON PIASTRA CIRCOLARE (CNR 146).

CANTIERE: PNRR - missione 5, componente 2, investimento 2.1 "Rigenerazione Urbana" - Intervento di "valorizzazione dell' Alpe del Nevegal: nuovo bacino di accumulo idrico a cielo aperto in località La Grava con funzione antincendio boschivo, turistico-ricreativa e per innevamento". - Interventi finanziati dall'Unione Europea - NextGenerationEU. C.U.P.: I37B20001970006. Affidamento dell'esecuzione degli accertamenti di Laboratorio e delle verifiche tecniche in sito necessari per la caratterizzazione del terreno e del grado di compattazione raggiunto nel materiale utilizzato per la costruzione del rilevato strutturale e autorizzazione all'esecuzione in via d' urgenza. - C.I.G.: B21A1CC91A.

DATA E SITO DI PROVA: 27/08/24, posizione di prova, punto P8.
TECNICO RESPONSABILE: dott. geol. Giorgio Giacchetti, che ha indicato la posizione di prova.
TEMPERATURA DI PROVA: 22,3÷22,8 °C

RISULTATI DELLA PROVA

Ora: 12.03		Sereno			
Ø piastra (D) 300 mm				Sup. 70685,8 mm ²	
Tempi (h min.)	DEFORMAZIONE Lettura ai comparatori mm			CARICO N/mm ²	Media lettura comparatori mm
12.05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12.07	0,35	0,34	0,40	0,02	0,36
12.09	0,36	0,34	0,40	0,02	0,37
12.11	0,61	0,59	0,65	0,05	0,62
12.13	1,01	0,99	1,07	0,10	1,02
12.15	1,28	1,29	1,37	0,15	1,31
12.17	1,53	1,57	1,66	0,20	1,59

Intervallo di carico tra 0,05 e 0,15 N/mm²:Differenza della media della deformazioni corrispondenti all'intervallo di carico Δp :**Modulo di compressione $M_d = (\Delta p / \Delta s) \times D$** $(\Delta p) = 0,10 \text{ N/mm}^2$ $(\Delta s) = 0,70 \text{ mm}$ **= 43 N/mm²**

Io Sperimentatore	il Resp. di Settore
geol. Pietropaolo Melidoro	arch. Giorgio Clai

NOTE:**BELLUNO, 28/08/24****IL DIRETTORE DEL LABORATORIO**
(dott. geol. David Pomarè)

ALLEGATO

Indagine sismica

Ufficio 0437 34995 - Mobile +39 379 1577 146
giorgio.giacchetti@alpigeo.it - Belluno 32100, 45 Via Barozzi



Dott. Geol. Giorgio Giacchetti - Ordine Geol. Reg. Veneto 258
CF GCCGRG60A13A757B - P IVA 00707130258

Relazione illustrativa sulle indagini

2024

INDAGINI GEOFISICHE PER IL NUOVO BACINO DI ACCUMULO IDRICO A
CIELO APERTO IN LOC. LA GRAVA
RAPPORTO DI PROVA N.5101 VERBALE N.369 DEL 31/10/24

PROVINCIE DI BELLUNO

COMUNE DI BELLUNO



Elaborato da

Dott. Geol. David Pomarè Montin

David.pomare@igs-geo.com

+39 3409644172

Dott. Geol. Francesco Bassani

Francesco.bassani@igs-geo.com

+39 3477145584



Revisione	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
RO	31/10/2024	Emissione	RO	DPM-FB	DPM-FB

RICHIEDENTE: COMUNE DI BELLUNO

**LABORATORIO R'bk S.r.l.**

AUT. MIN. LL. PP. con D.M. 21/07/77 n. 16895 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
AUT. MIN. LL. PP. con D.M. 25/02/13 n. 1687 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)

Zona Industriale Ces a

via U. Braccalenti 36

Tel +39 0437 967627

Fax +39 0437 960399

www.rbk.it - info@rbk.it

Orario: lun-ven 8-12

lun/mer/ven 15-18





LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL. PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
 AUT. MIN. LL. PP. con D.M. 25/02/13 n. 1887 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
 SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
 C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)
 Zona Industriale Casa
 via U. Braccalenti 38
 Tel +39 0437 967627
 Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
 Orario: lun-ven 8-12
 lun/mer/ven 15-18



SOMMARIO

1.	PREMESSA	2
2.	RIFERIMENTI GEOGRAFICI	2
3.	TOMOGRAFIE SISMICHE A RIFRAZIONE	3
3.1	I principi fondamentali della tomografia sismica a rifrazione	3
3.2	Note relative alle modalità operative	6
3.3	Note relative all'elaborazione dei dati	6
3.4	Risultati	10

Allegati				
N°	1	Inquadramento Geografico	Scala	1 : 10 000
	2	Ubicazione Delle Indagini		1 : 750
	3	Prospezione sismica tomografica		1 : 150/250
	4	Documentazione Fotografica		-



LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1887 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)
Zona Industriale Casa
via U. Braccalenti 38
Tel +39 0437 967627
Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
Orario: lun-ven 8-12
lun/mer/ven 15-18



1. PREMESSA

La presente relazione, redatta per conto del Laboratorio R'bk s.r.l., accompagna l'elaborazione dei dati derivanti dalle indagini geofisiche eseguite lungo gli argini artificiali del bacino per l'accumulo idrico realizzato in Loc. La Grava, nel Nevegal, in Comune di Belluno (BL).

La campagna di indagini geofisiche condotta comprende:

- **N. 3 prospezioni geofisiche con metodo sismico a rifrazione** con metodo di elaborazione tomografico, mediante stendimenti da 69 m con 24 geofoni (SR1) e 33 m con 12 geofoni (SR2 e SR3), al fine di ricostruire lo stato di addensamento degli argini realizzati, le geometrie del sottosuolo, i parametri di rigidità del terreno (in termini di Vp).

Per l'ubicazione delle indagini eseguite si rimanda all'Allegato 2.

2. RIFERIMENTI GEOGRAFICI

L'area di indagine si colloca nel territorio del Comune di Belluno (BL) in loc. La Grava in corrispondenza della pista da sci prossima al Rif. La Grava. La zona di studio si posiziona all'interno di una morfologia gravitativa datata, secondo la Carta Geologica del Progetto CARG n. 63 Belluno, all'Olocene.

Da un punto di vista geologico il materiale presente è caratterizzato da stabilizzato messo in posto per la realizzazione dell'invaso poggiante sull'esistente superficie topografica costituita da blocchi e ghiaie immersa in matrice limoso-argillosa riconducibili al movimento gravitativo che ha interessato il substrato roccioso costituito da Calcarei del Fadalto.

Riferimenti geografici dell'area di intervento

Quota	coordinate	Latitudine (°)	Longitudine (°)
1212 m	Geografiche (ED 50)	46.085103	12.287953
s.l.m.	Geografiche (WGS 84)	46.084213	12.286954



LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
 AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1887 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
 SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
 C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)

Zona Industriale Cas a
 via U. Bracalenti 38
 Tel +39 0437 967627
 Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
 Orario: lun-ven 8-12
 lun/mer/ven 15-18

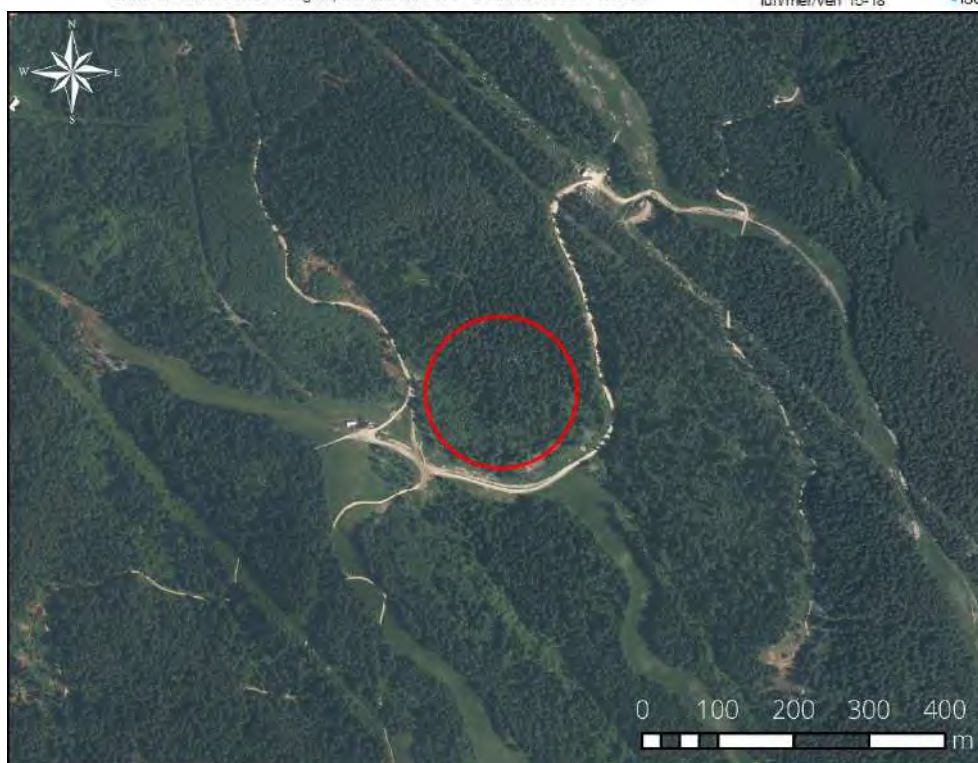


Figura 1: Ubicazione del sito di indagine, ortofoto elemento 063120 Nevegal.

3. TOMOGRAFIE SISMICHE A RIFRAZIONE

3.1 I principi fondamentali della tomografia sismica a rifrazione

Il metodo di esplorazione sismica consente la caratterizzazione del sottosuolo attraverso l'analisi della distribuzione delle velocità $V(x,y,z)$ di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo stesso. La tecnica dell'esplorazione sismica consiste nel generare onde elastiche, nel misurare i tempi impiegati dalle onde per viaggiare dalla sorgente al ricevitore e quindi cercare di ricostruire la struttura del sottosuolo. I terreni, ed in generale i materiali indagati, vengono quindi trattati come mezzi deformabili, le cui deformazioni possono essere descritte con la teoria dell'elasticità.

Il segnale trasmesso è impulsivo, generato in questo caso mediante energizzazione su piastra; la sorgente genera brevi treni d'onda, noti come impulsi, che contengono un certo *range* di frequenza. Nell'ipotesi che le piccole deformazioni siano elastiche, è possibile determinare i moduli elastici e la densità del materiale attraversato.

Le onde sismiche sono di due tipi: "onde di compressione" (onde P) e "onde di taglio" (onde S); esse sono messe in correlazione tra loro da alcuni parametri, ed in particolare il coefficiente di Poisson è il rapporto V_p/V_s .

Le prospezioni sismiche a rifrazione si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell.



LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1887 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)

Zona Industriale Casa
via U. Braccalenti 38
Tel +39 0437 967627
Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
Orario: lun-ven 8-12
lun/mer/ven 15-18



Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e ricevitore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore.

La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione:

$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come:

$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

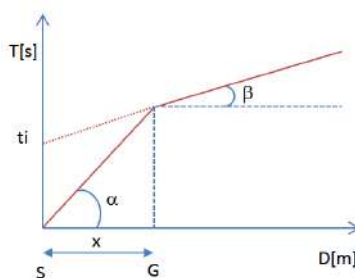
I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



LABORATORIO R'bk S.r.l.

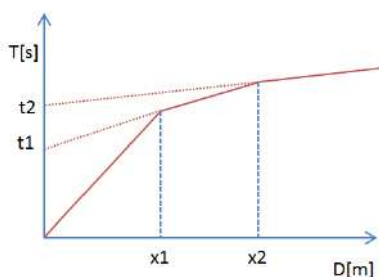
AUT. MIN. LL. PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
 AUT. MIN. LL. PP. con D.M. 25/02/13 n. 1887 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
 SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
 C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)
 Zona Industriale Casa
 via U. Braccalenti 38
 Tel +39 0437 967627
 Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
 Orario: lun-ven 8-12
 lun/mer/ven 15-18



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.



Dal momento che i mezzi naturali presentano grande variabilità nelle tre dimensioni spaziali, le equazioni che descrivono il percorso sorgente-ricevitore saranno descritte da complesse formule matematiche. L'inversione tomografica, utilizzata per definire il modello sintetico del sottosuolo sulla base di un modello teorico di partenza, è stata realizzata mediante gli algoritmi genetici, studiati e sviluppati nel campo dell'intelligenza artificiale e delle tecniche di *soft computing*; essi rappresentano l'ultima frontiera delle tecniche di inversione nel campo della tomografia sismica. Gli algoritmi genetici simulano l'evoluzione di una popolazione di individui, che rappresentano soluzioni candidate di uno specifico problema, favorendo la sopravvivenza e la riproduzione dei migliori.



LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1887 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)

Zona Industriale Casa
via U. Braccalenti 38
Tel +39 0437 967627
Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
Orario: lun-ven 8-12
lun/mer/ven 15-18

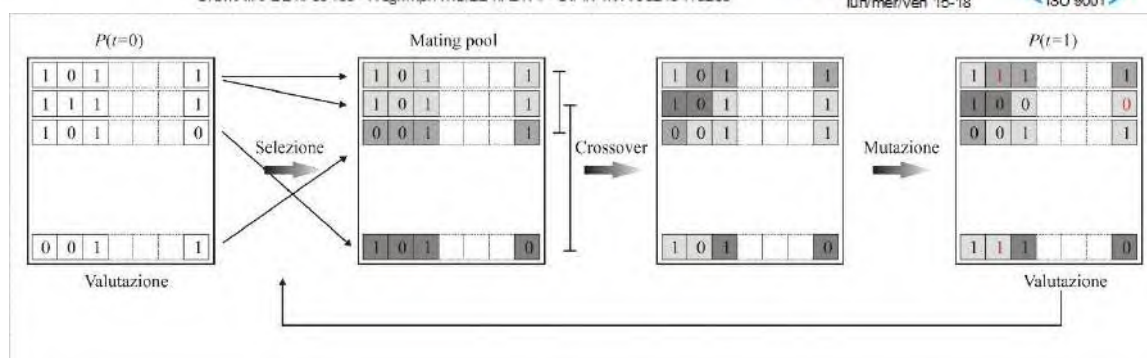


Figura 2: Schema iterativo originario dell'algoritmo di Holland (algoritmi genetici).

La funzione di fitness valuta la bontà degli individui della popolazione P nel risolvere il problema di ricerca dato:

$$f: P \rightarrow (-\infty, +\infty); \quad f(g_i) = f_i$$

I valori di *fitness* definiscono il paesaggio di idoneità dell'algoritmo genetico. Una volta che la funzione di *fitness* ha determinato il valore di bontà di ogni individuo della popolazione, una nuova popolazione di individui (o genotipi) viene creata applicando alcuni operatori che si ispirano alla selezione naturale e alla genetica. Gli individui più "forti" sono quelli con *fitness* più alta, poiché risolvono meglio di altri il problema di ricerca dato; per questo essi devono essere privilegiati nella fase di selezione degli individui che potranno riprodursi dando luogo a nuovi individui.

3.2 Note relative alle modalità operative

Sono stati eseguiti n.3 stendimenti di lunghezza pari a 69 m mediante disposizione di 24 geofoni verticali (SR1) e 33 m mediante disposizione di 12 geofoni verticali (SR2 e SR3), con distanza intergeofonica di 3 m lungo il perimetro del bacino di accumulo idrico esistente.

Per una visione più precisa dell'ubicazione si rimanda all'**Allegato 2**.

Sono stati acquisiti i segnali relativi a battute sia interne allo stendimento (ogni 3 geofoni), sia esterno ad esso; queste ultime sono realizzate ad una distanza di 10 m per tutti e tre gli stendimenti, mentre quelle interne sono state pianificate in modo speculare; l'inversione della sorgente rispetto allo stendimento permette la verifica di eventuali orizzonti inclinati e la validazione dei dati acquisiti. La durata impostata per ogni acquisizione è di 1024 ms, il periodo di campionamento 125 μ s. L'energizzazione è stata eseguita mediante battuta su piastra. Per ogni punto di scoppio, sono state eseguite almeno 3 energizzazioni, al fine di sommare i segnali nella successiva fase di elaborazione e mantenere solo la parte utile di segnale, eliminando il rumore.

3.3 Note relative all'elaborazione dei dati

Sono stati acquisiti ed elaborati (mediante il software Front End della Geogiga) un grande numero di dati al fine di eseguire in fase di elaborazione operazioni di *stacking* (somma verticale di tracce riferite allo stesso scoppio al fine di eliminare i segnali non costanti) e di avere una certa ridondanza dei dati, da cui dipende il dettaglio dell'elaborazione. Nello spettro sono state individuate delle componenti di rumore in alta e bassa frequenza che sono state rimosse in fase di elaborazione mediante filtraggio.



LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1887 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)
Zona Industriale Casa
via U. Braccalenti 38
Tel +39 0437 967627
Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
Orario: lun-ven 8-12
lun/mer/ven 15-18

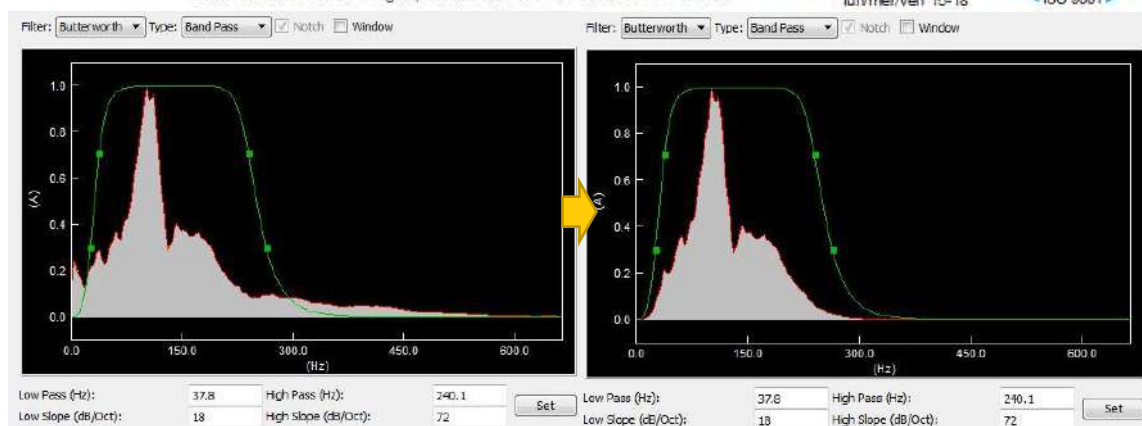


Figura 3: Operazione di filtraggio (filtro passa banda).

Definito il modello sintetico, si è proceduto ad elaborare i dati filtrati per mezzo del software DW Tomo della Geogiga, in cui l'inversione del dato viene gestita da algoritmi genetici. Preliminarmente all'elaborazione con tecnica tomografica, i dati sono stati elaborati con tecnica sismica a rifrazione, definendo il modello sismico sintetico di partenza per l'analisi algoritmica.

I valori di spaziatura e *smoothing* sono stati assegnati imponendo uguale dettaglio orizzontalmente e verticalmente (SR1) e un maggior dettaglio verticale rispetto alla componente orizzontale (SR2 e SR3). Si ritiene comunque che questa discrepanza spaziale non determini lo sviluppo di distorsioni nell'elaborazione delle indagini tomografiche.

Stendimento	Discretizzazione spaziale (m)		Smoothing (m)	
	orizzontale	verticale	orizzontale	verticale
SR1	0.2	0.2	0.25	0.25
SR2	0.4	0.2	0.5	0.25
SR3	0.5	0.25	0.55	0.3

Sono state eseguite centinaia di iterazioni, finché si è ottenuto un modello rappresentativo, con alto grado di fiducia.



LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
 AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1887 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
 SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
 C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P. IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)
 Zona Industriale Cas a
 via U. Braccalenti 38
 Tel +39 0437 967627
 Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
 Orario: lun-ven 8-12
 lun/mer/ven 15-18

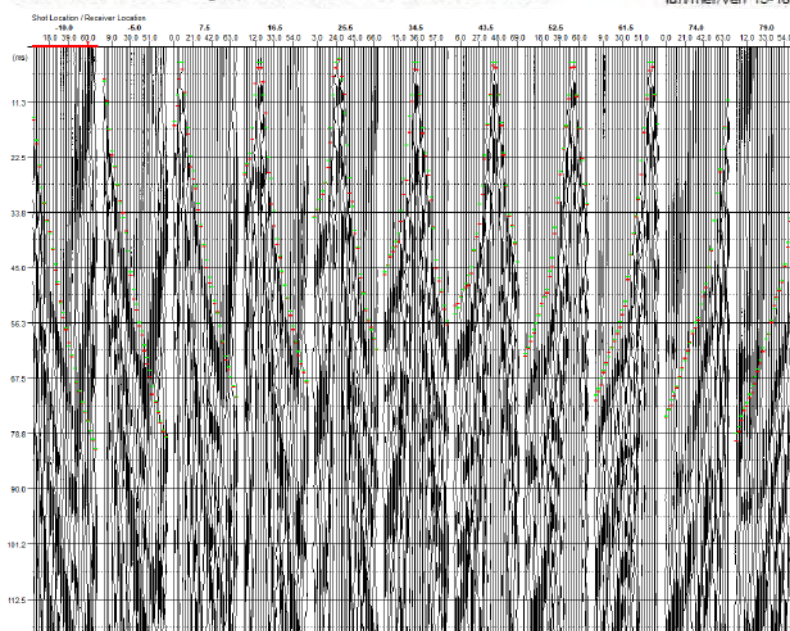


Figura 4: Picking per l'elaborazione tomografica dello stendimento SR1 in onde P. Si nota la corrispondenza del modello sintetico (verde) con quello sperimentale (rosso).

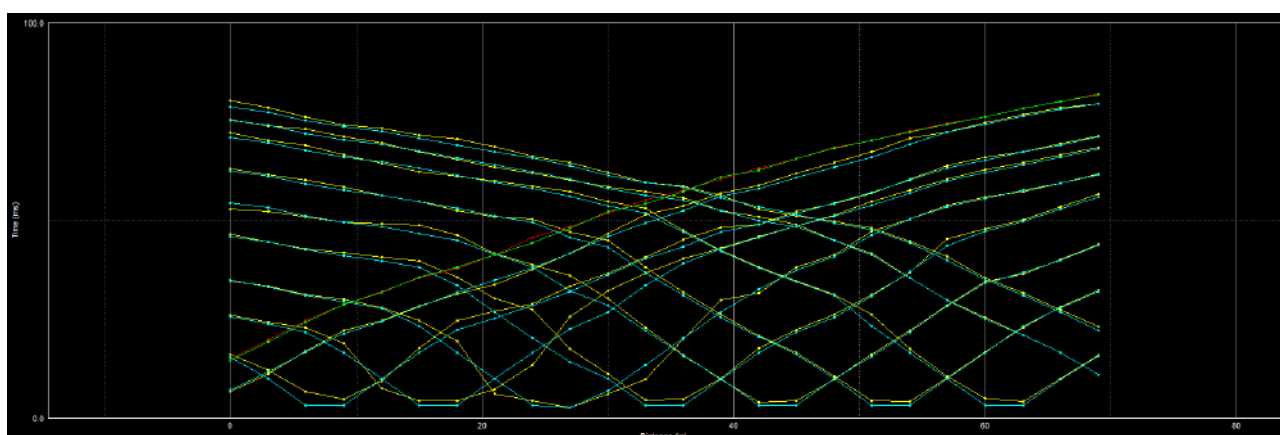


Figura 5: Travel time curve (dromocrone) per l'elaborazione tomografica dello stendimento SR1 in onde P.



LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
 AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1887 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
 SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
 C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P. IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)

Zona Industriale Ces a
 via U. Braccalenti 38
 Tel +39 0437 967627
 Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
 Orario: lun-ven 8-12
 lun/mer/ven 15-18

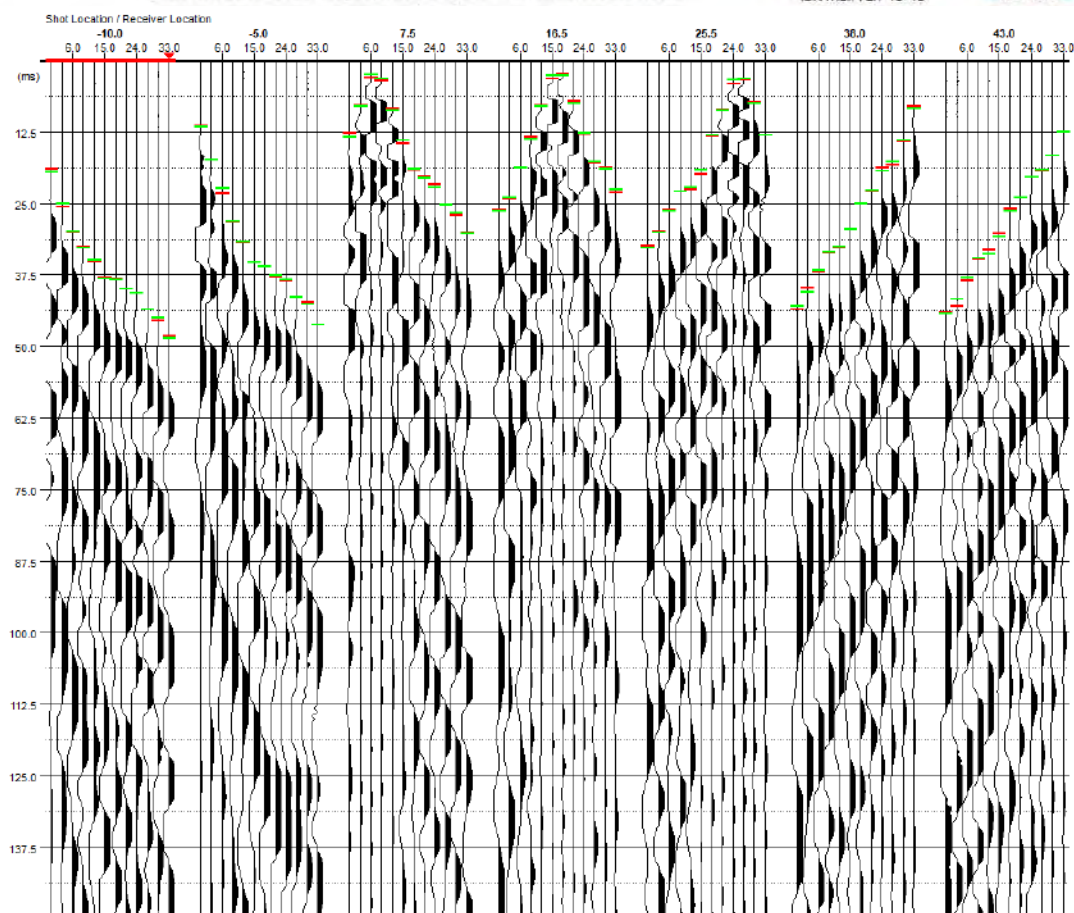


Figura 6: Picking per l'elaborazione tomografica dello stendimento SR2 in onde P. Si nota la corrispondenza del modello sintetico (verde) con quello sperimentale (rosso).

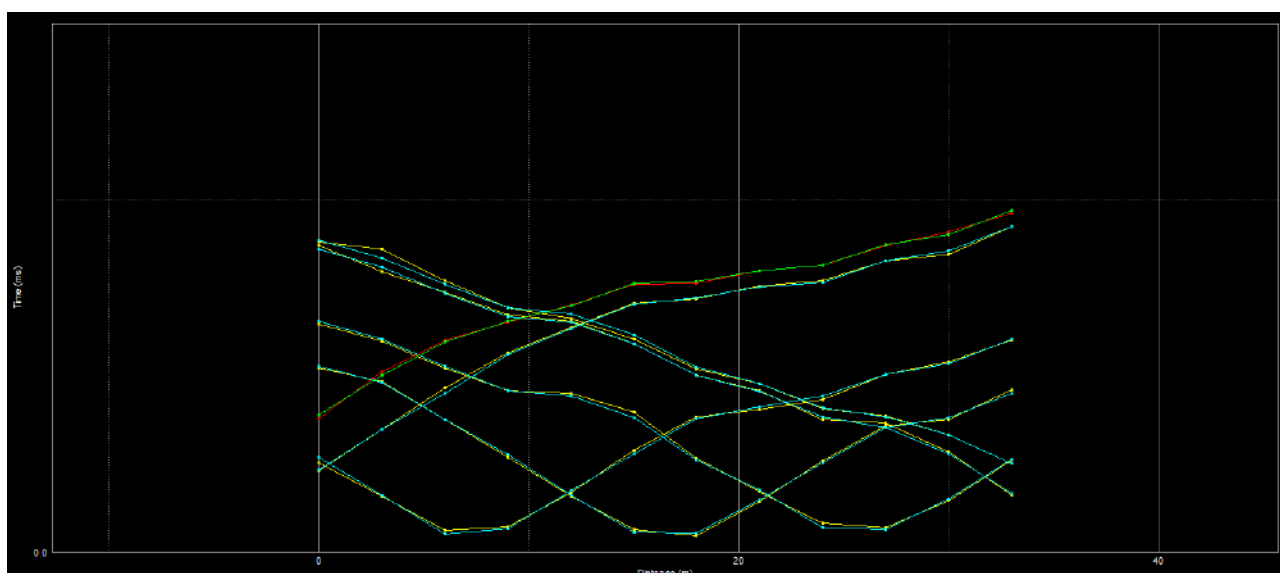


Figura 7: Travel time curve (dromocrone) per l'elaborazione tomografica dello stendimento SR2 in onde P.



LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1887 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)

Zona Industriale Casa
via U. Braccalenti 38
Tel +39 0437 967627
Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
Orario: lun-ven 8-12
lun/mer/ven 15-18

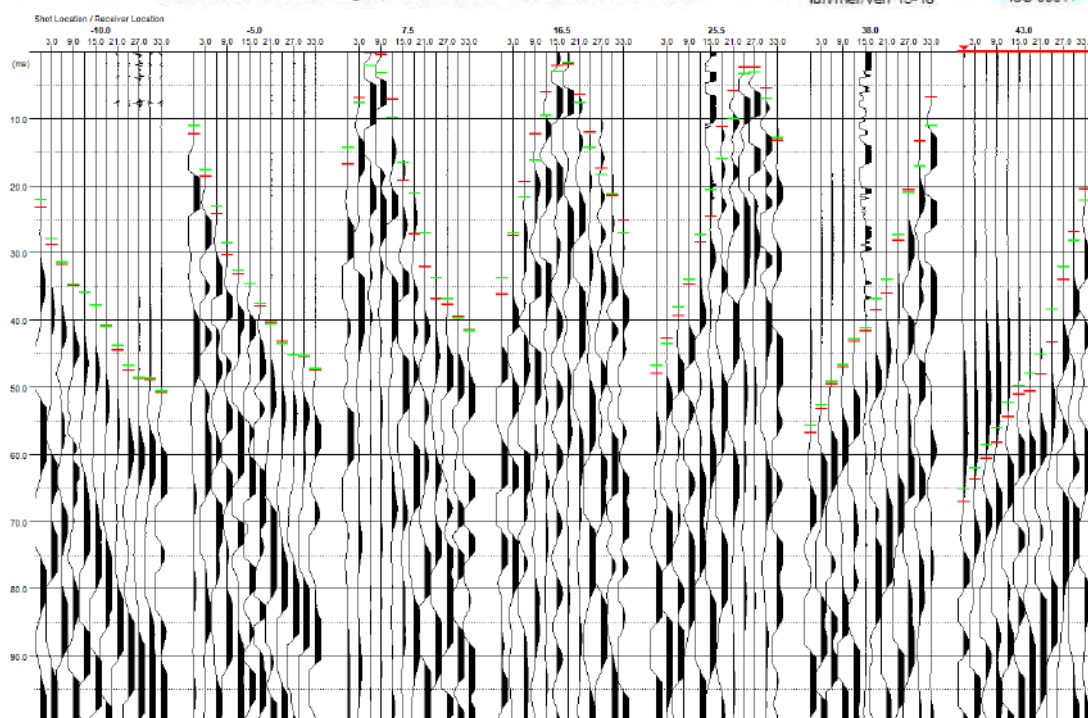


Figura 8: Picking per l'elaborazione tomografica dello stendimento SR3 in onde P. Si nota la corrispondenza del modello sintetico (verde) con quello sperimentale (rosso).

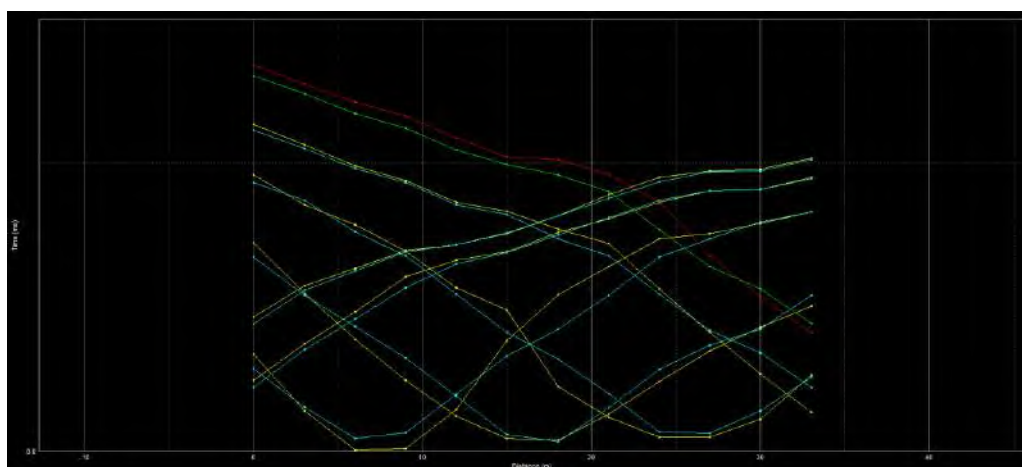


Figura 9: Travel time curve (dromocrone) per l'elaborazione tomografica dello stendimento SR3 in onde P.

3.4 Risultati

I risultati ottenuti e la relativa interpretazione stratigrafica sono illustrati nell'Allegato 3.

Nell'interpretazione va tenuto in considerazione che i valori registrati agli estremi degli stendimenti, esterni all'ultimo ed al primo geofono, risultano poco attendibili, in quanto hanno bassa copertura.



LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
 AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1887 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
 SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
 C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)
 Zona Industriale Casa
 via U. Braccalenti 38
 Tel +39 0437 967627
 Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
 Orario: lun-ven 8-12
 lun/mer/ven 15-18



SR1

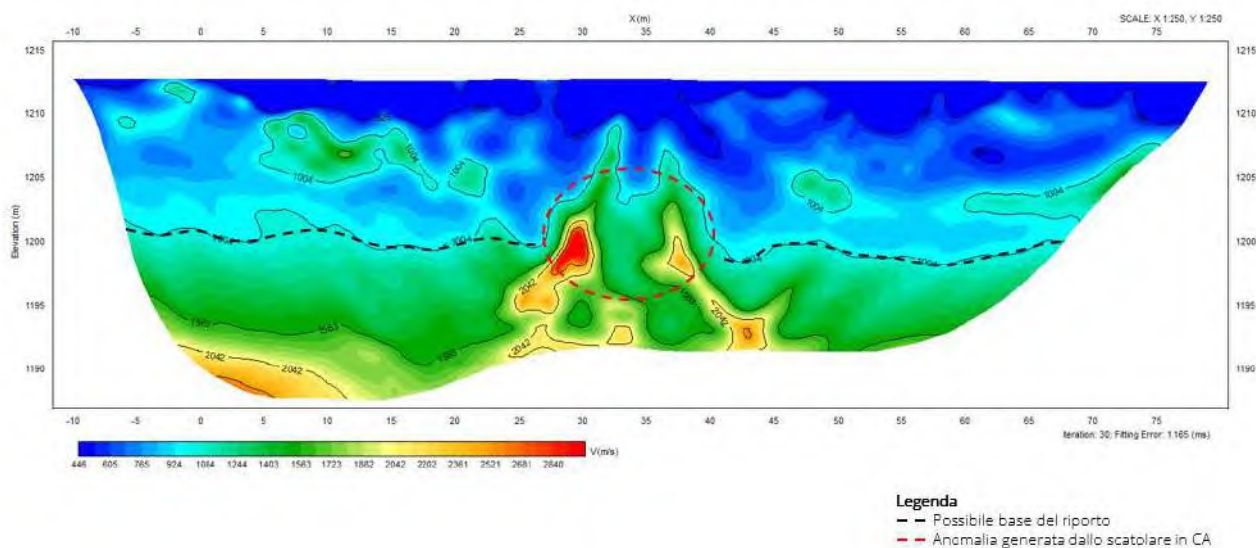


Figura 10: Estratto fuori scala dell'allegato 3 – Interpretazione sismostratigrafica di SR1 in onde P.

SR2

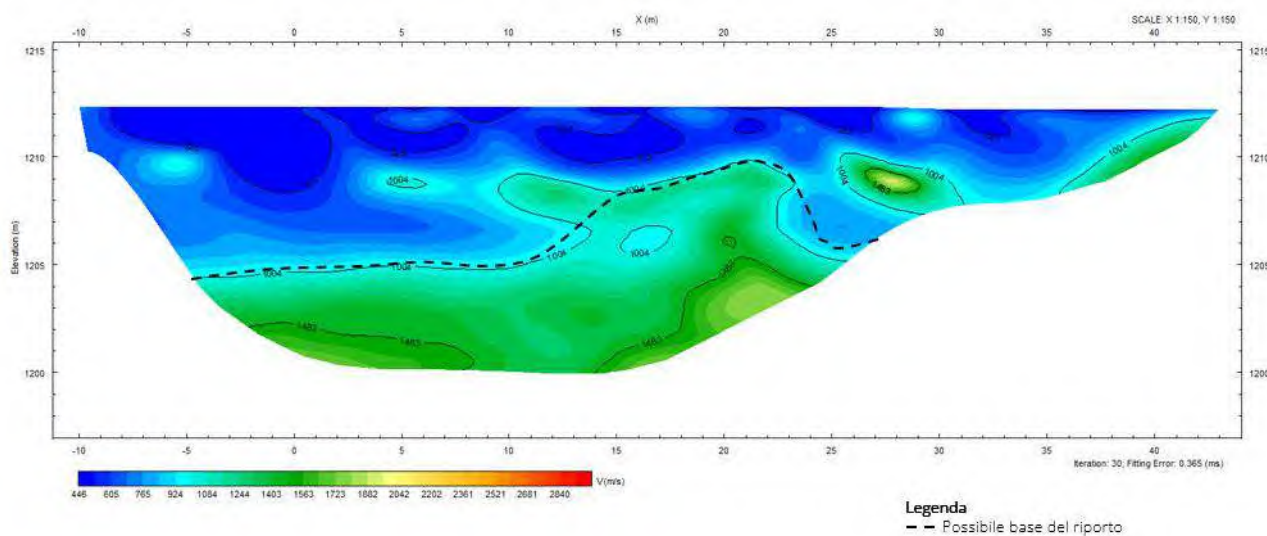


Figura 11: Estratto fuori scala dell'allegato 3 – Interpretazione sismostratigrafica di SR2 in onde P.



LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
 AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1887 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
 SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
 C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)
 Zona Industriale Cas a
 via U. Bracalenti 38
 Tel +39 0437 967627
 Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
 Orario: lun-ven 8-12
 lun/mer/ven 15-18

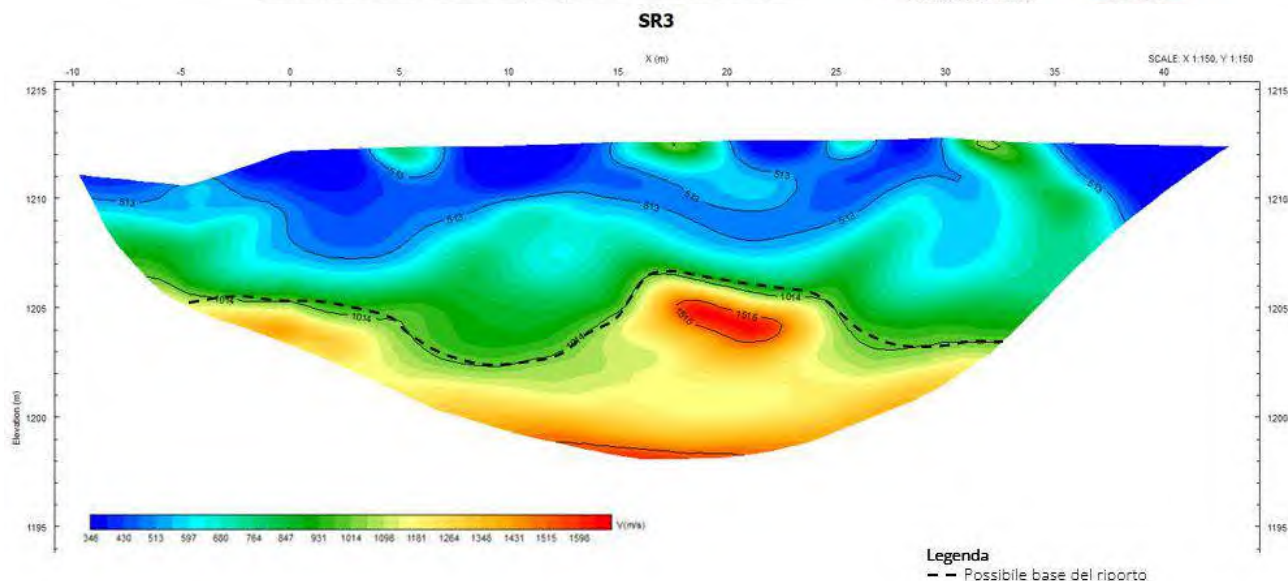


Figura 12: Estratto fuori scala dell'allegato 3 – Interpretazione sismostratigrafica di SR3 in onde P.

Le prospezioni sismiche condotte hanno permesso di distinguere due livelli caratterizzati da diverso grado di addensamento. Dall'elaborazione delle tre tomografie è stato possibile individuare la base del riporto tra circa 1200 e 1205 m s.l.m. La tomografia SR1 ha inoltre individuato lo scatolare in CA dell'impianto.

Limana, 31 ottobre 2024

Dott. Geol. David Pomarè Montin



Dott. Geol. Francesco Bassani





ALLEGATO 1
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Base cartografica CTR e ortofoto - Sezione 063120 Nevegal

SCALA 1:10000

0 100 200 300 400
m





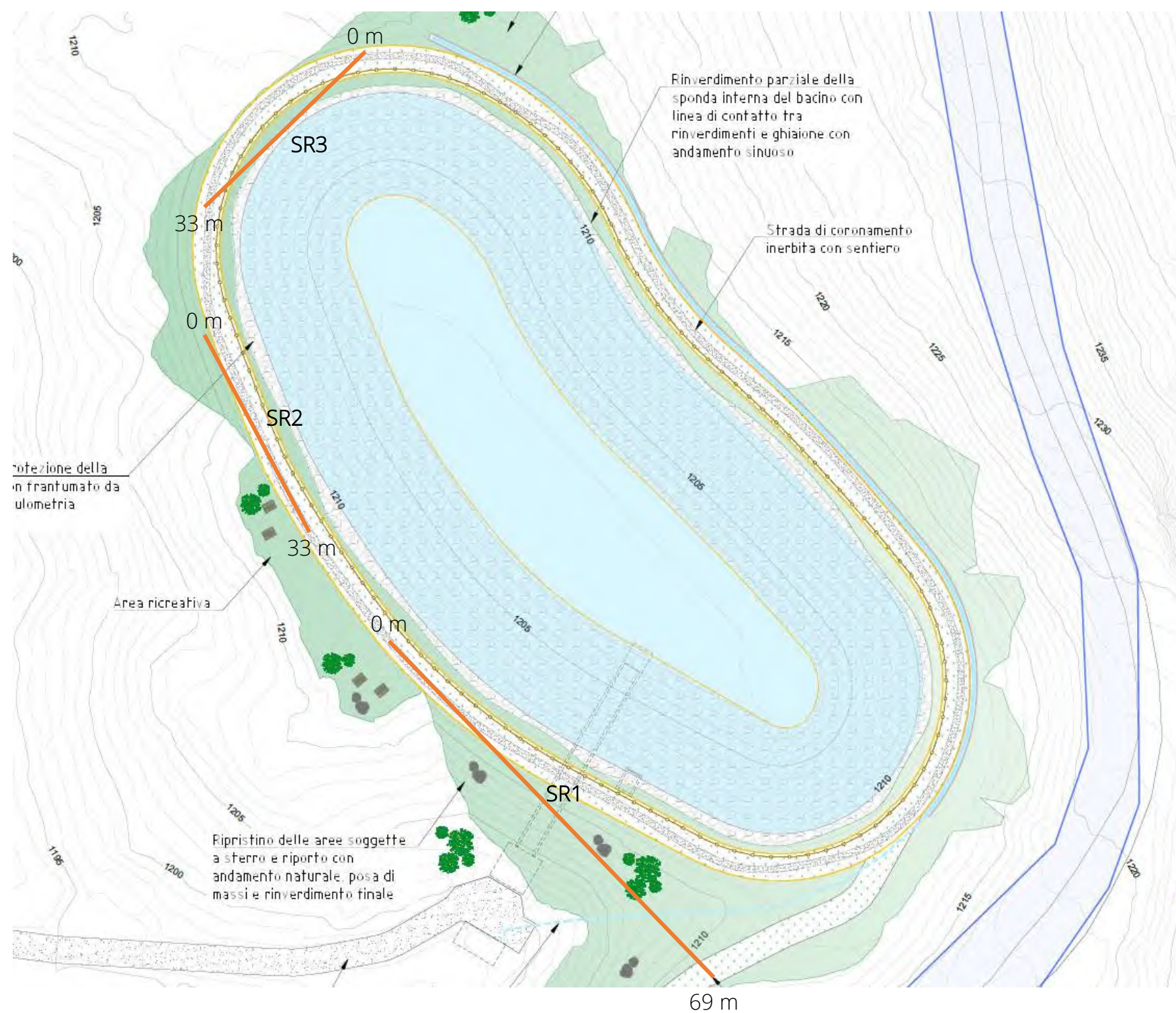
LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
 AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1687 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
 SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
 C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)
 Zona Industriale Ces a
 via U. Bracalenti 36
 Tel +39 0437 967627
 Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
 Orario: lun-ven 8-12
 lun/mer/ven 15-18



Scala 1 : 750



ALLEGATO 2 – UBICAZIONE DELLE INDAGINI



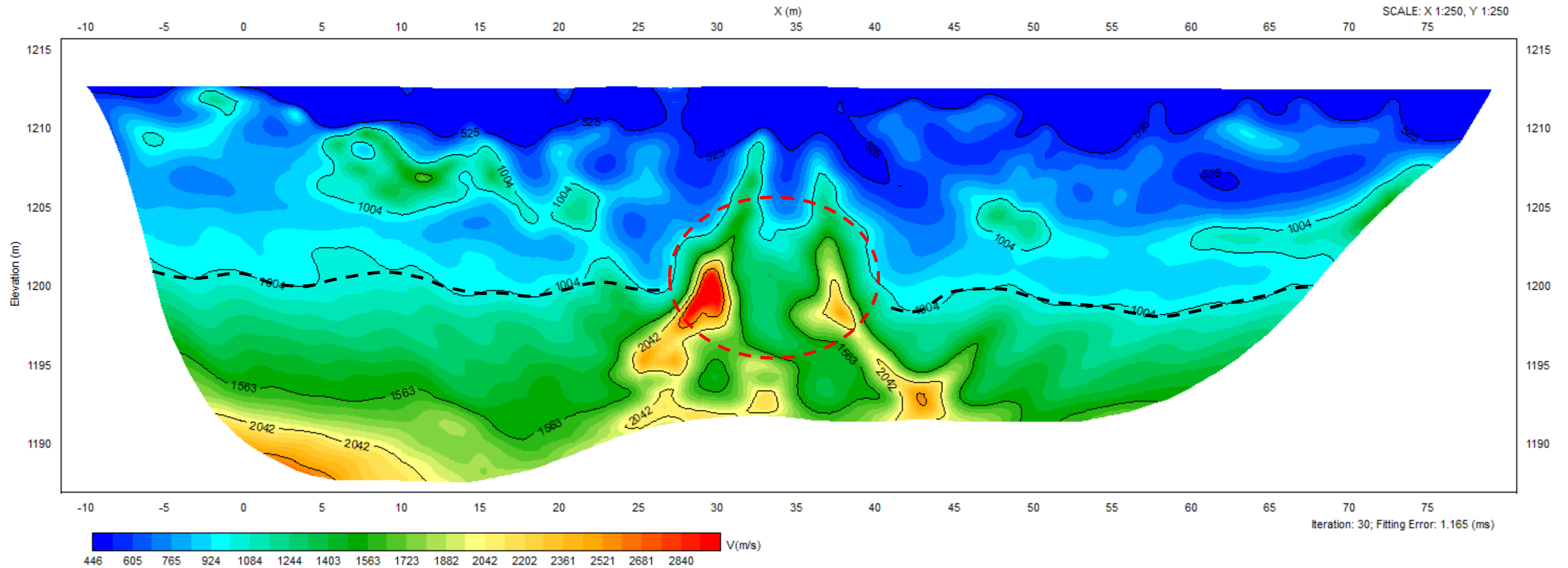
LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL. PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
 AUT. MIN. LL. PP. con D.M. 25/02/13 n. 1687 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
 SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
 C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)
 Zona Industriale Cas a
 via U. Bracalenti 36
 Tel +39 0437 967627
 Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
 Orario: lun-ven 8-12
 lun/mer/ven 15-18



SR1





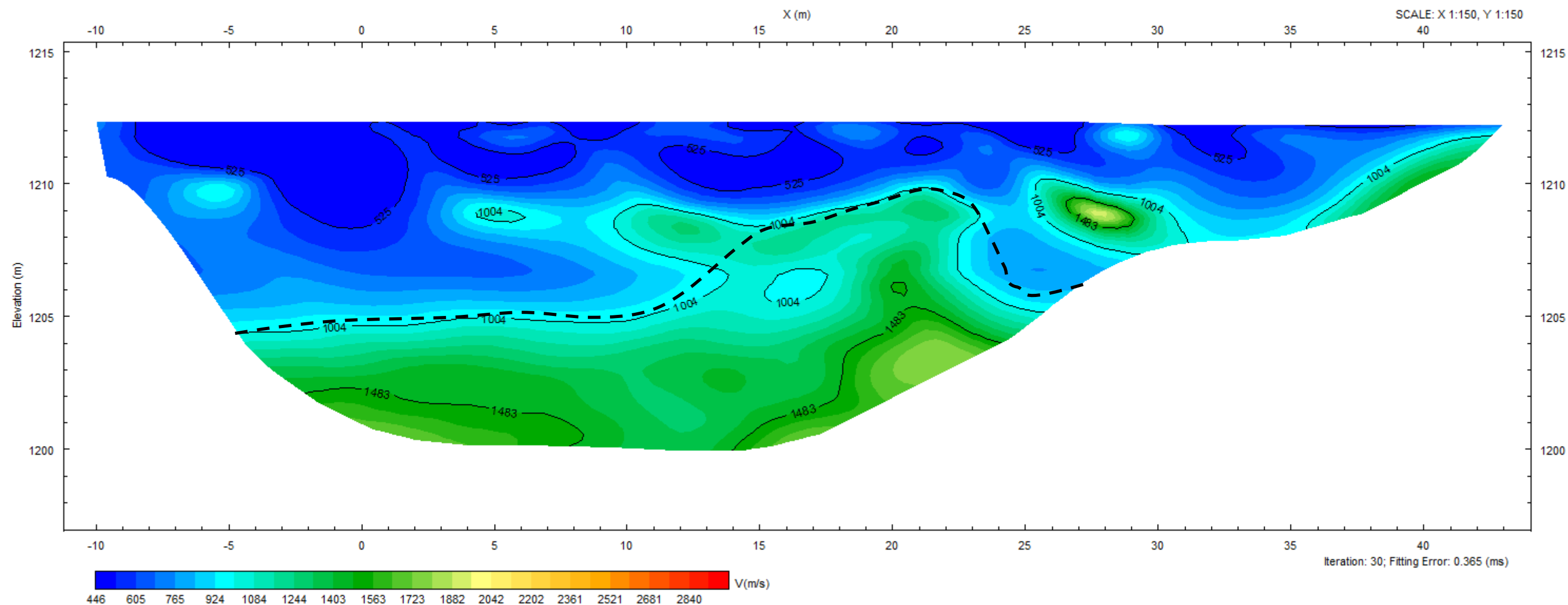
LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
 AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1687 (art. 59 D.P.R. 380/01)
 Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
 SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
 C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)
 Zona Industriale Ces a
 via U. Bracalenti 36
 Tel +39 0437 967627
 Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
 Orario: lun-ven 8-12
 lun/mer/ven 15-18



SR2





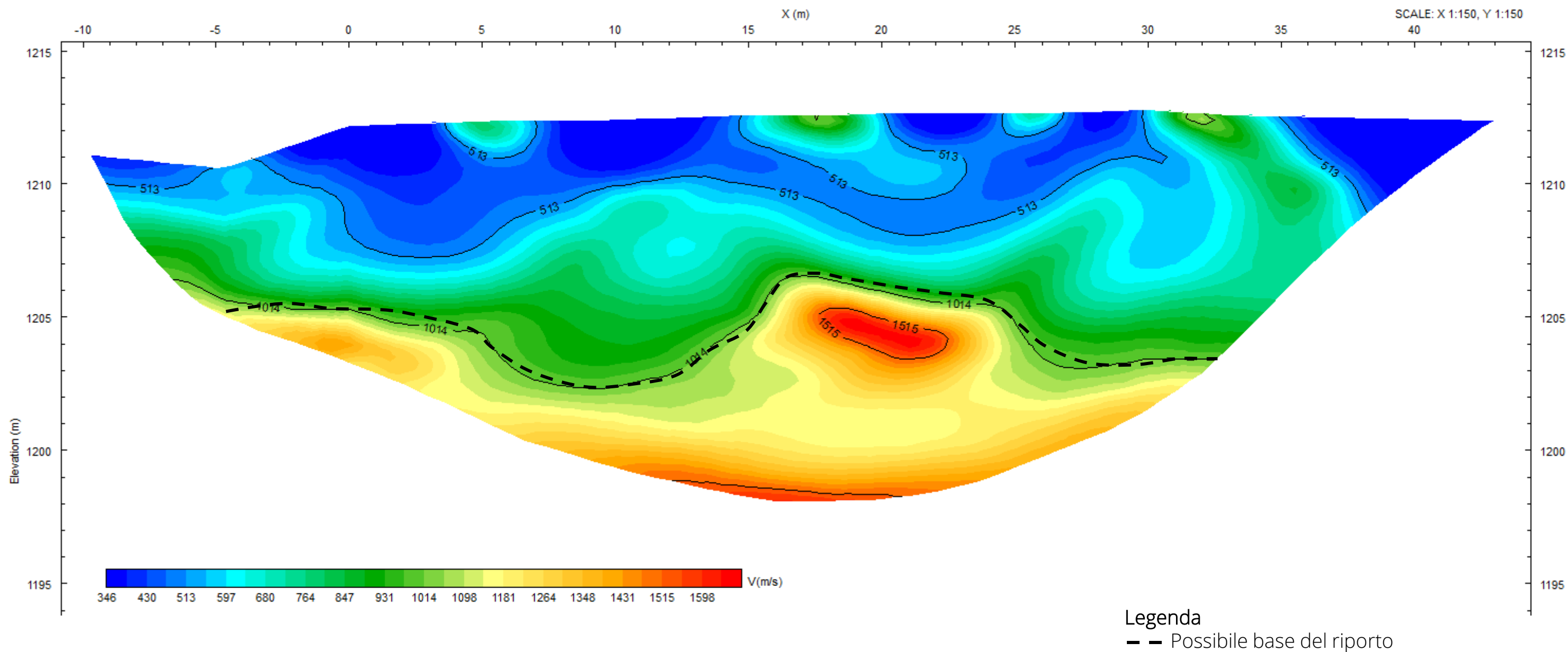
LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC - Materiali da costruzione
AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1687 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC - Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)
Zona Industriale Ces a
via U. Bracalenti 36
Tel +39 0437 987627
Fax +39 0437 980399
www.rbk.it - info@rbk.it
Orario: lun-ven 8-12
lun/mer/ven 15-18



SR3





LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1687 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)
Zona Industriale Ces a
via U. Bracalenti 38
Tel +39 0437 967627
Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
Orario: lun-ven 8-12
lun/mer/ven 15-18



ALLEGATO 01



Foto 1: Stendimento sismico tomografico SR1



Foto 2: Stendimento sismico tomografico SR2



LABORATORIO R'bk S.r.l.

AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 21/07/77 n. 16595 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7617/10/STC – Materiali da costruzione
AUT. MIN. LL.PP. con D.M. 25/02/13 n. 1687 (art. 59 D.P.R. 380/01)
Circolare Ministeriale n. 7618/10/STC – Terre (Settore A) e Rocce (Settore B)
SOCIO ALIG (Associazione Laboratori di Ingegneria e Geotecnica)
C.C.I.A.A. BL n. 50436 - Reg. Impr. Trib. BL n. 2474 - C.F./P.IVA 00219410255

32020 LIMANA (BL)
Zona Industriale Ces a
via U. Bracalenti 38
Tel +39 0437 967627
Fax +39 0437 960399
www.rbk.it - info@rbk.it
Orario: lun-ven 8-12
lun/mer/ven 15-18



ALLEGATO 01

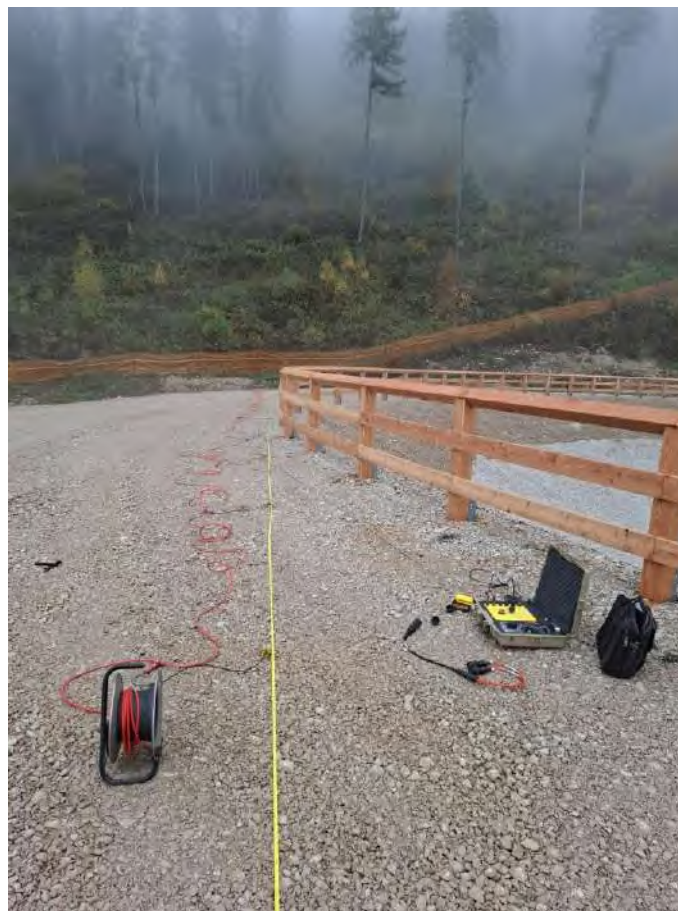


Foto 1: Stendimento sismico tomografico SR3